

ARCHITETTURA E DATI. LA RESPONSABILITÀ DEL PROGETTISTA NELL'EPOCA DELL'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

LIMITI E OPPORTUNITÀ DELL'UTILIZZO
DELL'AI GENERATIVA IN ARCHITETTURA

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI GENOVA
DOTTORATO DI RICERCA IN ARCHITETTURA XXXVIII CICLO

DOTTORANDO: FABIO GNASSI
TUTOR: PROF. MARCO CASAMONTI
CO-TUTOR: PROF. MASSIMILIANO GIBERTI



INDICE

¹ PARTE UNO DATI E CONOSCENZA

1.1	1.1.1	23
DATISMO	Postfordismo e linguaggio assoluto	
	1.1.2	31
	La società dell'informazione	
	1.1.3	39
	Il pensiero computazionale	
1.2	1.2.1	49
L'INTELLIGENZA	Una lente con cui osservare la realtà	
ARTIFICIALE	1.2.2	59
	Adversarial Examples: Minacce invisibili per le reti neurali (Pau Labarta Bajo)	
	1.2.3	65
	Dataset e Catalogazione	
1.3	1.3.1	77
SAPIENZA GENERALE	Dati e architettura	
	1.3.2	93
	Geometrie Telluriche: La Natura Come Codice (Francesco Pace)	
	1.3.3	101
	Una nuova forma di autorialità	

2 PARTE DUE
ARCHITETTURA GENERATIVA

2.1	2.1.1	111
ARCHITETTURA E AI	Progettare tra intuizione umana e intelligenza artificiale (Karla Saldaña Ochoa)	
	2.1.2	119
	I modelli di diffusione latente	
	2.1.3	129
	Architettura e imitazione	
	2.1.4	137
	Imitazione latente	
2.2	2.2.1	147
LA SOVRANITÀ DIGITALE	Dataset chiusi	
	2.2.2	157
	Strategie e visioni per una possibile struttura digitale europea (Fausto Gernone)	
	2.2.3	165
	I modelli fondatori	
2.3	2.3.1	175
LA PLANETARIETÀ	Diritti digitali della società locale e globale (Luna Bianchi)	

3	2.3.2	183
	Globo e pianeta	
	2.3.3	193
	Una tecnologia planetaria	
	2.3.4	203
	Ripensare le strutture di potere: le promesse della governance decentralizzata (Primavera De Filippi)	
2.4	2.4.1	211
AI OPEN SOURCE	L'etica del software nell'era dell'intelligenza artificiale (Stefano Maffulli)	
2.5		221
SCHEMA RIASSUNTIVO		

PARTE TRE LA TERZA SVOLTA DIGITALE

3.1	3.1.1	227
STS - SPATIAL	Il progettista come compositore di	
TECHNOLOGY STACK	Stack	
	3.1.2	237
	Opacità e Trasparenza Algoritmica: è possibile o auspicabile fare luce sulle black box? (Claudio Agosti)	

4	3.1.3	245
	Il computer come terminale	
3.2	3.2.1	257
LE IMMAGINI	La generazione di immagini	
	3.2.2	267
	Il Fine Tuning di un modello generativo	
	3.2.3	275
	Casi studio	
	3.2.4	405
	Oltre alla generazione di immagini	
	3.2.5	415
	Strutture latenti: Tra modelli generativi e design contemporaneo (George Guida)	
CONCLUSIONI		421
8 INTERVISTE		429
BIBLIOGRAFIA		489

SINOSSI

Il lavoro di ricerca indaga il rapporto tra architettura e intelligenza artificiale generativa attraverso un approccio sperimentale e documentale. La riflessione nasce da un chiaro presupposto empirico: i progressi nell'ambito del machine learning hanno introdotto strumenti in grado di produrre rappresentazioni architettoniche coerenti, seguendo principi e meccanismi che sembrano ricalcare il modo in cui gli architetti affrontano il processo compositivo.

Per circoscrivere il raggio d'azione a un contesto idoneo a essere esplorato e analizzato con la giusta attenzione, la ricerca si focalizza su una specifica forma di intelligenza artificiale generativa, ovvero i modelli di diffusione latente. L'avvento di questi strumenti sta plasmando radicalmente il ruolo dell'architetto inteso come progettista, introducendo una forma inedita di autorialità.

Determinate circostanze tecniche, come l'utilizzo di immagini e la presenza di meccanismi probabilistici, contribuiscono a definire questa nuova condizione che si dissocia dalla logica deterministica degli algoritmi computazionali e parametrici.

Per mettere in evidenza il legame tra architetti e AI generative, la ricerca introduce il concetto di imitazione latente come dispositivo

6 teorico per far luce su ciò che accomuna e distingue i due ambiti. Il termine imitazione sottolinea come, in entrambi i casi, la rappresentazione architettonica derivi da un processo imitativo basato su archivi di immagini; l'attributo latente indica invece la specificità di questo metodo, andando a porre l'attenzione sul modo in cui la rappresentazione viene costruita all'interno di uno spazio latente.

La necessità di definire un concetto che qualifichi questo modo inedito di costruire rappresentazioni architettoniche costituisce uno degli obiettivi della ricerca, una necessità che diventa implicita nel momento in cui si accetta la definizione stessa di intelligenza artificiale. L'attributo "artificiale" infatti, si presenta come un ottimo pretesto per evidenziare alcuni aspetti specifici di questa tecnologia, che diventano ancora più evidenti se contrapposti al comportamento di un'ipotetica intelligenza "sintetica". Dal confronto tra "artificiale" e "sintetico" possiamo dedurre come l'intelligenza artificiale sia qualcosa che imita gli esiti della mente umana attraverso processi profondamente diversi, al contrario, un'intelligenza sintetica non solo replicherebbe gli esiti del ragionamento umano, ma ne riprodurrebbe anche il funzionamento. La ricchezza applicativa introdotta dall'AI generativa si basa proprio su questo principio, ovvero sulla capacità di imitare gli esiti della mente umana seguendo percorsi e approcci diversi. In architettura, l'intelligenza artificiale non si presenta perciò come uno strumento sostitutivo, ma bensì come un elemento integrativo in grado di arricchire l'esito compositivo attraverso dei meccanismi ben diversi rispetto a quelli con cui lavora l'architetto "tradizionale".

Dietro la definizione di imitazione latente vi è l'intenzione di evidenziare la centralità che i dataset assumono all'interno del processo generativo. I dataset non sono tutti uguali e la loro natura influenza profondamente la tipologia di strumento che ne viene costruito sopra.

Il ruolo ricoperto dai dataset e la natura probabilistica dei

7 meccanismi che regolano il funzionamento dell'AI generativa, sono i principi cardine su cui si fonda questa nuova forma di autorialità espressa sotto forma di responsabilità progettuale.

Il concetto di responsabilità è a sua volta profondamente legato al tema dei dataset. Gli strumenti di intelligenza artificiale non sono tutti uguali e, oltre a una distinzione basata sulle differenze tecniche, è possibile operare una classificazione di tipo ontologico sulle diverse tipologie di dataset con cui questi strumenti vengono costruiti. I dataset possono essere chiusi, aperti o collettivi, e al variare della loro tipologia cambia la natura dello strumento e, di conseguenza, cambiano anche le modalità con cui il progettista esercita le proprie intenzioni all'interno del processo generativo. Questa condizione solleva interrogativi urgenti e impone una valutazione critica del concetto di responsabilità progettuale, nodo centrale in un contesto di produzione ibrida uomo-macchina, in cui i confini dell'autorialità risultano incerti e necessitano di una nuova definizione teorica e operativa.

METODOLOGIA E RAGIONI

La ricerca adotta un metodo cronachistico-documentale che riconosce la natura in divenire del proprio oggetto di studio. Le intelligenze artificiali generative costituiscono un campo in continua evoluzione. Documentare i processi generativi non rappresenta quindi una semplice operazione di archiviazione, ma diventa il metodo costitutivo attraverso cui la ricerca si costruisce, si interroga e produce conoscenza.

Il percorso metodologico si articola in quattro fasi:

1. **Sperimentazione diretta:** Conduzione di processi compositivi utilizzando differenti modelli di AI generativa. Attraverso tecniche di prompt engineering e fine-tuning, vengono esplorate le possibilità di manipolazione e controllo dell'output, testando i limiti e le potenzialità di ciascuno strumento.
2. **Documentazione sistematica:** Registrazione dettagliata di ogni fase del processo generativo, dalle istruzioni testuali iniziali agli esiti formali finali, documentando variazioni, errori, iterazioni e le caratteristiche identitarie di ciascun modello.
3. **Analisi critica:** Interpretazione degli esiti sperimentali finalizzata a definire il concetto di imitazione latente, che diventa il fulcro teorico per ulteriori riflessioni sull'autorialità architettonica,

9 analizzata dal punto di vista della responsabilità compositiva e del controllo progettuale.

4. Descrizione operativa: Sistematizzazione delle tecniche operative attraverso cui l'architetto può interagire efficacemente con i modelli di AI, traducendo la riflessione teorica in prassi progettuale concreta e trasferibile.

L'urgenza di questa ricerca nasce dall'intersezione di due condizioni. L'avvento di strumenti computazionali che operano attraverso immagini e non più solo attraverso dati numerici, e la natura probabilistica che caratterizza tali strumenti.

A differenza dell'architettura parametrica e computazionale, fondata su processi deterministici e prevedibili, le AI generative impongono una radicale ridefinizione del rapporto tra architetto, strumento e progetto. Questa trasformazione introduce questioni inedite che costituiscono il fulcro della ricerca.

- Dove risiede la responsabilità progettuale dell'architetto quando l'esito formale è influenzato da un processo parzialmente opaco e probabilistico?
- Quali competenze deve sviluppare un architetto per utilizzare consapevolmente strumenti che imitano senza comprendere, producendo forme attraverso correlazioni statistiche anziché principi logici?
- In che modo i dataset – chiusi, aperti o collettivi – incidono non solo sugli esiti formali ma anche sulle dinamiche di potere insite nella produzione architettonica?

La ricerca risponde all'esigenza di costruire un quadro teorico-critico capace di orientare l'uso consapevole dell'intelligenza artificiale generativa, ponendo al centro la questione della responsabilità compositiva.

STRUTTURA DELLA RICERCA

Il corpo teorico della ricerca si sviluppa attraverso una progressione logica suddivisa in tre sezioni.

PARTE UNO - Sapienza generale e autorialità

L'avvento della società dell'informazione ha posto le fondamenta per quello che Benjamin Bratton definisce "sapienza generale", una forma di conoscenza che emerge dall'intreccio tra capacità cognitive umane, algoritmi, potenza computazionale e dati. Questa particolare forma di sapienza si manifesta in ambiti diversi, ma ogni qual volta interagisce con processi creativi è in grado di sollevare interrogativi sul concetto di autorialità.

In architettura il dibattito non è nuovo. Dati, computer e algoritmi hanno già ridefinito il modo di pensare e progettare, come testimoniato ad esempio dal dibattito che ha caratterizzato la mostra Non-Standard Architecture, dove forme parametriche di natura algoritmica sfidavano l'idea tradizionale di controllo autoriale. Ciò che caratterizza ogni manifestazione della sapienza generale è la sua natura mutevole e instabile, determinata dai fattori tecnologici sociali ed economici in continua evoluzione che danno vita a forme di autorialità sempre diverse. Le intelligenze artificiali generative

- ¹¹ rappresentano l'ultimo stadio evolutivo di questa conoscenza. Il loro impiego nel processo compositivo definisce una forma di autorialità inedita, fondata su due presupposti radicalmente nuovi. Il primo riguarda la natura dei dati coinvolti. Mentre l'architettura computazionale e parametrica si basava su informazioni numeriche quali parametri, vettori e forze fisiche, le AI generative operano attraverso immagini. Il secondo concerne la tipologia di strumenti. Gli strumenti parametrici erano deterministici, capaci di produrre output prevedibili e programmabili. Le AI generative sono invece strumenti probabilistici che introducono nel processo compositivo un margine irriducibile di imprevedibilità e una forma di controllo opaco, celato nei meccanismi di addestramento e di costruzione dei dataset.

PARTE DUE – Imitazione latente

Per fare emergere le caratteristiche di questa nuova forma di autorialità è necessario procedere per gradi. Il primo passo richiede di definire con precisione gli strumenti utilizzati e comprenderne il funzionamento. Cosa sono le AI generative? Cosa sono i modelli di diffusione latente? Come funzionano? Solo dopo aver risposto a queste domande diventa possibile affrontare il secondo passaggio, quello che riguarda le opportunità e i limiti del loro utilizzo in ambito progettuale. Queste condizioni emergono dalle similitudini e differenze tra il modo in cui un architetto e un modello di diffusione latente affrontano il processo compositivo. Le similitudini sono sorprendenti. In entrambi i casi una componente centrale del processo è rappresentata dalla riproposizione di soluzioni esistenti. Gli architetti attingono a ciò che chiamiamo repertorio, le AI ai dataset di addestramento. In entrambi i casi, tuttavia, il contenuto di questi archivi è costituito principalmente da immagini. Le differenze tuttavia sono altrettanto cruciali. Queste si esplicitano nell'attributo "artificiale", la cui connotazione acquisisce valore nella contrapposizione con "sintetico", come evidenziato da Bratton.

¹² Parlare di intelligenza artificiale significa parlare di uno strumento che imita l'esito della mente umana secondo il criterio stabilito da Turing, mentre parlare di un'ipotetica intelligenza sintetica significherebbe riferirsi a un'intelligenza che non solo imita l'esito ma anche il processo stesso.

Parlare di intelligenza artificiale significa dunque porre l'attenzione su uno strumento che costruisce contenuti in modo inedito, raggiungendo esiti formali simili a quelli dell'uomo attraverso processi radicalmente differenti. Per qualificare questa peculiarità del processo generativo delle AI, la ricerca introduce il termine imitazione latente, un'espressione che chiarisce come questa forma di imitazione costituisca un fenomeno inedito le cui caratteristiche sono riconducibili al funzionamento dello spazio latente, ovvero il luogo in cui attraverso un processo di rimozione del rumore, l'immagine viene progressivamente costruita. Nel momento in cui un architetto decide di integrare questi strumenti nel suo processo compositivo deve essere consapevole che il lavoro sarà influenzato da questa particolare forma di imitazione, per cui le immagini create dipenderanno dal contenuto dei dataset, e saranno il prodotto di un processo probabilistico che ignora le qualità spaziali di ciò che viene rappresentato. Una volta esplicitato il concetto di imitazione latente, diventa evidente come il funzionamento delle AI generative si fondi su un elemento centrale e imprescindibile, i dataset. Ed è proprio attorno ai dataset, al modo in cui sono costruiti e utilizzati, che si articola la riflessione sull'autorialità. Se mettiamo momentaneamente da parte il significato storico di questo concetto, il tema dell'autorialità viene qui esplorato andando a porre l'attenzione sul concetto di responsabilità. Dove risiede oggi la responsabilità progettuale? In che modo l'architetto può mantenere il controllo su di essa senza perderla a favore della macchina? Per trovare una risposta a questa domanda diventa necessario approfondire le diverse tipologie di dataset disponibili, perché ogni tipologia dà vita a strumenti differenti e ciascuno di questi strumenti

- ¹³ modifica il modo in cui l'architetto progetta ed esercita la propria responsabilità, cambiando di fatto il suo ruolo e i compiti che gli vengono richiesti. Avere un approccio critico volto a delineare la natura dei dataset è fondamentale per due motivi. Primo, perché le AI generative sbagliano. Secondo, perché l'architettura è da sempre una disciplina al servizio del potere, ed è proprio attraverso la costruzione dei dataset che il potere può influenzare la progettazione architettonica. Per chiarire le diverse dimensioni della responsabilità progettuale è necessario distinguere tre tipologie di strumenti. L'intelligenza artificiale globale, fondata su dataset chiusi, rimanda al tema complesso e urgente della sovranità digitale. L'intelligenza artificiale open source, basata su dataset aperti, comprende strumenti ancora instabili ma capaci di consentire la personalizzazione dei dati. Infine, l'intelligenza artificiale planetaria, costruita attraverso dataset collettivi e resa possibile dalla blockchain, introduce un modello in cui la costruzione dei dati diventa un processo partecipato e resta nelle mani di chi li produce.

PARTE TRE – La terza svolta digitale

L'avvento dell'intelligenza artificiale generativa inaugura quella che può essere considerata la "terza svolta digitale", una nuova era di collaborazione tra architetto e tecnologie digitali che definisce processi operativi inediti. Questa trasformazione delinea la nascita di nuove competenze necessarie per interagire efficacemente con questi strumenti, ridefinendo non solo il metodo progettuale ma anche il ruolo stesso dell'architetto nel processo compositivo. La sezione analizza le modalità operative attraverso cui l'architetto può dialogare con le AI generative, identificando le tecniche di controllo, manipolazione e indirizzo del processo generativo. Vengono approfondite pratiche come il prompt engineering e il fine tuning, strumenti che permettono di orientare l'output senza eliminarne quella componente probabilistica che ne caratterizza il funzionamento.

IMITAZIONE LATENTE

Ecco qui riassunto il funzionamento di questo nuovo meccanismo compositivo che prende il nome di imitazione latente



OBIETTIVI

Si presume che gli esperimenti condotti possano indurre a rilevare:

1. La dimensione storica dell'AI generativa : La ricerca intende dimostrare come i modelli di intelligenza artificiale generativa possano essere letti come l'ultima fase di una storia più lunga, che associa l'utilizzo dei dati alla progettazione architettonica a partire dal secondo dopoguerra. Inscrivere questi strumenti in una traiettoria storica consente di superare una lettura puramente tecnica del fenomeno, a favore di una continuità con le stagioni precedenti della ricerca computazionale in architettura;
2. I limiti strutturali dei modelli generativi: Nonostante le potenzialità dimostrate, i modelli generativi presentano limiti strutturali e rischi intrinseci che ne condizionano il funzionamento e ne circoscrivono l'applicabilità. La loro identificazione e sistematizzazione rappresenta un passaggio necessario per un utilizzo consapevole e critico di questi strumenti all'interno della pratica progettuale;
3. L'identità generativa dei modelli: La ricerca intende dimostrare come l'esito del processo generativo sia profondamente determinato dalle scelte compiute in fase di addestramento, in termini di dati, parametri e architettura del modello. Ogni sistema

produce risultati compositivi riconoscibilmente distinti, il che implica che la selezione del modello non sia una decisione neutra o meramente tecnica, ma un atto progettuale a tutti gli effetti, con conseguenze dirette sull'esito compositivo;

4. Una nuovo criterio di classificazione degli strumenti generativi: Accanto alle distinzioni fondate sulle architetture informatiche, la ricerca propone l'introduzione di un criterio classificatorio alternativo, basato sulla tipologia di dataset su cui ciascun modello è stato addestrato;
5. Una forma inedita di autorialità: L'introduzione del concetto di "imitazione latente" permette di articolare una nuova categoria teorica con cui descrivere il rapporto tra progettista e strumento generativo. In questo quadro, diventa possibile definire una forma inedita di autorialità, capace di misurare il grado di responsabilità progettuale attribuibile al progettista all'interno di un processo compositivo ibrido;
6. Le nuove competenze dell'architetto: La proliferazione degli strumenti di AI generativa riconfigura il profilo professionale del progettista contemporaneo, imponendo l'acquisizione di competenze inedite. Queste non riguardano soltanto la padronanza tecnica degli strumenti, ma anche la capacità critica di valutarne l'output, di orientarne il processo e di integrarne i risultati in modo coerente all'interno della pratica progettuale. La ricerca intende contribuire a delineare questo nuovo profilo di competenze;
7. Le strategie per manipolare il processo generativo: La ricerca dimostra come il processo generativo non sia un sistema chiuso e deterministico, ma un campo orientabile attraverso strategie di intervento mirate. In particolare, si esplorano le potenzialità del prompt engineering e del fine-tuning quali strumenti privilegiati per governare e indirizzare l'output verso obiettivi progettuali definiti.

- ¹⁷ La ricerca intende contribuire al dibattito sull'uso dell'intelligenza artificiale generativa in architettura elaborando un quadro teorico e di strumenti critici per giungere ad una pratica consapevole. L'obiettivo è definire i presupposti etici, metodologici e operativi di un impiego responsabile di tali tecnologie, orientando la riflessione sul rapporto tra autorialità, tecnica e responsabilità progettuale nella cultura architettonica contemporanea.

RISULTATI ATTESI

La ricerca, attraverso il percorso metodologico descritto e l'articolazione teorica proposta, mira a produrre risultati che operano su due piani distinti ma interconnessi: quello della comprensione critica e quello della prassi operativa.

Sul piano teorico, la ricerca aspira a elaborare un quadro concettuale che permetta di leggere e interpretare il fenomeno dell'intelligenza artificiale generativa in architettura non come una semplice innovazione tecnologica, ma come una trasformazione radicale del processo progettuale che richiede nuove categorie interpretative.

L'introduzione del concetto di imitazione latente e l'analisi delle diverse tipologie di dataset costituiscono strumenti critici per comprendere dove risiede oggi la responsabilità progettuale e come questa possa essere esercitata consapevolmente.

Sul piano operativo, la ricerca intende fornire agli architetti e ai ricercatori strumenti concreti per valutare criticamente il panorama delle AI generative, riconoscendo le implicazioni etiche, metodologiche e formali che si celano dietro questi strumenti. Non si tratta di un manuale d'uso, ma di un apparato critico che permetta decisioni informate e responsabili.

Il risultato centrale atteso è il seguente:

- ¹⁹ Esercitazione della responsabilità compositiva: definizione delle tecniche e delle modalità con cui il progettista contemporaneo riesce a definirsi responsabile del processo compositivo, delineando un quadro operativo che permetta di esercitare consapevolmente il controllo autoriale nell'era della produzione ibrida uomo-macchina. La ricerca aspira a fornire non soltanto un contributo teorico alla disciplina architettonica, ma anche strumenti critici concreti per architetti e ricercatori che lavorano o intendono lavorare con AI generative, promuovendo un uso consapevole, responsabile e criticamente informato di questi strumenti nel processo progettuale.

PARTE UNO

DATI E
CONOSCENZA

1.1

DATISMO

1.1.1

23

POSTFORDISMO E LINGUAGGIO ASSOLUTO

PARTE UNO

Ci sono momenti nella storia in cui un mutamento di paradigma non si limita a incidere sui singoli ambiti dell'agire umano, ma giunge a ridefinire in modo profondo il rapporto tra l'uomo e la realtà, e la transizione dal sistema produttivo fordista a quello postfordista rappresenta uno di questi passaggi. L'affermazione del postfordismo, infatti, non può essere interpretata come un semplice cambiamento delle modalità di produzione, ma bensì come una trasformazione di portata ontologica, che riorganizza i presupposti fondamentali dell'esistenza sociale e materiale.

Se il fordismo era dominato dalla macchina come simbolo dell'automazione e della standardizzazione, il postfordismo ne supera i confini, abbracciando un modello fluido incentrato su servizi e informazioni in cui la tecnica non è più un semplice strumento, ma diviene un linguaggio onnipervasivo, una grammatica invisibile che struttura ogni aspetto della produzione e dell'esistenza, con cui passare da un regime di accumulazione rigido a uno più flessibile.¹ Tuttavia, questa lettura, se pur accurata, coglie solo la superficie di una trasformazione che ha implicazioni ben più profonde, che portano a identificare il postfordismo non come un qualcosa semplicemente più flessibile del fordismo, ma come un fenomeno

- ²⁶ che opera secondo una logica completamente diversa, in cui la distinzione tra produzione materiale e produzione simbolica si dissolve.

Il postfordismo rappresenta quindi un nuovo metodo con cui costruire la realtà, un metodo che si fonda sulle informazioni e quindi sulla disponibilità da parte di chi vuole entrare a far parte di questa realtà di essere tradotto in dati. Federico Campagna associa questo aspetto con il concetto di "linguaggio totale", ovvero la manifestazione egemonica di quello che può essere considerato il principio metafisico fondante dell'epoca della tecnica, il linguaggio assoluto. Campagna descrive il linguaggio assoluto² come il livello più interno, il cuore pulsante della tecnica, ciò su cui si fondano tutte le altre caratteristiche di questo sistema. Il linguaggio di cui parla Campagna non è un semplice strumento di comunicazione, ma un codice simbolico che struttura l'intera realtà contemporanea e rappresenta l'idea che solo ciò che può essere ridotto al linguaggio descrittivo esiste veramente, favorendo l'eliminazione di ambiguità e complessità in nome dell'operatività e della trasparenza totale.

Il linguaggio totale, invece, costituisce l'applicazione egemonica di questo principio, ovvero la pretesa che questo sistema linguistico possa catturare e descrivere completamente ogni aspetto dell'esistenza, estendendo il suo dominio a tutti i settori della vita umana e naturale. Il linguaggio assoluto non è uno strumento che descrive la realtà, ma il principio fondativo che la costituisce, mentre il linguaggio totale rappresenta la sua espansione totalizzante. Ogni entità, per esistere all'interno del paradigma tecnico, deve essere traducibile in termini operativi, computabili, immediatamente processabili, tutto ciò che sfugge a questa logica non viene semplicemente ignorato, ma letteralmente cancellato dall'orizzonte costitutivo del sistema.

Nel postfordismo, il linguaggio totale non si limita a descrivere il mondo, ma lo costruisce attivamente, presentandosi come la matrice da cui prende forma la realtà stessa, definendo il

²⁷ presupposto su cui si fondano diversi fenomeni che caratterizzano l'epoca contemporanea, come la nascita dell'intelligenza artificiale o l'ascesa dei big data, ovvero una forma sofisticata di traduzione della realtà in sequenze comprensibili e sfruttabili.

L'epoca postfordista non è solo il preludio alla nascita dell'AI, ma ne costituisce la matrice culturale. Questo passaggio non è una mera evoluzione tecnica, ma una rivoluzione essenziale in quanto il linguaggio assoluto può essere visto come lo strumento con cui dare forma a ciò che Yuval Noah Harari definisce "datismo".³ Stando alle parole del filosofo israeliano, il datismo può essere visto come una forma di radicalizzazione del pensiero di Campagna, in quanto dietro un meccanismo, all'apparenza descrittivo, si cela una potente operazione ideologica che mira alla riduzione dell'essere al computabile, un'operazione che però nel momento in cui si concretizza crea uno scarto tra la realtà effettiva e la realtà tradotta in dati, dando vita ad un processo di sintesi guidato da criteri che dovranno essere definiti a priori da qualcuno o da qualcosa. I dati non sono mai grezzi o neutri, ma sempre il prodotto di specifiche operazioni di selezione, categorizzazione e interpretazione. Il datismo, quindi, non è tanto una descrizione oggettiva della realtà quanto una scelta che privilegia determinati modi di vedere e organizzare il mondo. Nel suo agire quindi, il linguaggio totale determina uno scarto tra la realtà "reale" e la realtà descritta dai dati, un processo che evidenzia un attributo particolare che caratterizza l'azione del linguaggio totale, la trasparenza. Come spiegato dal filosofo Byung-chul Han,⁴ le pratiche sociali di oggi si fondano proprio sulla trasparenza, valutabile tanto nella facilità con cui è possibile reperire informazioni quanto nel modo in cui le persone sono esposte alla luce degli algoritmi. L'analisi di Han rivela come la trasparenza sia diventata il meccanismo attraverso cui il linguaggio totale si impone come norma sociale. Tutto ciò che resiste alla trasparenza, come la complessità o l'ambiguità, viene automaticamente marcato come sospetto, disfunzionale,

- 28 obsoleto. Anche la trasparenza non è quindi un valore neutro, ma un dispositivo di normalizzazione che plasma i soggetti secondo i requisiti del sistema tecnico, e guida ad esempio l'esperienza quotidiana dei social media, dove il diktat della condivisione della propria vita e delle proprie esperienze si presenta come una necessità sistemica.

Le piattaforme digitali esistono grazie alla trasformazione dell'esperienza umana in dati processabili, un processo che per poter funzionare necessita della trasparenza totale dell'utente. In altre parole, la trasparenza diventa un criterio con cui misurare l'assuefazione dell'individuo ai codici del linguaggio totale, per poter esistere bisogna essere visibili dall'algoritmo, cioè trasparenti di fronte al suo meccanismo di raccolta dati attraverso il quale si costruisce la realtà.

Il postfordismo, attraverso l'applicazione del linguaggio assoluto e la sua radicalizzazione nel datismo, ha prodotto una nuova realtà computazionale che ridefinisce i parametri stessi dell'esistenza. In questa struttura, esistere significa essere computabile, e essere computabile significa essere riducibile a operazioni algoritmiche.

L'ascesa del datismo non rappresenta esclusivamente una questione di natura filosofica, ma introduce una serie di questioni etiche, politiche e culturali, che rappresentano la base di una valutazione critica della nascita e dell'utilizzo delle intelligenze artificiali.

29 NOTE

- 1 Harvey, D. (1993). *La crisi della modernità*. Milano: Il Saggiatore;
- 2 Campagna, F. (2021). *Magia e Tecnica, la costruzione della realtà*. Roma: Edizioni Tlon;
- 3 Harari, Y.N. (2018). *Homo deus; Breve storia del futuro*. Milano: Bompiani;
- 4 Han, B.-C. (2014). *La società della trasparenza*. Milano: Nottetempo.

PARTE UNO

1.1.2

31

LA SOCIETÀ DELL'INFORMA- ZIONE

PARTE UNO

Riducendo la scala di analisi del sistema postfordista, che attraverso il linguaggio totale costruisce una nuova forma di realtà associabile al datismo, è possibile individuare una manifestazione tangibile e concreta di questo paradigma nella cosiddetta società dell'informazione.

A partire dalla seconda metà del Novecento, questo termine ha descritto un nuovo ordine economico, sociale e culturale emerso con la diffusione massiva delle tecnologie digitali, dei media elettronici e della computazione. La società dell'informazione rappresenta una configurazione storica in cui l'informazione diventa la risorsa primaria per l'organizzazione della produzione, della conoscenza, della comunicazione e, più ampiamente, dell'intera vita sociale. Tra i primi a dare forma a questo concetto troviamo Fritz Machlup,¹ che già negli anni Sessanta parlava di "knowledge industries", e Daniel Bell, che in "The Coming of Post-Industrial Society"² descrive l'avvento di una società in cui il settore dei servizi e delle conoscenze avrebbe superato quello manifatturiero con la conoscenza teorica elevata a fonte primaria per l'innovazione tecnologica e la crescita economica.

Nel quadro di questa trasformazione, l'informazione assume una

34 funzione centrale non solo nei processi economici, ma anche nella costruzione della realtà sociale. La società dell'informazione, in altre parole, è anche una società della rappresentazione, in cui ciò che conta non è tanto l'esperienza diretta quanto la sua codifica, trasmissione e riproduzione, tutti paradigmi riconducibili all'azione del linguaggio totale. Il bisogno di rappresentare ogni aspetto della realtà in termini operabili, computabili, gestibili si traduce nella creazione di un mondo simbolico in cui la realtà stessa viene filtrata, selezionata e normalizzata attraverso protocolli informatici e tecnologie di comunicazione.

Questo passaggio, che coincide con le trasformazioni postfordiste già discusse, comporta uno spostamento radicale dove non è più la realtà a costituire il punto di partenza dell'esperienza umana, bensì la sua rappresentazione. Come ha osservato Jean Baudrillard,³ nella società contemporanea il segno non rinvia più a un referente reale, ma a un altro segno. Si entra così in un regime di simulazione, in cui la rappresentazione non riproduce il reale ma lo sostituisce.

Questo processo di sostituzione si è reso possibile grazie a una serie di sviluppi tecnologici che hanno le loro radici nella seconda metà del XX secolo, molti dei quali direttamente collegati al contesto della Guerra Fredda. Le infrastrutture di sorveglianza e comunicazione sviluppate in ambito militare, come i radar, i sonar, i sistemi di controllo aereo e satellitare, hanno promosso una visione del mondo come spazio da monitorare, codificare, anticipare. La cultura informazionale della Guerra Fredda ha creato un mondo chiuso, in cui le tecnologie digitali servivano a simulare e controllare ogni possibile scenario.⁴

Come spesso accade, l'architettura si presenta come uno dei dispositivi con cui dare forma ad una precisa interpretazione del mondo, e un esempio è l'emblematico Long Lines Building di Manhattan, progettato per AT&T nel 1974. L'edificio, completamente privo di finestre, era concepito come nodo infrastrutturale per la trasmissione dei dati e progettato per resistere a un attacco

35 nucleare. La sua immagine austera manifesta plasticamente l'ideale di chiusura e della sorveglianza, tipiche di un'architettura che non si apre all'esterno, ma che assorbe e rielabora informazioni in modo invisibile e inaccessibile, ecco quindi che la rappresentazione digitale della realtà acquisisce anche una centralità politica e spaziale. L'informazione non è più un mezzo per comprendere il mondo, ma il mondo stesso viene riscritto per essere compreso dall'informazione. Questa tendenza ha portato alla formazione di quella che Luciano Floridi ha definito infosfera,⁵ ovvero un ambiente globale di entità informazionali, in cui esseri umani e non-umani interagiscono attraverso flussi costanti di dati. Floridi sottolinea come questa condizione comporti una trasformazione del nostro rapporto con la realtà secondo cui ciò che non è informato, non è reale e ciò che non può essere inserito in un flusso comunicativo, non esiste. Questo approccio riflette ancora una volta il dominio del linguaggio totale descritto da Campagna secondo cui ogni entità deve essere codificabile per poter essere riconosciuta e gestita all'interno dell'infosfera.

La struttura della società dell'informazione trova una descrizione teorica fondamentale nell'opera di Benjamin Bratton, che attraverso il diagramma concettuale "The Stack"⁶ analizza e rappresenta l'infrastruttura stratificata della realtà contemporanea attraverso la definizione di un ordine gerarchico composto da sei livelli interconnessi tra loro: Terra (risorse fisiche), Nuvola (infrastrutture cloud), Città (organizzazioni urbane), Indirizzo (sistemi di localizzazione), Interfaccia (superfici di interazione) e Utente (soggetti individuali e collettivi).

La comprensione di questi meccanismi rappresenta il giusto pretesto per avviare una riflessione critica sul ruolo che l'intelligenza artificiale ricopre all'interno di questo sistema, in quanto rivela un aspetto paradossale della condizione umana, che incapace di processare, interpretare e utilizzare questa massa informativa si dimostra inadeguata ad operare all'interno di questo sistema. L'essere umano,

- 36 dotato di capacità cognitive finite, si trova sovrastato da flussi di dati che crescono esponenzialmente e che richiedono velocità di elaborazione e potenza di calcolo incompatibili con i tempi biologici della riflessione e del giudizio.

Questa sproporzione tra volume informativo e capacità umane di elaborazione non rappresenta semplicemente una sfida tecnica, ma evidenzia un'incapacità strutturale dell'uomo di agire efficacemente all'interno del datismo. La necessità di prendere decisioni in tempo reale, di riconoscere pattern complessi in enormi dataset, di elaborare correlazioni multidimensionali, supera sistematicamente le possibilità cognitive individuali. In questo contesto, l'intelligenza artificiale emerge non come una scelta tecnologica, ma come una necessità sistemica per rendere operativo l'ambiente informativo contemporaneo, fungendo da interfaccia indispensabile tra l'uomo e il mondo dei dati.

37 NOTE

1 Machlup, F. (1962). *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*. Princeton, NJ: Princeton University Press;

2 Bell, D. (1973). *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*. New York: Basic Books;

3 Baudrillard, J. (1981). *Simulacres et Simulation*. Paris: Éditions Galilée;

4 Edwards, P. N. (1996). *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, MA: MIT Press;

5 Floridi, L. (2011). *The Philosophy of Information*. Oxford: Oxford University Press;

6 Bratton, B.H. (2015). *The Stack: On Software and Sovereignty*. Cambridge, London: The MIT Press.

PARTE UNO

1.1.3

39

IL PENSIERO COMPUTAZIO- NALE

PARTE UNO

Riconoscere l'urgenza di dover utilizzare algoritmi di machine learning per poter interagire all'interno di un contesto formato da dati si accoda ad una scuola di pensiero che si fonda sull'utilizzo del pensiero computazionale come principio guida dell'agire umano. Un primo passo per provare a capire i principi che si celano dietro i meccanismi del pensiero computazionale consiste nel far riferimento al pensiero calcolatore di Martin Heidegger.¹ Il filosofo tedesco aveva identificato nel pensiero calcolatore la minaccia principale alla capacità contemplativa dell'essere umano, denunciando come il pensiero che calcola non si dà pensiero e non riflette sul senso delle cose, minaccia che il pensiero computazionale rende operativa e istituzionalizzata. Il paradosso è eloquente. Ciò che Heidegger etichettava come possibile causa di erosione dell'essenza umana è diventato il principio metodologico fondamentale per l'organizzazione della realtà contemporanea, definendo l'unica modalità operativa attraverso cui il soggetto contemporaneo riesce a relazionarsi con l'ambiente tecnico che lo circonda. La trasformazione del calcolo da problema filosofico a soluzione operativa rivela la natura performativa del sistema tecnico,

- 42 capace di convertire le proprie contraddizioni in nuove operatività, trasformando così una critica iniziale in risorsa. Janet Wing² fu tra i primi intellettuali a parlare di pensiero computazionale, e, oltre a definire una chiara metodologia applicativa, colse anche la vera essenza della questione, ovvero l'imminente arrivo di una rivoluzione cognitiva in cui il pensiero computazionale sarebbe diventato una competenza fondamentale riconosciuta universalmente. Le sue parole preannunciavano l'imminente nascita di una nuova società in cui i membri vengono istruiti a pensare secondo i parametri algoritmici richiesti dal sistema tecnico, approccio che diventa un requisito fondamentale per poter operare efficacemente nell'ambiente del datismo.

Il pensiero computazionale non nasce dal vuoto, ma affonda le sue radici storiche in quella rivoluzione epistemologica inaugurata dalla Conferenza di Dartmouth del 1956, momento fondativo di quell'ambito di ricerca che chiamiamo intelligenza artificiale, che ha stabilito per la prima volta la possibilità teorica di riprodurre meccanicamente i processi cognitivi umani. John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon furono molto chiari nella loro dichiarazione di intenti, proponendo uno studio basato sul presupposto che ogni aspetto dell'apprendimento o qualsiasi altra caratteristica dell'intelligenza può in linea di principio essere descritta così precisamente da poter essere simulata da una macchina.³ Il presupposto da cui partirono non era semplicemente un'ipotesi scientifica, ma una vera e propria dichiarazione d'intenti volta a ridefinire l'intelligenza umana come qualcosa di computazionabile.

La linearità genealogica che collega Dartmouth al pensiero computazionale di Wing non è casuale, entrambi infatti condividono la premessa fondamentale che il pensiero possa essere formalizzato, algoritmizzato e ridotto a procedure operative replicabili e ottimizzabili. La Conferenza di Dartmouth aveva posto le basi teoriche per considerare l'intelligenza come un forma di

43 manipolazione simbolica computabile, mentre Wing ha tradotto questa intuizione in paradigma operativo universale, completando il processo di trasformazione del pensiero umano in risorsa computazionale e preparando il terreno concettuale per l'emergere dell'intelligenza artificiale come necessità sistemica. È precisamente in questo contesto che emerge la critica di James Bridle,⁴ la quale, a distanza di oltre sessant'anni dalle intuizioni heideggeriane, conferma retrospettivamente i timori che il filosofo tedesco aveva espresso come critica preventiva di una tendenza ancora emergente. Se Heidegger nel 1955 aveva diagnosticato il rischio del pensiero calcolatore come minaccia futura all'essenza dell'essere umano, Bridle nel 2018 documenta la realizzazione compiuta di quella profezia, osservando come il pensiero computazionale sia responsabile di cecità una sistemica travestita da illuminazione. La convergenza temporale tra le due critiche rivela la natura profetica dell'analisi heideggeriana, ciò che nel 1955 appariva come possibilità inquietante è diventata oggi una realtà consolidata. Bridle identifica nel pensiero computazionale non uno strumento neutro di problem-solving, ma un modo di vedere che privilegia il processabile rispetto al comprensibile, una modalità cognitiva che traduce la complessità del reale in sequenze algoritmiche manipolabili a scapito della comprensione qualitativa dei fenomeni, confermando le preoccupazioni heideggeriane sulla perdita della dimensione contemplativa del pensiero. L'analisi di Bridle si estende alla critica dell'illusione di controllo che il pensiero computazionale genera, secondo la quale tutti i problemi possono essere risolti attraverso la loro riduzione a operazioni computabili, un postulato che però rivela come il pensiero computazionale operi secondo la stessa logica del linguaggio totale analizzato da Campagna, pretendendo di catturare la realtà attraverso la sua riduzione a operazioni computabili, eliminando sistematicamente tutto ciò che resiste alla formalizzazione algoritmica. I rischi identificati da Bridle costituiscono la prima categoria di

- 44 criticità che si celano dietro all'utilizzo dell'intelligenza artificiale. La riduzione della complessità del reale a parametri computabili genera sistematicamente zone d'ombra, ambiti di realtà che sfuggono alla formalizzazione algoritmica e che quindi vengono eliminati dall'orizzonte operativo del sistema. Accanto a questi rischi di natura ontologica, si delineano politici e sociali che verranno approfonditi nei capitoli seguenti, costruendo un quadro complessivo delle sfide che l'intelligenza artificiale pone alla comprensione e all'organizzazione dell'esperienza umana contemporanea. La necessità sistemica che ha generato l'ascesa del pensiero computazionale non deriva da una scelta operativa illuminata, ma dall'incapacità strutturale dell'essere umano di processare i flussi informativi della società contemporanea senza mediazione algoritmica. In un contesto in cui l'esistenza quotidiana è immersa in oceani di dati che superano le capacità cognitive biologiche, l'uomo si trova obbligato ad elevare l'intelligenza artificiale al ruolo di protesi cognitiva con cui esplorare la complessità sistemica del datismo. Non si tratta più di addestrare gli esseri umani a pensare computazionalmente, ma di sviluppare sistemi di intelligenza artificiale capaci di processare quella complessità informazionale che il pensiero computazionale ha contribuito a strutturare ma che rimane al di là delle capacità cognitive umane. Il pensiero computazionale diventa quindi la condizione necessaria ma non sufficiente per l'operatività nell'epoca del datismo, fornisce il quadro concettuale per comprendere come strutturare i problemi in modo algoritmicamente processabile, ma delega all'intelligenza artificiale l'effettiva elaborazione di quella complessità che supera le capacità cognitive biologiche. Il cerchio si chiude. Il pensiero calcolatore che Heidegger aveva identificato come minaccia all'autenticità dell'essere, diventa, nella sua forma computazionale istituzionalizzata, il prerequisito cognitivo per l'utilizzo dell'intelligenza artificiale.

45 NOTE

- 1 Heidegger, M. (1983). *L'abbandono*. Genova: Il Melangolo;
- 2 Wing, J. M. (2006). *Computational Thinking*. Communications of the ACM, 49(3);
- 3 McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*;
- 4 Bridle, J. (2022). *Ways of Being: Animals, Plants and Machines: the Search for a Planetary Intelligence*. Allen Lane;

PARTE UNO

1.2

L'INTELLIGENZA ARTIFICIALE

1.2.1

49

UNA LENTE
CON CUI
OSSERVARE
LA REALTÀ

PARTE UNO

Un meccanismo di autodifesa con cui la mente umana cerca di abbattere le barriere che ostruiscono la comprensione di temi e fenomeni complessi consiste nell'associare tali questioni a elementi semplici e familiari. Esistono numerosi esempi applicativi di questo processo; siamo infatti ormai abituati a rappresentare concetti articolati attraverso analogie quotidiane, dalle strutture atomiche rappresentate come modelli planetari ai trend economici descritti come bolle che si gonfiano ed esplodono. Questo stesso bisogno di rendere comprensibile l'astratto emerge con l'intelligenza artificiale, termine che dietro un'apparente accessibilità cela un universo di sfaccettature, intrecciando conoscenze matematiche, informatiche, infrastrutturali, filosofiche e sociali.

Tra i diversi tentativi che hanno provato a ridurre il livello di complessità dell'argomento attraverso associazioni concrete e tangibili, uno dei più significativi e riusciti è quello di Pasquinelli e Joler che, nel loro "Nooscope Manifesto",¹ descrivono l'intelligenza artificiale contemporanea paragonandola ad una lente con cui osservare la realtà.

Tralasciando per un momento la generalità e la vastità di strumenti che possono essere racchiusi sotto la definizione di intelligenza

52 artificiale, questa metafora risulta particolarmente efficace nel mettere in risalto alcuni dei principali aspetti che caratterizzano la struttura di questo strumento. Paragonare l'intelligenza artificiale a una lente, esclude ad esempio ogni interpretazione volta che considera l'AI come un prodotto nato per replicare il funzionamento dell'intelligenza umana, evidenziando invece la sua natura di dispositivo mediatore che trasforma e filtra la percezione della realtà attraverso specifiche modalità computazionali. Ma non solo, il riferimento allo strumento ottico, dona all'intelligenza artificiale tutta una serie di valori che appartengono alla categoria delle lenti, come la capacità di filtrare e di distorcere ciò che si sta guardando, che nel caso dell'AI vengono definite a priori tramite la selezione di dati e la costruzione di algoritmi.

L'idea di costruire strumenti in grado di pensare fonda le sue radici nel pensiero di Alan Turing,² il primo a riconoscere un ambito di ricerca le cui premesse avrebbero permesso di superare un limite oramai noto e condiviso, ovvero l'impossibilità di definire chiaramente i meccanismi cognitivi della mente umana. La necessità di costruire macchine in grado di replicare il funzionamento della mente umana senza però che questo funzionamento venisse esplicitato, ha portato Turing ad elaborare una proposta rivoluzionaria che puntava a risolvere questa problematica attraverso un criterio puramente comportamentale, secondo cui, l'unico criterio pratico per attribuire intelligenza è l'osservazione del comportamento.³ Se non possiamo penetrare il funzionamento interno della mente umana, sostiene Turing, quello che possiamo fare è limitarci ad osservare i risultati che produce per poi costruire strumenti capaci di replicare questi stessi risultati attraverso mezzi computazionali.

A partire da questa intuizione il focus della ricerca si è spostato dalla comprensione dei meccanismi cognitivi alla riproduzione funzionale dei comportamenti intelligenti. Questa prospettiva comportamentale ha aperto la strada allo sviluppo di sistemi che, pur non replicando i

⁵³ processi biologici del pensiero, sono capaci di produrre risultati che appaiono intelligenti dal punto di vista funzionale.

La visione di Turing si è concretizzata storicamente attraverso lo sviluppo delle reti neurali artificiali, che rappresentano attualmente l'architettura dominante dell'intelligenza artificiale contemporanea. Tuttavia, è importante riconoscere che ridurre l'intero panorama dell'AI alle sole reti neurali costituisce una semplificazione eccessiva. L'intelligenza artificiale, intesa come ambito di ricerca, comprende un ampio spettro di approcci computazionali, dai sistemi simbolici agli algoritmi genetici, dai metodi bayesiani agli alberi decisionali. Ciascuno di questi paradigmi incorpora specifiche modalità di elaborazione dell'informazione e differenti presupposti teorici su cosa costituisca la conoscenza e come possa essere rappresentata computazionalmente.

Le reti neurali, tuttavia, hanno assunto una posizione egemonica nell'AI contemporanea grazie alla loro capacità di approssimare funzioni complesse attraverso architetture distribuite. La loro genealogia teorica risale al lavoro di Warren McCulloch e Walter Pitts,⁴ che nel 1943 definirono per la prima volta le modalità per modellare matematicamente i processi neuronali attraverso funzioni logiche discrete. Questo lavoro non rappresentava semplicemente un'innovazione tecnica, ma una rivoluzione concettuale basata sulla proposta che il pensiero potesse essere ridotto a operazioni computazionali, anticipando quello che oggi chiamiamo approccio computazionalista alla mente e aprendo la strada alla formalizzazione algoritmica dei processi cognitivi. L'evoluzione delle reti neurali ha attraversato diverse ere, dalla formulazione del perceptron di Frank Rosenblatt⁵ nel 1958 fino al rinascimento del deep learning negli anni 2010 guidato da Geoffrey Hinton e dai suoi collaboratori. Come racconta Metz,⁶ ogni fase di questo sviluppo ha comportato una progressiva sofisticazione nella capacità di modellazione, permettendo alle reti neurali di affrontare problemi sempre più complessi attraverso architetture sempre più profonde e articolate.

- 54 Le reti neurali contemporanee operano attraverso un ciclo di vita articolato in due fasi fondamentali, l'addestramento (training) e l'inferenza (inference). Durante la fase di addestramento, la rete viene esposta a grandi quantità di dati organizzati in dataset, attraverso un processo iterativo che modifica gradualmente i pesi delle connessioni tra i neuroni artificiali. Questo processo, governato da algoritmi di ottimizzazione come la backpropagation, non replica i meccanismi biologici dell'apprendimento, ma costituisce un'approssimazione matematica basata su principi di minimizzazione dell'errore.

Il processo di addestramento ha quindi l'obiettivo di definire i pesi del modello, matrici numeriche che determinano la memoria del modello e che non definiscono una forma di conoscenza esplicita o simbolica, ma piuttosto una forma di codifica implicita che emerge da un processo di ottimizzazione matematica.

I pesi dei modelli sono determinati dai dati utilizzati nel processo di addestramento, condizione che definisce un rapporto di subordinazione in cui i dataset emergono come elemento cardine da cui dipendono le capacità e i limiti di qualsiasi sistema di intelligenza artificiale. Un dataset non è una collezione neutra di informazioni, ma rappresenta una specifica selezione, organizzazione e interpretazione della realtà che determina il funzionamento del modello.⁷ I pesi definiti durante l'addestramento diventano operativi nella fase di inferenza, quando il modello è chiamato a processare nuovi input, producendo output che prendono il nome di predizioni. Questi output non sono quindi rappresentazioni dirette della realtà, ma il risultato di complesse mediazioni computazionali determinate dai pesi del modello, che riflettono quindi le caratteristiche dei dataset di addestramento, dell'architettura della rete e degli algoritmi utilizzati.

Riuscire a far luce sui principali meccanismi dell'architettura di questo strumento è fondamentale per poter comprendere i limiti

55 e i rischi legati al suo utilizzo. L'analogia con i dispositivi ottici di Pasquinelli risulta particolarmente efficace anche per mettere in luce come i rischi legati alle capacità predittive dei modelli di intelligenza artificiale riguardano tanto la fase di addestramento quanto la fase di inferenza, infatti, analogamente a quanto accade con l'AI, il funzionamento di una lente può essere alterato sia attraverso il modo in cui viene costruita, che tramite la manipolazione di ciò che viene osservato, che in determinate condizioni può condurre in inganno il dispositivo che si sta utilizzando per osservarlo.

Per quanto riguarda la fase di addestramento il rischio principale riguarda la creazione di bias di natura etico culturale che derivano dai contenuti dei dataset e degli algoritmi di addestramento, un aspetto che non può essere considerato come un'imperfezione tecnica da correggere, ma che rappresenta una caratteristica strutturale inevitabile che deriva dalla natura del processo di modellazione computazionale.

L'esistenza di questi limiti strutturali introduce una serie di rischi ontologici, valutabili tanto sui limiti intrinseci della traduzione del reale in dati, quanto nella discrezionalità con cui vengono selezionati i contenuti dei dataset. La riduzione della realtà a rappresentazione computazionale, applicazione diretta dei principi del linguaggio totale descritto da Campagna, comporta inevitabilmente una perdita di informazione e una semplificazione che elimina aspetti della realtà non facilmente formalizzabili. La realtà viene necessariamente filtrata attraverso i criteri di rappresentabilità digitale, privilegiando ciò che può essere quantificato e codificato a discapito di dimensioni qualitative, contestuali o soggettive. La centralità ricoperta dai dataset apre una serie di problematiche legate a chi seleziona i dati e al modo con cui questi dati vengono utilizzati, introducendo rischi legati alla rappresentatività, completezza e qualità dei dati utilizzati per l'addestramento. Dataset non rappresentativi, incompleti o distorti possono portare a sistemi che funzionano efficacemente solo per specifiche categorie di situazioni, riproducendo e amplificando

56 limitazioni o bias presenti nei dati originali.

Per quanto riguarda la fase di inferenza invece, i rischi assumono una natura diversa e riguardano la possibilità che input corrotti o manipolati inducano il modello in errore. Riprendendo l'analogia della lente, così come un dispositivo ottico può essere ingannato attraverso illusioni ottiche o riflessioni distorte, i sistemi di IA possono essere fuorviati da input appositamente modificati per sfruttare le vulnerabilità intrinseche nella struttura dei modelli.

57 NOTE

- 1 Joler, V. (Cur.). (2024). *Black Box Cartography*. Krisis Publishing;
- 2 Turing, A. M. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. *Mind*, 59;
- 3 Ibid;
- 4 McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*. *The Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5(4);
- 5 Rosenblatt, F. (1958). *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*. *Psychological Review*, 65(6);
- 6 Metz, C. (2021). *Genius Makers: The Mavericks Who Brought AI to Google, Facebook, and the World*. New York: Dutton;
- 7 Pasquinelli, M. (2023). *The Eye of the Master: A Social History of Artificial Intelligence*. Verso Books.

PARTE UNO

1.2.2

59

INTERVISTA PAU LABARTA BAJO

ADVERSARIAL EXAMPLES: MINACCE INVISIBILI PER LE RETI NEURALI

INTRO

Per quanto il funzionamento degli algoritmi di machine learning possa sembrare astratto e difficile da decifrare, essi si basano su una serie di processi strutturati che li rendono vulnerabili a minacce specifiche. Comprendere i rischi a cui sono esposti questi strumenti è fondamentale per sviluppare una maggiore consapevolezza nel loro utilizzo

BIO

Matematico che ha intrapreso la carriera di Machine Learning Engineer per poi diventare educatore. Ha iniziato la sua carriera oltre dieci anni fa come Quantitative Analyst presso Erste Bank e successivamente ha lavorato come Data Scientist per Nordeus, una società di giochi per dispositivi mobili ora parte di Take-Two Interactive. In Nordeus ha avuto il suo primo progetto di machine learning nel mondo reale, un'esperienza decisiva che ha consolidato il suo interesse per la disciplina.

Da allora, Pau ha lavorato come freelance presso Toptal, collaborando a progetti diversificati che includono auto a guida autonoma, servizi finanziari, app per la consegna, previsioni di serie temporali per il commercio online e soluzioni per fornitori di assicurazioni sanitarie. Due anni fa, Pau ha iniziato a condividere le sue conoscenze con la comunità su piattaforme come Twitter/X e LinkedIn. Il suo primo corso, The Real-World Machine Learning Tutorial, ha raccolto oltre 500 studenti soddisfatti, e continua a offrire contenuti gratuiti di valore attraverso i suoi canali social.

62 **FG:** Uno dei rischi a cui si trovano esposti i sistemi di Machine Learning prende il nome di “Adversarial Machine Learning”. Potrebbe spiegarci di cosa si tratta?

PLB: Il termine AML (Adversarial Machine Learning) si riferisce a un insieme di tecniche e procedure progettate per compromettere il funzionamento di un modello di machine learning. I modelli di machine learning possono essere utilizzati in diversi ambiti, come la creazione di applicazioni per la visione artificiale o la generazione di testi e immagini. Ciascuna di queste categorie di modelli può essere attaccata utilizzando processi noti come “Adversarial Techniques”, tecniche che permettono di alterare il comportamento di un modello mediante l'introduzione di dati manipolati, definiti “Adversarial Examples”. Il modo in cui un modello viene compromesso è legato al funzionamento di questi strumenti. Le reti neurali sono “differentiable with respect to the input” (differenziabili rispetto all'input), il che significa che anche minime variazioni nei dati di input possono influenzare significativamente la qualità degli output generati. Gli input rappresentano i dati grezzi forniti al modello, mentre gli output sono i risultati attesi. Il modello analizza ed elabora gli input per individuare pattern che vengono poi associati a un determinato output. Un modello può essere attaccato in due momenti distinti, durante la fase di addestramento

oppure durante la fase di inferenza.

È interessante notare che anche l'uomo può essere ingannato in modo simile. Per esempio, paragonando il cervello umano a un sistema di visione artificiale, entrambi possono cadere vittima di illusioni ottiche, come accade osservando i paradossali disegni di Escher.

FG: Come funzionano questi attacchi?

PLB: Innanzitutto è importante fare una distinzione tra gli attacchi che si verificano nel mondo digitale e quelli che avvengono nel mondo fisico. Gli attacchi digitali riguardano sia la fase di addestramento che la fase di inferenza. La fase di inferenza è il momento in cui un modello, già addestrato, viene utilizzato per fare previsioni o prendere decisioni (output) basandosi su nuovi dati forniti (input). Corrompere un modello durante questa fase significa fornirgli input manipolati in modo da alterarne il funzionamento, portandolo a produrre output errati.

Ad esempio, nel caso di un modello addestrato per il riconoscimento di oggetti, un attacco di questo tipo può essere condotto utilizzando un'immagine modificata. La modifica viene effettuata mediante algoritmi che generano una perturbazione che viene sovrapposta all'immagine originale. Questa perturbazione è progettata per alterare in modo quasi impercettibile alcuni pixel dell'immagine, risultando invisibile all'occhio

63 umano ma rilevabile dalla rete neurale, che di conseguenza produce una classificazione errata.

Un'altra categoria di attacchi digitali riguarda la contaminazione dei dataset di addestramento, nota come Poisoning Attack. Questo tipo di attacco consente di manipolare il dataset inserendo bias specifici o censurando informazioni rilevanti, influenzando negativamente il processo di apprendimento del modello.

FG: E invece nel mondo reale?

PLB: Gli attacchi nel mondo reale riguardano esclusivamente la fase di inferenza. Un esempio interessante è fornito dal lavoro di un gruppo di ricercatori che ha dimostrato come sia possibile compromettere il sistema di visione artificiale delle auto a guida autonoma semplicemente applicando adesivi sulla superficie dei cartelli stradali che inducono il sistema a interpretare erroneamente il significato dei segnali. Anche in questo caso, gli Adversarial Examples vengono generati utilizzando algoritmi che sovrappongono un livello di rumore all'immagine originale. Per l'occhio umano, che si basa su una percezione semantica degli oggetti, il significato del cartello resta invariato, ma per un sistema di visione artificiale, che analizza i singoli pixel che compongono un'immagine, queste piccole modifiche possono risultare significative,

portando a errori di classificazione.

Un altro esempio di Adversarial Attack nel mondo reale riguarda i Large Language Models (LLM). A causa dell'enorme quantità di dati utilizzati durante la fase di addestramento, questi modelli possono generare testi che contengono informazioni sensibili o inappropriate. Per mitigare questo problema, i ricercatori hanno implementato tecniche di post-elaborazione che bloccano la pubblicazione di determinati output. Tuttavia, esistono dei prompt che permettono di aggirare queste limitazioni e che forzano il modello a produrre gli output desiderati. Anche in questo caso, gli Adversarial Examples assumono significati diversi a seconda che siano interpretati da una macchina o da un essere umano. I prompt sono infatti generati utilizzando simboli e segni che compongono testi privi di senso per un lettore umano, ma che riescono a ingannare il modello, corrompendone il funzionamento.

FG: In che modo è possibile difendere i modelli da questi attacchi?

PLB: Quando si discute della sicurezza dei modelli di machine learning, è fondamentale considerare l'intrinseca asimmetria tra gli sforzi richiesti per difendere un modello e quelli necessari per attaccarlo. Modelli sviluppati in mesi di lavoro da team di ricercatori esperti, utilizzando cluster di GPU e con costi

PARTE UNO

64 che possono raggiungere milioni di dollari, possono essere compromessi nel giro di poche ore. È molto più facile attaccare un modello che difenderlo.

I ricercatori che progettano un modello sono consapevoli del rischio rappresentato dagli Adversarial Examples. Una delle tecniche più diffuse per contrastare questo tipo di attacchi è l'Adversarial Training, ovvero la creazione di dati sintetici tramite Adversarial Techniques da utilizzare durante il processo di addestramento. Ad esempio, se si sta addestrando un modello di visione artificiale a riconoscere immagini di gatti, nel dataset, oltre alle foto autentiche di gatti, si includeranno anche immagini di gatti manipolate. In questo modo si potrà insegnare al modello che, nonostante le differenze introdotte dalla corruzione, le immagini rappresentano lo stesso soggetto.

Per quanto riguarda i Poisoning Attacks, in particolare nel caso dei Large Language Models (LLM), è importante sottolineare come la presenza di fake news o informazioni malevole sia strettamente legata al modo in cui questi modelli sono stati addestrati. Per anni infatti, l'approccio all'addestramento si è basato sulla costruzione di enormi dataset di testi, spesso costruiti senza prestare particolare attenzione al contenuto di tali dati. Negli ultimi anni, tuttavia, c'è stato un cambiamento di approccio: i ricercatori, nel tentativo di ottenere modelli più efficienti e

sicuri, tendono a preferire modelli più piccoli, costruiti utilizzando dataset meglio curati. Questa maggiore attenzione alla qualità dei dati rappresenta un passo significativo per ridurre la possibilità di compromettere l'efficacia del modello.

1.2.3

65

DATASET E CATALOGAZIO- NE

PARTE UNO

Verdi distese di risaie stanno facendo da sfondo ad una scena profetica. Un emissario del mondo digitale, vestito delle sobrie vesti della modernità, si fa portatore di una nuova alleanza tra l'uomo e la macchina. Nelle sue mani, come un calice sacro, regge la sfera lucente che racchiude in sé il potere di tradurre l'essenza più intima dell'essere umano in sequenze di dati immutabili. Dall'altro lato, un umile coppia di contadini, si trova testimone di una rivelazione tecnologica. L'uomo, con indosso un cappello di paglia e le mani ancora sporche di terra, fissa incredulo questo oggetto alieno. Accanto a lui, la moglie osserva in silenzio. L'oggetto che l'emissario stringe tra le mani si erge come nuovo totem dell'era digitale, uno strumento in grado di portare l'ancestrale desiderio di catalogare tutto ciò che esiste, al suo livello massimo, tramite la catalogazione di tutti gli esseri umani. In questo lasso di tempo sospeso tra passato e futuro, tra il sapere millenario della coltivazione e l'imperativo tecnologico della catalogazione di massa si sta consumando un momento storico. I padroni del mondo digitale hanno scoperto il modo di estrarre e rendere computabile una delle componenti più identitarie e preziose dell'essere umano. L'Orb di WorldCoin¹ rappresenta l'ultima manifestazione di

- 68 un impulso che attraversa trasversalmente la storia umana e che rimanda all'ossessione per la catalogazione sistematica dell'esistente. Questo dispositivo biometrico, capace di registrare l'iride di ogni individuo per costruire un sistema di identificazione globale, si inserisce in una genealogia di strumenti classificatori che accompagna l'evoluzione della civiltà. Dalle tavolette cuneiformi di Uruk, utilizzate per catalogare beni e transazioni nel IV millennio a.C., fino alle enciclopedie illuministe che aspiravano a raccogliere l'intera conoscenza umana, l'umanità ha sempre cercato di ridurre la complessità del reale a sistemi ordinati e consultabili. Questa pulsione classificatoria non rappresenta semplicemente un'evoluzione tecnologica, ma rivela una costante antropologica che precede di millenni l'avvento del datismo e della società dell'informazione. Come ha osservato l'antropologo Jack Goody² anche la nascita della scrittura può essere vista come una risposta a questa necessità, configurandosi come una tecnologia cognitiva che permette di esternalizzare la memoria e di organizzare la conoscenza secondo principi sistematici. La catalogazione non è quindi una peculiarità dell'epoca contemporanea, ma una modalità operativa che ha sempre caratterizzato la relazione umana con la realtà, manifestandosi attraverso strumenti e tecniche diverse ma conservando una logica di fondo costante, volta a ridurre il caotico all'ordinato e il contingente al sistematico.
- La tendenza dell'uomo a catalogare non si limita soltanto all'invenzione di strumenti con cui perseguire questo fine, ma si traduce anche nella necessità di dover inventare dei metodi con cui archiviare quanto raccolto. I sistemi di catalogazione inventati dall'uomo sono molteplici e cambiano a seconda dell'ambito di competenza. Basti pensare, ad esempio, alla storia della tradizione bibliotecaria. Dal sistema decimale di Dewey (1876) alla Classificazione Decimale Universale di Otlet e La Fontaine (1905), fino ai moderni sistemi di metadati, ogni epoca ha tentato di costruire una griglia classificatoria capace di contenere l'intero

⁶⁹ sapere umano. Paul Otlet aveva immaginato un “Répertoire Bibliographique Universel”³ che anticipava di decenni l’idea di un database globale accessibile a distanza, prefigurando quella che oggi definiremmo un’infrastruttura informativa planetaria. La genealogia degli strumenti classificatori rivela come la catalogazione costituisca una costante antropologica che supera i confini cronologici e culturali. Dai quipu incaici, sistemi di corde annodate utilizzati per registrare informazioni amministrative e narrative, ai moderni codici QR che traducono informazioni complesse in pattern grafici leggibili dalle macchine, l’umanità ha sempre elaborato tecnologie di rappresentazione e archiviazione che permettessero di gestire la complessità informativa attraverso processi di sintesi e organizzazione sistematica. Questo antico processo di traduzione e catalogazione del reale in forme ordinate e fruibili ha acquisito nell’epoca contemporanea una rilevanza inedita grazie all’invenzione del machine learning. La natura di questo legame può essere compresa analizzando uno dei progetti di catalogazione più significativi della storia umana, l’Atlante Mnemosyne di Aby Warburg.⁴ Lo storico dell’arte tedesco, operando a cavallo tra la fine dell’Ottocento e l’inizio del Novecento, ha elaborato una ricerca volta a catalogare sistematicamente l’immaginario occidentale. L’aspetto rivoluzionario del lavoro di Warburg risiede nel fatto che egli non si limitò alla mera raccolta di immagini, ma costruì un sistema di correlazioni visive che aspirava a mappare la “sopravvivenza” (Nachleben) di forme antiche nella cultura contemporanea. Il suo metodo si fondava sull’organizzazione di migliaia di riproduzioni fotografiche su tavole nere, creando costellazioni di significato capaci di rivelare pattern nascosti e ricorrenze simboliche che si propagavano attraverso i secoli. La capacità dell’Atlante di identificare correlazioni complesse all’interno di grandi archivi di dati attraverso modalità non lineari di classificazione permette di considerare il progetto di Warburg come un precursore analogico del machine learning contemporaneo.

⁷⁰ In questo senso, potremmo affermare che senza la millenaria tradizione umana di catalogazione sistematica, gli straordinari progressi raggiunti nell'ambito del machine learning sarebbero rimasti un'utopia. Il vero punto di congiunzione tra l'impulso catalogatore e l'intelligenza artificiale risiede nei dataset di addestramento, quelle componenti fondamentali dei modelli di machine learning che racchiudono l'intero corpus informativo utilizzato per addestrare i sistemi. Questi dataset rappresentano, in ultima analisi, il prodotto di precedenti atti di catalogazione, configurandosi come l'eredità contemporanea di quella stessa pulsione classificatoria che ha guidato l'umanità dalla nascita della scrittura fino all'era digitale.

La storia dei dataset per l'AI può essere fatta risalire agli anni Ottanta, quando la comunità scientifica iniziò a riconoscere la necessità di archivi standardizzati per valutare comparativamente le prestazioni degli algoritmi. Uno dei primi esempi più significativi è costituito dal dataset UCI Machine Learning Repository,⁵ istituito nel 1987 da David Aha presso l'Università della California, che raccoglieva collezioni di dati relativamente piccole utilizzate per testare algoritmi di apprendimento automatico. La vera rivoluzione nella costruzione di dataset per l'AI è arrivata con ImageNet,⁶ il progetto iniziato da Fei-Fei Li nel 2009 presso l'Università di Stanford che portò alla costruzione di un database contenente oltre 14 milioni di immagini organizzate secondo una tassonomia gerarchica derivata da WordNet,⁷ il database lessicale sviluppato presso Princeton negli anni Ottanta. ImageNet utilizzava la struttura tassonomica di WordNet per organizzare le immagini secondo categorie semantiche, creando una corrispondenza tra rappresentazione linguistica e rappresentazione visiva che permetteva ai sistemi di AI di apprendere associazioni tra parole e immagini. Il successo di ImageNet ha catalizzato la rivoluzione del deep learning, dimostrando che l'aumento esponenziale delle dimensioni dei dataset portava a miglioramenti prestazionali altrettanto

⁷¹ significativi nei modelli di AI. Tuttavia, la costruzione di dataset di queste dimensioni ha introdotto problematiche inedite legate alla provenienza, qualità e rappresentatività dei dati. ImageNet è stato costruito attraverso un processo di crowd-sourcing che utilizzava Amazon Mechanical Turk per etichettare manualmente milioni di immagini raccolte dal web. Questo processo, pur efficiente dal punto di vista computazionale, ha sollevato questioni fondamentali sulla qualità del lavoro, sui diritti d'autore delle immagini utilizzate e sulla rappresentatività culturale dei contenuti selezionati.⁸

L'evoluzione dei dataset ha seguito l'espansione delle capacità computazionali e l'emergere di nuovi paradigmi nell'AI. Dai dataset visuali di ImageNet si è passati ai corpus testuali di dimensioni sempre maggiori. Da Wikipedia e Common Crawl utilizzati per i primi modelli linguistici, fino ai dataset multi-modali come LAION-5B, che contiene oltre 5 miliardi di coppie immagine-testo raccolte dal web. Questi dataset rappresentano una quantità di informazioni che supera la capacità di elaborazione di qualsiasi essere umano individuale, configurandosi come archivi che esistono esclusivamente per l'elaborazione algoritmica.

L'introduzione di dataset di queste dimensioni ha reso evidente una serie di problematiche etiche, culturali e politiche che caratterizzano l'AI contemporanea. I dataset utilizzati per addestrare le intelligenze artificiali contemporanee sollevano questioni fondamentali sulla rappresentatività culturale, sui bias sistemici e sulla governance dei dati. I dataset riflettono inevitabilmente i pregiudizi e le limitazioni delle società che li producono, trasformando discriminazioni sociali esistenti in bias algoritmici che vengono automatizzati e amplificati dai sistemi di AI.⁹

Gli archivi di dati nelle mani delle big tech sono costituiti prevalentemente da dati pubblici, ovvero informazioni che appartengono o sono prodotte dalle persone e che sono reperibili online. Questa definizione di pubblico, tuttavia, nasconde una complessità giuridica e etica significativa. Come ha osservato

⁷² Shoshana Zuboff,¹⁰ la trasformazione di dati personali in risorse computazionali avviene attraverso processi di estrazione che non richiedono il consenso esplicito degli individui che producono quei dati. I social media, i motori di ricerca, le piattaforme di e-commerce sfruttano le attività degli utenti per generare ciò che vengono definiti “dati di scarto”, che una volta prodotti vengono aggregati in dataset utilizzati per addestrare sistemi di AI commerciali. La raccolta massiva di dati personali per la costruzione di dataset solleva questioni fondamentali sulla proprietà intellettuale e sui diritti digitali. Molti dei dataset utilizzati per l’AI contemporanea sono stati costruiti senza il consenso informato delle persone i cui dati sono stati inclusi, configurando una forma di appropriazione che trasforma l’attività umana quotidiana in risorsa computazionale senza compenso o riconoscimento.¹¹

Inoltre, l’utilizzo di dati pubblici per addestrare sistemi di AI commerciali introduce una forma di asimmetria economica in cui le grandi corporation tecnologiche estraggono valore da dati prodotti collettivamente dalla società per creare prodotti proprietari che vengono successivamente venduti alla stessa società che ha prodotto i dati originali. Questa dinamica, che Zuboff definisce “accumulazione primitiva digitale”, configura una forma di estrazione del valore che trasforma l’esperienza umana in materia prima per la produzione di intelligenza artificiale.¹²

La costruzione e l’utilizzo dei dataset per l’AI rivelano quindi come la catalogazione contemporanea, pur inserendosi in una tradizione millenaria, introduca problematiche inedite legate alla scala, alla velocità e all’asimmetria di potere che caratterizzano l’economia digitale. L’Orb di WorldCoin, con la sua promessa di catalogazione biometrica universale, rappresenta l’apice di questa tendenza ergendosi a simbolo di quel processo di riduzione del reale al computabile che il linguaggio totale aveva teorizzato e che i dataset utilizzati per addestrare i modelli di intelligenza artificiale hanno reso operativo su scala mondiale.

73 NOTE

- 1 World Organization. (s.d.). *Building the Real Human Network*. <https://whitepaper.world.org/>
- 2 Goody, J. (1977). *The Domestication of the Savage Mind*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 3 Otlet, P. (1934). *Traité de Documentation*. Bruxelles: Editiones Mundaneum;
- 4 Spinelli, I., & Venuti, R. (1998). *Mnemosyne; L'atlante della memoria di Aby Warburg*. Siena: Artemide Edizioni;
- 5 Dua, D., & Graff, C. (2019). *UCI Machine Learning Repository*. University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences;
- 6 Miller, G. A. (1995). *WordNet: a lexical database for English*. Communications of the ACM, 38(11);
- 7 Fellbaum, C. (Ed.). (1998). *WordNet: An electronic lexical database*. MIT Press;
- 8 Crawford, K., & Paglen, T. (2019). *Excavating AI: The politics of images in machine learning training sets*. AI & Society, 36(2);
- 9 Noble, S. U. (2018). *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*. NYU Press;
- 10 Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs;
- 11 Gebru, T., & Bender, E. M. (2021). *On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big?* Proceedings of FAccT;
- 12 Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs

PARTE UNO

1.3

SAPIENZA GENERALE

1.3.1

77

DATI E

ARCHITETTURA

PARTE UNO

Parlare di intelligenza artificiale significa quindi parlare di dati, e la storia dell'utilizzo dei dati in architettura non è una storia che inizia oggi, ma affonda le sue radici nel secondo dopoguerra, quando architetti e informatici iniziarono a collaborare.

Come illustrato da João Magalhães Rocha,¹ questo incontro si sviluppò geograficamente attorno a due poli principali. Da un lato c'era l'Europa, con Londra e più in generale l'Inghilterra, dall'altro gli Stati Uniti, con centri nevralgici come il MIT di Boston e l'Università di Cambridge. In questi luoghi, a partire dagli anni Sessanta, architetti, matematici, informatici e teorici del design iniziarono a interrogarsi sul modo in cui le emergenti opportunità computazionali dei computer potessero essere utilizzate al servizio della progettazione architettonica.

L'approccio a questo tema non fu univoco. A Londra, per esempio, l'approccio si concentrava sull'utilizzo pratico della computazione per risolvere problemi concreti, come ottimizzare planimetrie ospedaliere, gestire processi edilizi complessi, applicare calcoli stocastici alla progettazione urbana. Dall'altra parte dell'Atlantico, Nicholas Negroponte al MIT immaginava invece una "Architecture Machine", una macchina cibernetica capace di agire come partner

80 collaborativo nel processo progettuale, un'entità dotata di una forma di intelligenza complementare a quella umana, capace di apprendere dalle conversazioni con l'architetto e di suggerire soluzioni creative attraverso meccanismi di feedback evolutivo. In parallelo, Christopher Alexander a Cambridge e a Berkeley sviluppava il suo metodo di sintesi della forma,² un approccio razionale e sistematico che tentava di scomporre il problema progettuale in diagrammi indipendenti, creando una struttura gerarchica di requisiti che potesse essere affrontata computazionalmente. Quello che univa queste esperienze apparentemente eterogenee era un interesse comune per la sistematizzazione del processo progettuale, per la possibilità di rendere esplicite, attraverso i dati, quelle relazioni complesse che tradizionalmente venivano affidate all'intuizione e all'esperienza dell'architetto.

Come sottolinea Kostas Terzidis,³ il modo in cui gli architetti hanno utilizzato il computer è da sempre un fenomeno in continua evoluzione. Inizialmente visti come strumenti per replicare il lavoro umano, i computer si sono poi trasformati in assistenti intelligenti in grado di alleggerire l'architetto dalle mansioni più ripetitive, per poi diventare veri e propri agenti creativi, capaci di esplorare possibilità formali impossibili da ottenere tramite l'utilizzo esclusivo della mente umana.

In questa storia un ruolo cruciale viene ricoperto dai dati. I dati, in architettura, hanno assunto nel corso della seconda metà del Novecento almeno tre ruoli distinti, ciascuno dei quali ha dato vita a tradizioni di ricerca specifiche. Sono stati usati come fonti di conoscenza, per comprendere e mappare fenomeni urbani e sociali complessi; come feedback ambientali, per rispondere in tempo reale alle condizioni del contesto e degli utenti; e infine come input generativi, come materia prima per algoritmi capaci di produrre forme parametriche. Questi tre modi di intendere i dati non si sono succeduti linearmente nel tempo, ma hanno coesistito, sovrapponendosi e influenzandosi reciprocamente, creando una

- ⁸¹ trama complessa di sperimentazioni. Uno schema, in cui gli attuali strumenti di machine learning rappresentano il capitolo più recente di questa lunga storia di collaborazione tra architettura e computazione.

DATI COME FONTE DI CONOSCENZA

L'impiego dei dati come fonte di conoscenza su cui fondare le scelte operative si colloca in un momento specifico della storia britannica, segnato da un lato dall'urgenza di ricostruire le città devastate dai bombardamenti della Seconda Guerra Mondiale e, dall'altro, dalla diffusione dei primi computer mainframe, macchine imponenti che occupavano intere stanze e richiedevano squadre di tecnici specializzati per il loro funzionamento, ma che al tempo stesso promettevano di trasformare radicalmente il modo in cui gli architetti potevano comprendere e articolare le relazioni tra forma e funzione. È in questo contesto che nel 1967, presso il Dipartimento di Architettura dell'Università di Cambridge, nasceva il centro per i Land Use and Built Form Studies (LUBFS), un laboratorio che si proponeva di costruire una nuova epistemologia della progettazione architettonica, fondata non più sull'intuizione o sull'esperienza tramandata da maestro ad allievo, ma sull'oggettività misurabile dei dati.⁴ L'obiettivo era quello di sviluppare modelli matematici capaci di estrarre le relazioni esistenti tra una forma architettonica e il modo in cui gli utenti utilizzano gli spazi, trasformando così l'architettura da disciplina artistica a scienza predittiva. Leslie Martin aveva già da tempo compreso che la frammentarietà della ricerca architettonica, non era più sufficiente per affrontare la complessità delle sfide contemporanee legate alla ricostruzione urbana del dopoguerra.⁵ Lui aveva una visione sistemica dell'architettura, credeva che tra pensiero razionale e intuizione speculativa non esistesse opposizione, ma complementarità, e che la sfida fondamentale per i progettisti non consistesse semplicemente nel realizzare edifici o spazi, bensì nel saper definire e orientare le possibilità e le scelte

82 che contribuiscono alla costruzione dell'ambiente in cui viviamo.⁶ In questo quadro intellettuale, l'idea di fondare le decisioni progettuali sui dati rappresentava una vera e propria rivoluzione, poichè significava passare da un approccio basato sul giudizio soggettivo a uno fondato sull'evidenza empirica, misurabile e ripetibile. Il LUBFS si distingueva per la sua struttura interdisciplinare. Il gruppo fondatore era composto da giovani laureati in architettura affiancati da scienziati informatici provenienti dal Mathematical Laboratory di Cambridge, che fornivano l'indispensabile supporto tecnico per utilizzare il computer "Titan", la potentissima macchina che dal 1964 serviva i dipartimenti scientifici dell'università.⁷ Il laboratorio si organizzò attorno a tre filoni di ricerca che coprivano diverse scale di indagine: l'Offices Study, focalizzato sulla scala del singolo edificio; l'Universities Study, che esaminava i complessi istituzionali come sottosistemi urbani; e l'Urban Systems Study, che analizzava l'intera città.⁸ Ciò che legava questi tre progetti era l'interesse condiviso per il potenziale dei modelli concettuali e matematici nel definire framework attraverso tutte le scale di investigazione, e le possibilità offerte dall'applicazione del computer a questi problemi. Tra i tre, l'ambito che ha portato i risultati più concreti e immediatamente comprensibili è sicuramente l'Offices Study. Philip Tabor, giovane architetto del gruppo, si dedicò all'analisi dei pattern di circolazione negli edifici, quello che il team chiamava "Traffic in Buildings", per poi sviluppare una metodologia di confronto sistematico per valutare configurazioni planimetriche alternative utilizzando il computer "Titan". Il processo prevedeva la parametrizzazione di edifici con la stessa superficie totale ma con diverse configurazioni planimetriche, la modellazione dei flussi attraverso la simulazione dei percorsi e dei tempi di spostamento tra punti diversi dell'edificio, e infine l'analisi comparativa per valutare quantitativamente l'efficienza della circolazione per ogni configurazione.⁹ I risultati di queste analisi venivano presentati come diagrammi grafici che mostravano curve comparative dell'efficienza circolatoria. Uno di questi grafici,

83 divenuto emblematico del metodo del LUBFS, metteva in relazione tre diverse configurazioni di edificio (una lineare, una a croce e una a corte) con i tempi di percorrenza degli utenti, mostrando chiaramente come al variare della forma architettonica i tempi con cui gli utenti riuscivano a raggiungere le diverse parti dell'edificio aumentavano o diminuivano in modi prevedibili e quantificabili.¹⁰ Questo approccio si dimostrava particolarmente utile durante la fase di progettazione perché permetteva di confrontare tra loro le diverse opzioni progettuali in modo analitico, identificando quella che risultava più funzionale secondo criteri oggettivi e misurabili. L'intuizione fondamentale era che la forma non fosse una questione di gusto estetico, ma avesse conseguenze concrete e misurabili sul comportamento degli utenti, conseguenze che potevano essere previste attraverso la simulazione computazionale prima ancora che l'edificio venisse costruito. Invece di affidarsi all'esperienza o all'intuizione dell'architetto, si potevano sottoporre le scelte progettuali a una verifica empirica basata su dati simulati che modellavano il comportamento reale degli utenti. L'obiettivo del LUBFS non era necessariamente quello di ottimizzare le soluzioni spaziali, ma piuttosto di sviluppare una comprensione sistematica dei fenomeni architettonici e urbani, di creare strumenti di analisi che permettessero di valutare alternative progettuali, e di identificare relazioni e pattern che prima erano intuiti ma non misurati. In questo senso, i dati non venivano utilizzati per sostituire il giudizio progettuale, ma per informarlo, fornendo agli architetti una base empirica su cui fondare le proprie decisioni. Il lavoro del LUBFS si inseriva in un movimento più ampio che stava attraversando l'architettura negli anni Sessanta, un movimento caratterizzato dalla convinzione che metodi scientifici potessero essere applicati alla progettazione. Il modello epistemologico che sottendeva il lavoro del LUBFS era chiaro. L'architettura non doveva più essere il risultato dell'ispirazione individuale del genio creativo, ma il prodotto di un processo razionale che partiva dall'analisi dei dati, passava attraverso

84 la modellazione delle relazioni tra forma e uso, e culminava in scelte progettuali informate da evidenze empiriche. Questa visione risuonava con le idee di altri ricercatori dell'epoca. Un esempio Christopher Alexander,¹¹ il quale propone un approccio sistematico alla progettazione basato sulla decomposizione del problema progettuale in sottoproblemi gestibili, un metodo che, sebbene sviluppato indipendentemente, condivideva con il LUBFS l'ambizione di fondare la progettazione su basi razionali e quantificabili. Tuttavia, mentre Alexander rimaneva focalizzato sulla logica della forma, il LUBFS si concentrava sulle relazioni tra forma e comportamento, introducendo nell'equazione la dimensione empirica dell'uso effettivo degli spazi da parte degli utenti. I grafici prodotti da Philip Tabor non erano semplici visualizzazioni, erano strumenti retorici che dimostravano la validità del metodo data-driven nella progettazione architettonica. Mostrando come configurazioni diverse producessero prestazioni diverse in termini di efficienza circolatoria, questi grafici rendevano visibile e incontrovertibile ciò che prima era nascosto e intuitivo. Un progettista poteva ora non solo affermare che una soluzione era migliore di un'altra, ma dimostrarlo attraverso dati quantitativi, trasformando così il dibattito progettuale da questione di opinioni a confronto di evidenze. Questa trasformazione non era priva di implicazioni, significava che le decisioni progettuali potevano e dovevano essere giustificate, che l'architettura doveva rendere conto non solo di criteri estetici ma anche di prestazioni misurabili, e che il ruolo dell'architetto si stava evolvendo da quello di artista visionario a quello di problem-solver informato dai dati, e il LUBFS incarnava perfettamente questa transizione.

Guardando ai grafici di Tabor oggi, con il vantaggio della distanza storica, possiamo vedere non solo dei diagrammi tecnici, ma i primi passi verso un'architettura che si interrogava sistematicamente sulle conseguenze delle proprie scelte formali, che cercava di prevedere e ottimizzare l'esperienza degli utenti attraverso la simulazione, e che riconosceva nei dati non un vincolo alla creatività ma una risorsa per

85 una progettazione più consapevole e responsabile.

DATI COME FEEDBACK AMBIENTALI

Il secondo caso studio riguarda l'applicazione dei principi cibernetici all'architettura, un esercizio intellettuale che trasformò radicalmente il modo in cui gli architetti concepivano gli edifici, non più visti come oggetti statici ma come sistemi dinamici capaci di dialogare con l'ambiente e con i propri abitanti. La cibernetica, disciplina nata durante la Seconda Guerra Mondiale dalla necessità di sviluppare sistemi di controllo automatici per le armi antiaeree, trovò la sua sistematizzazione teorica nel matematico Norbert Wiener.¹² Wiener propose una visione unificata dei sistemi biologici e artificiali basata sul concetto di conoscenza e di controllo, ovvero la capacità di un sistema di acquisire informazioni dall'ambiente circostante attraverso sensori e dispositivi di rilevamento e la successiva capacità di modificare il proprio comportamento in risposta a queste informazioni, creando quello che viene definito un "ciclo di feedback". Come spesso accade nella storia della cultura, fu l'arte il primo campo a sperimentare queste idee radicali. Nel 1967 a Londra si tenne una mostra intitolata "Cybernetic Serendipity",¹³ nella quale artisti e ingegneri presentarono una serie di sperimentazioni volte a costruire oggetti interattivi capaci di rispondere agli stimoli dell'ambiente e dei visitatori. Sebbene in quella mostra non vi fossero riferimenti espliciti all'architettura, alcuni architetti erano già profondamente interessati al potenziale di questi principi per ripensare lo spazio costruito, intuendo che le teorie di Wiener sulla comunicazione e il controllo nei sistemi complessi potessero applicarsi anche all'ambiente costruito. L'esempio più celebre e influente di architettura cibernetica fu senza dubbio il Fun Palace di Cedric Price, un progetto rivoluzionario nato dalla collaborazione tra un team di progettisti guidato da Price e un gruppo di ingegneri cibernetici coordinati da Gordon Pask, figura chiave nella definizione della rilevanza architettonica della cibernetica.¹⁴

86 L'aspetto più radicale del Fun Palace risiedeva nel non essere un edificio progettato per ospitare una configurazione spaziale statica e predefinita, ma per essere invece un sistema architettonico dinamico che, grazie a un impianto cibernetico centralizzato, sarebbe stato in grado di adattarsi continuamente alle diverse funzioni ospitate e ai diversi modi in cui gli utenti avrebbero fruito degli spazi.¹⁵

Il cuore pulsante del progetto era un sistema computerizzato che, attraverso telecamere e sensori distribuiti nell'edificio, raccoglieva dati ambientali in tempo reale, come i movimenti delle persone, la densità di occupazione, le condizioni di luce e la temperatura, utilizzandoli poi per orientare la configurazione e l'organizzazione dello spazio mediante elementi architettonici mobili, come pavimenti scorrevoli, pareti riconfigurabili e sistemi di copertura adattivi.

Pask¹⁶ descrisse questo approccio come la realizzazione di un ambiente reattivo e adattivo, nel quale un computer controlla le proprietà visive e tattili dei materiali ambientali, che contengono sensori tattili o visivi i quali restituiscono messaggi al computer a diversi livelli di generalità. In assenza di abitanti, spiegava Pask, il feedback conduceva alla stabilizzazione rispetto a determinati invarianti preprogrammati, mentre in presenza di esseri umani, l'ambiente era in grado di imparare dai loro comportamenti e adattarsi di conseguenza, creando un dialogo uomo-ambiente in grado di tradurre in termini architettonici i principi wieneriani di feedback e autoregolazione. Sebbene il Fun Palace non venne mai realizzato, rimanendo uno dei progetti non costruiti più influenti della storia dell'architettura, le sperimentazioni cibernetiche che rappresentava ebbero un impatto profondo su Nicholas Negroponte, fondatore dell'Architecture Machine Group al MIT, che avrebbe portato queste idee a un nuovo livello di sviluppo.¹⁷ Tralasciando l'enorme contributo teorico che il lavoro di Negroponte diede al mondo dell'architettura, vale la pena sottolineare che fu proprio lui a realizzare l'unico prototipo funzionante di architettura cibernetica, un dispositivo chiamato "Seek", esposto nel 1970 in un'esibizione

87 al Jewish Museum di New York.¹⁸ Questo prototipo racchiudeva in forma condensata tutti gli elementi costitutivi di un'architettura cibernetica secondo i principi teorizzati da Wiener. C'era uno spazio definito da una teca di plexiglass trasparente, c'erano degli utenti, piccoli gerbilli che si muovevano liberamente, c'erano elementi architettonici elementari, blocchi di metallo che determinavano la configurazione spaziale e infine c'era un sistema cibernetico che controllava un braccio robotico il quale, osservando attraverso sensori il modo in cui i gerbilli interagivano con i blocchi rispondeva spostando i blocchi stessi per creare nuove configurazioni spaziali, in un ciclo continuo di osservazione, elaborazione e azione.¹⁹ Il vero obiettivo di Negroponte era di fare ricerca sull'evoluzione e sulla teoria del feedback, distinguendosi dagli approcci più pragmatici che nel frattempo si stavano sviluppando in Inghilterra, dove i computer venivano utilizzati principalmente per risolvere problemi pratici di progettazione. Parallelamente a queste sperimentazioni sullo spazio, nacquero anche ricerche attorno allo sviluppo di materiali architettonici "intelligenti" che contenevano sensori incorporati e potevano modificare le loro proprietà in risposta alle condizioni ambientali e alla presenza umana. Queste ricerche anticipavano di decenni i concetti contemporanei di "responsive architecture" e "smart materials", dimostrando come i dati ambientali potessero diventare non solo informazioni da monitorare, ma veri e propri agenti di trasformazione architettonica. L'eredità di queste sperimentazioni cibernetiche andò ben oltre i progetti specifici. Esse introdussero nell'architettura l'idea rivoluzionaria che gli edifici potessero essere concepiti come sistemi complessi dotati di sensori per la raccolta di dati e di meccanismi di feedback per l'adattamento, applicando al campo dell'architettura quella visione unificata di sistemi biologici e artificiali che Wiener aveva teorizzato, e trasformando radicalmente il ruolo dei dati da semplici parametri di progetto a elementi attivi di un processo continuo di interazione tra edificio, ambiente e utenti.

DATI COME INPUT GENERATIVO

Durante gli anni Novanta del Ventesimo secolo, mentre i computer iniziavano a popolare gli studi di architettura trasformandosi da strumenti ausiliari in veri e propri partner progettuali, una silenziosa rivoluzione stava ridefinendo il rapporto tra architetti, macchine e dati. In questo periodo si diffuse infatti la convinzione secondo cui il computer non era più semplicemente uno strumento attraverso cui rappresentare forme già concepite dalla mente umana, ma diventava un dispositivo capace di generare forme attraverso la manipolazione algoritmica di parametri e dati. In questo contesto emerse così una nuova modalità di utilizzo dei dati in architettura, dove questi cessavano di essere semplici informazioni da raccogliere o feedback da monitorare, per trasformarsi in veri e propri input generativi, capaci di influenzare direttamente la genesi formale degli edifici attraverso processi computazionali. Questa trasformazione segnava l'alba di quella che sarebbe stata definita architettura computazionale, un insieme di sperimentazioni formali derivanti dalla combinazione inedita tra algoritmi, dati e potenza di calcolo, dove la forma finale non era più il risultato di un gesto autoriale univoco ma l'esito di un processo matematico-parametrico in cui i dati giocavano un ruolo determinante. Il filosofo Gilles Deleuze,²⁰ introduce il concetto di l'objectile, termine che identifica una nuova tipologia di oggetti ottenuti dalla combinazione di dati, algoritmi e potenza computazionale. Questa nozione deleuziana di objectile, che Cache e Lynn avrebbero poi adattato al contesto architettonico, rappresenta un importante punto di rottura rispetto alla concezione tradizionale dell'oggetto, che per via della sua natura parametrica acquisisce una dimensione generica.²¹

La forma architettonica non era più identificabile con una forma stabile, fissa e definita, ma diventava una forma fluida, dinamica, in continua evoluzione, che a seconda dei parametri e dei dati utilizzati poteva acquisire molteplici configurazioni, dove la forma

⁸⁹ finale costruita era solo una delle innumerevoli forme possibili che identificavano potenzialmente l'oggetto architettonico. Un interessante esempio applicativo di questo approccio, è il progetto "Embryological House" di Greg Lynn. Qui, la forma della casa non è più un oggetto architettonico unico e immutabile, ma il risultato di una funzione primitiva associata a diversi parametri che, a seconda delle tipologie di dati inseriti, genera forme differenti, tutte appartenenti alla stessa famiglia morfologica ma ciascuna con caratteristiche uniche determinate dai valori parametrici specifici. Un secondo esempio sono gli "Objectile Panels" di Bernard Cache,²² pannelli architettonici progettati attraverso funzioni parametriche e prodotti industrialmente attraverso macchine a controllo numerico, dimostrando concretamente come la generalizzazione delle funzioni parametriche nelle applicazioni software che gestiscono la lavorazione permette di fabbricare industrialmente oggetti unici, appartenenti tutti alla stessa serie ma con esiti formali differenti, superando così la contraddizione storica tra variazione estetica e produzione industriale che aveva caratterizzato tutto il Ventesimo secolo. Questa capacità di generare variazioni continue all'interno di una stessa famiglia formale si basava su principi matematici derivati dal calcolo differenziale leibniziano, che Deleuze aveva filosoficamente interpretato e che gli architetti digitali degli anni Novanta stavano traducendo in pratica progettuale. Come spiegato da Mario Carpo,²³ per secoli gli architetti avevano disegnato con l'algebra, ma ora il software CAD permetteva agli architetti di disegnare e schizzare usando il calcolo infinitesimale, aprendo così possibilità formali completamente nuove basate sulla continuità, sulla curvatura e sull'inflessione piuttosto che sulla geometria euclidea e sulla discontinuità angolare. Questo approccio trovava la sua sistematizzazione teorica nel concetto di "Non-Standard Architecture" elaborato da Migayrou,²⁴ che puntava a far luce su un interessante aspetto che caratterizza l'architettura algoritmica, il cui esito poteva essere visto come una semplice scelta fatta tra

- 90 un'ampia selezione di altre possibilità, trasformando radicalmente il ruolo dell'architetto da creatore di forme definite a curatore di processi generativi e selezionatore di soluzioni all'interno di spazi di possibilità computazionalmente definiti.

In questo nuovo paradigma progettuale, i dati assumevano un ruolo cruciale non più come rappresentazioni passive della realtà ma come agenti attivi nella genesi formale. Parametri dimensionali, vincoli strutturali, dati ambientali, preferenze funzionali potevano tutti essere codificati come variabili matematiche all'interno di algoritmi generativi, permettendo alla forma architettonica di rispondere dinamicamente a configurazioni diverse di input senza richiedere ogni volta un ripensamento completo del progetto. Come sottolineava Cache in una conversazione con Lynn, l'approccio parametrico permetteva di lavorare sia nella ricerca di pattern che nella progettazione attraverso parametri, mantenendo una tensione produttiva tra determinazione e scoperta, tra intenzione progettuale e serendipità computazionale.

Tuttavia, l'architettura non-standard non era semplicemente una questione di possibilità tecniche o di esplorazione formale fine a se stessa, ma sollevava interrogativi profondi sulla natura stessa dell'oggetto architettonico e sulla costituzione delle singolarità all'interno di sistemi dinamici. Lynn stesso, sviluppando le intuizioni deleuzian su l'inflessione e il piegamento, proponeva una concezione dell'architettura come forma animata,²⁵ dove il movimento e la trasformazione non erano semplici metafore ma caratteristiche intrinseche del processo progettuale computazionale, e dove l'enfasi di Lynn e Cache sugli scritti della metà degli anni Novanta sul ruolo della matematica, del calcolo infinitesimale e delle funzioni continue come nuovi strumenti di progettazione testimoniava la centralità del pensiero matematico-computazionale nella ridefinizione dell'architettura contemporanea.

La complessità di questi processi computazionali, dove articolati algoritmi potevano orchestrare centinaia di parametri interdipendenti

⁹¹ per generare forme architettoniche coerenti, sollevava anche questioni pratiche cruciali riguardo alla gestione della variabilità e al controllo progettuale. La capacità di generare variazioni infinite sollevava infatti il paradosso dell'autorialità. Se i dati e gli algoritmi potevano generare automaticamente migliaia di soluzioni progettuali diverse, quale era il ruolo residuo dell'architetto come autore?²⁶

L'impatto di questo approccio sull'estetica architettonica contemporanea fu profondo e duraturo. La preferenza per forme curve, fluide e continue che caratterizzò gran parte dell'architettura degli anni Novanta e dei primi anni Duemila non era semplicemente una questione di gusto o di moda stilistica, ma rifletteva le capacità specifiche dei software di modellazione parametrica basati sul calcolo differenziale, che manipolavano più facilmente funzioni continue che geometrie discontinue o angolari.

Guardando retrospettivamente a questo periodo pionieristico dell'architettura computazionale, appare chiaro come l'utilizzo dei dati come input generativo abbia rappresentato non solo un'innovazione tecnica ma un vero e proprio cambio nel modo di concepire e praticare l'architettura. I dati cessavano di essere semplici rappresentazioni passive della realtà per diventare agenti attivi nella genesi formale, trasformando radicalmente il ruolo dell'architetto, la natura dell'oggetto architettonico, e il rapporto tra progettazione e produzione, aprendo la strada a tutte le successive sperimentazioni.

- 1 Rocha, J. M. (2015). *From World War II to Architecture Computing*. Intervento a CAAD Futures 2015;
- 2 Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press;
- 3 Terzidis, S. (2006). *Algorithmic Architecture*. Oxford: Architectural Press;
- 4 Hawkes, D. (1976). "Modelling the Environmental Performance of Built Forms." In L. March (a cura di), *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 5 Martin, J. L. (1958). "Oxford Conference on Architectural Education." *Journal of the Royal Institute of British Architects*, 65;
- 6 Martin, L. (1967). "Architects' Approach to Architecture." *Journal of the Royal Institute of British Architects*, 74;
- 7 Hawkes, D. (1976). "Modelling the Environmental Performance of Built Forms." In L. March (a cura di), *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 8 Martin, L., & March, L. (1972). *Urban Space and Structures*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 9 Tabor, P. (1976). "'Analysing Communication Patterns' and 'Analysing Route Patterns'." In L. March (a cura di), *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 10 Hawkes, D. (1976). "Modelling the Environmental Performance of Built Forms." In L. March (a cura di), *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 11 Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press;
- 12 Wiener, N. (1948). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 13 Rocha, B. C. (2020). *Architecture Theory 1960–1980: Emergence of a Computational Perspective*. London: Routledge;
- 14 Pask, G. (1969). "The Architectural Relevance of Cybernetics." *Architectural Design*, 39(9);
- 15 Ibid;
- 16 Ibid;
- 17 Cybernetic Zoo. (s.d.). "1969–70 — SEEK — Nicholas Negroponte (American)". Disponibile su: <https://cyberneticzoo.com/>;
- 18 Rocha, B. C. (2020). *Architecture Theory 1960–1980: Emergence of a Computational Perspective*. London: Routledge;
- 19 Ibid;
- 20 Lynn, G. (1993). "The Folding in Architecture." *Architectural Design*, 63;
- 21 Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 22 Cache, B. (1995). "Objectile." In *Earth Moves: The Furnishing of Territories*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 23 Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 24 Migayrou, F. (2003). "The Orders of the Non-Standard." In B. Cache & P. Chemetov (a cura di), *Architectures Non Standard*. Paris: Centre Pompidou;
- 25 Lynn, G. (1999). *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press;
- 26 Picon, A. (2010). *Digital Culture in Architecture: An Introduction for the Design Professions*. Basel;

1.3.2

93

INTERVISTA FRANCESCO PACE

GEOMETRIE TELLURICHE: LA NATURA COME CODICE

INTRO

La figura del designer contemporaneo si configura sempre più come progettista di forme ma anche, e soprattutto, di processi. L'autorialità non risiede soltanto nell'esito formale, bensì nella capacità di definire sistemi generativi in cui tecnologia e creatività dialogano in modo profondo. L'intervista esplora questo approccio attraverso un progetto che traduce i dati dei Campi Flegrei in oggetti fisici, rivelando nuove possibilità espressive nell'interazione tra natura, dato e progetto

BIO

Dopo essersi laureato con un Master in Contextual Design presso la Design Academy di Eindhoven, nel 2017 Francesco Pace fonda Tellurico, uno studio di design multidisciplinare specializzato nella progettazione di oggetti, spazi e installazioni.

L'indagine di soluzioni alternative attraverso lo studio del folklore, insieme alla relazione tra artigianato e ambiente, è al centro della pratica di Tellurico. Il contesto in cui nasce un progetto è stato il fulcro della ricerca portata avanti in questi anni. Ciò che lega gli oggetti alle caratteristiche del luogo stesso intreccia aspetti storici, geologici e sociali dell'umanità, così come l'unicità e la semplicità della vita quotidiana. Si tratta di un campo di indagine in continua espansione, così come infinite sono le modalità di abitare il mondo.

Nel 2020 Tellurico è stato selezionato da Platform Magazine tra i migliori designer italiani under 40. Nel 2021 ha vinto il prestigioso Officine Saffi Awards con il progetto Telluride, mentre nel 2022 è stato inserito tra i Next Pure Talent 2022 da Elle Decor; nel 2023 è entrato nella AD20 List dei nuovi talenti emergenti italiani secondo AD Italia, e nel 2024 Exibart ha nominato Tellurico tra i 222 designer e artisti su cui investire.

Ad oggi, i lavori di Tellurico sono stati presentati in numerosi contesti internazionali, tra cui la Biennale di Architettura di Venezia, il Van Abbemuseum di Eindhoven, Ithra a Dammam, Hong Kong Design Institute, Museo MADRE a Napoli, Triennale di Milano, Bröhan Museum a Berlino, Collectible a Bruxelles, Beirut Design Fair, Padiglione Italiano a Barcellona, Zoya Museum a Bratislava e altri. Collabora con istituzioni culturali, brand internazionali e collezionisti privati, ricevendo commissioni da gallerie come Emma Scully Gallery (New York), Side Gallery (Barcellona), Mint London e presto anche da Philia Gallery.

Tra le altre attività, Tellurico è anche docente di Product Design presso NABA a Milano.

96 **FG:** La sua attività professionale è caratterizzata da una continua sperimentazione di metodologie progettuali diverse. In che modo il suo lavoro si lega all'utilizzo delle tecnologie digitali?

FP: Non sono una persona che inseguo freneticamente l'ultima innovazione tecnologica. Non credo che possedere l'ultimo prodotto significhi necessariamente essere al passo con i tempi. Ritengo invece fondamentale conoscere selettivamente queste tecnologie per integrare strumenti contemporanei nella propria pratica progettuale, senza che l'emergere di una nuova tecnologia debba per forza rivoluzionare il proprio metodo di lavoro.

Negli ultimi anni abbiamo vissuto varie hype tecnologiche, e ora quello dell'intelligenza artificiale. Io utilizzo l'IA non perché sia di moda, ma perché nel tempo ho sviluppato un metodo personale e specifico che mi permette di incorporare questo strumento nel mio processo creativo.

Prendo spesso come esempio Photoshop. Questo software ha improvvisamente democratizzato l'accesso alla progettazione grafica, abbattendo le barriere d'ingresso alla professione e portando a una apparente svalutazione della figura del grafico, poiché chiunque poteva creare immagini. Tuttavia, l'accessibilità di una tecnologia non ci rende tutti uguali. È il modo in cui la utilizziamo e la

integriamo nel nostro processo produttivo che ci differenzia e ci rende unici.

Lo stesso vale per l'intelligenza artificiale. La possibilità di generare immagini facilmente rappresenta uno "specchietto per le allodole" che ha avuto grande impatto in una società basata sulle immagini. Analizzando il fenomeno con lucidità, emergono però diverse criticità, come i benefici che le aziende traggono da questi prodotti. I tool offerti dalle grandi compagnie sono sistemi di machine learning che migliorano attraverso l'interazione con l'utente, permettendo alle aziende di raccogliere enormi quantità di dati.

I modelli generativi funzionano, io stesso li ho utilizzati a lungo per creare immagini, render e altri contenuti, ma col tempo questo utilizzo mi è sembrato limitativo: posso ottenere innumerevoli visualizzazioni della stessa idea, ma il loro contributo si ferma qui. Per questo è importante capire come utilizzare questi tools in maniera costruttiva cercando di non cadere in una banale reiterazione. distinti, durante la fase di addestramento.

FG: Ci può parlare del progetto Telluride e di come ha integrato l'intelligenza artificiale nel suo sviluppo?

FP: Il progetto Telluride ha avuto inizio diversi anni fa ed è profondamente legato ai Campi Flegrei, un'area vulcanica che comprende 24 vulcani attivi ed è caratterizzata dalla

97 più alta densità abitativa al mondo su di un vulcano attivo: 250 mila persone distribuite in 9 municipalità. Il progetto si compone di diverse fasi. La prima risale al 2018 e consiste nello sviluppo di un materiale innovativo la “Porcellana Vulcanica” e la successiva creazione di un oggetto intimamente connesso a questo luogo, ottenuto combinando lava e porcellana secondo proporzioni precise. Questo primo oggetto ha riscosso un notevole successo, permettendoci di passare alla fase successiva: un’installazione site-specific in una galleria di arte contemporanea a Roma, Contemporary Cluster. Qui abbiamo ampliato la collezione degli oggetti e inserito contenuti multimediali che raccontano il contesto dei Campi Flegrei. I video esposti analizzavano la prossimità tra persone, insediamenti e vulcani, mostrando i diversi scenari derivanti da questa convivenza.

La terza fase prende il nome di Memento Naturae e si fonda sull’idea che, accanto agli oggetti concepiti per un uso pratico e funzionale, esistano manufatti capaci di attivare un valore simbolico e narrativo. Questi oggetti funzionali che diventano dispositivi di senso, evocano immaginari e arricchiscono la nostra comprensione del mondo attraverso il modo in cui vengono percepiti, collocati e interpretati.

La famiglia di oggetti sviluppata in questa fase nasce da un’intuizione creativa che traduce i dati sismici registrati ai Campi Flegrei

in forme materiali attraverso un processo di elaborazione digitale. I dati utilizzati appartengono all’Istituto Italiano di Geofisica e Vulcanologia, un’organizzazione che monitora l’attività dei vulcani nel Mediterraneo. Questi dati sono pubblici, noi li abbiamo raccolti, catalogati e, attraverso algoritmi di machine learning, li abbiamo elaborati per renderli leggibili da un software di modellazione 3D. La forma di ciascun oggetto è generata a partire dai dati relativi ai movimenti sismici registrati nell’arco di 24 ore, trasformati in volumi digitali tridimensionali attraverso un sistema da me pensato chiamato VPS (Volumetric Production System), programmato e implementato dalla data analyst Paula Daher. In questo sistema, la forma finale non nasce da un disegno predefinito, ma emerge dall’interazione dinamica tra un modello 3D base e le variazioni impresse dai dati sismici. Il risultato è un catalogo di circa 1.500 varianti formali, ciascuna corrispondente a un giorno specifico di attività vulcanica registrata nell’arco di quattro anni.

Una volta che il processo è stato definito, la generazione della forma avviene in modo completamente automatico e noi accettiamo quel risultato. L’unico fattore che può indurci a modificarlo sono i limiti tecnici della stampa 3D, un vincolo fisico legato al medium con cui l’oggetto viene realizzato. Da qui poi è nata la nostra collaborazione con WASP azienda leader nelle stampa 3D, che ha prodotto i primi

PARTE UNO

98 oggetti e con cui abbiamo sviluppato tutto il lato tecnico di produzione degli oggetti. Memento Naturae è un punto d'incontro tra le forze naturali della Terra e le potenzialità delle tecnologie digitali. Il progetto riflette sul rapporto tra uomo e ambiente, mettendo in discussione la supremazia antropocentrica. Le attività sismiche e vulcaniche, normalmente percepite come minacce, vengono trasformate in forme armoniche che raccontano il tempo e l'energia del pianeta.

La generazione automatica della forma non è però l'obiettivo finale del nostro lavoro: stiamo infatti già progettando la fase successiva, finalizzata a definire una vera co-progettazione tra il designer e vulcano. L'idea è partire da volumi esistenti disegnati da me, che verranno poi modellati e plasmati dai dati raccolti. Questa rappresenterà una forma inedita di co-progettazione, dove il designer e l'attività del vulcano potranno interagire tramite l'utilizzo di algoritmi.

su richiesta dell'autore, si riportano i crediti relativi al progetto "Memento Naturae":

A project by Tellurico Design Studio, curated by IN Residence

Concept & Design: Francesco Pace

Data Analyst / Creative Technologist: Paula Daher

Curatorship: Barbara Brondi & Marco Rainò

Technical Partner: WASP SRL

Supported by: Worth Partnership Programme

FG: Questo progetto descrive un approccio analitico all'uso dell'intelligenza artificiale. Qual è invece la sua opinione sui modelli generativi e sul modo in cui stanno ridefinendo il concetto di autorialità?

FP: Ritengo che l'intelligenza artificiale sia un tool all'interno di un processo professionale produttivo e, come tanti altri strumenti attualmente disponibili, ha pieno diritto di esistere ed essere utilizzato. Il punto cruciale, però, rimane sempre lo stesso: come lo utilizzi?

Se ti aspetti che Midjourney o ChatGPT producano direttamente un'architettura complessa, con immagini dettagliate di ogni facciata, secondo me non fai altro che reiterare una serie di immagini già esistenti. Per creare qualcosa di veramente innovativo e rilevante nella società contemporanea, è necessario adottare un approccio diverso. I modelli generativi non possono essere l'unico strumento utilizzato, ma devono rappresentare solo una parte del processo, un ingranaggio all'interno di un motore più complesso.

La domanda fondamentale è. "a cosa serve produrre una serie di render con l'intelligenza artificiale senza considerare il contesto in cui si opera? Perché dovremmo creare un edificio completamente vetrato con forme organiche nel centro di Milano? Dov'è la vera innovazione?". Esistono numerose problematiche - come le risorse disponibili,

99 i permessi necessari, lo stile di vita delle persone - che devono essere prese in considerazione. Non tutto può essere ridotto a parametri misurabili e non tutto ha senso ovunque. “Perché realizzare una super architettura nella foresta Amazzonica in Brasile? Quale beneficio economico, sociale o di progresso questa tecnologia mi sta apportando?”. L’AI è una risposta, il problema sta nella domanda che ci poniamo quando la utilizziamo.

Certamente, il tema dell’automazione esiste e non è nuovo. In passato, problematiche simili sono state affrontate: basti pensare all’invenzione del treno e a come l’industria ferroviaria abbia stravolto il settore dei trasporti a cavallo e tutta l’economia correlata.

Probabilmente con l’intelligenza artificiale accadrà qualcosa di simile, forse anche peggio, ma ciò che dobbiamo chiederci è come pensiamo di adattarci a questa tecnologia e come questa tecnologia si adatta al contesto in cui operiamo.

PARTE UNO

1.3.3

101

UNA NUOVA FORMA DI AUTORIALITÀ

PARTE UNO

La combinazione tra le capacità cognitive della mente umana, i dati e le potenzialità computazionali degli algoritmi determina una nuova forma di conoscenza, che Benjamin Bratton identifica con il termine “sapienza generale”,¹ concetto che mette in risalto la natura ibrida della conoscenza contemporanea, basata sull’intreccio tra la dimensione biologica e quella computazionale. L’attributo “ibrido” serve proprio a indicare qualcosa che deriva dalla combinazione di due entità distinte, una distinzione che si rende esplicita nel momento in cui si differenziano i concetti di “intelligenza artificiale” e “intelligenza sintetica”.² I due termini non sono sinonimi, ma rimandano a significati precisi che ci aiutano a comprendere cosa si intende realmente quando parliamo di AI. Nel primo caso, il termine “artificiale” implica qualcosa che si limita a sembrare simile all’originale, come un diamante di plastica a basso costo, mentre nel secondo caso, “sintetico” indica una versione genuina e significativa di qualcosa che è stato riprodotto nella sua interezza, come un diamante coltivato in laboratorio che risulta identico a uno naturale a livello molecolare. Parlare di intelligenza artificiale significa quindi fare riferimento ad un meccanismo cognitivo il cui valore non risiede nel prendere il posto di quello umano, ma nell’affiancarlo, dando

¹⁰⁴ così vita a qualcosa di inedito.

La distinzione tra artificiale e sintetico è completamente in linea con l'intenzione di Alan Turing di creare uno strumento che fosse in grado di imitare l'esito del funzionamento della mente umana, senza rincorrere qualcosa che potesse replicarne il funzionamento stesso.³ Come descritto precedentemente, il rapporto tra architetti e informatici nasce a metà del 900, presupposto che permette di capire come la sapienza generale debba essere valutata come un fenomeno mutevole, che cambia insieme alle variabili in gioco definite dal contesto culturale, storico e tecnologico. La storia dell'utilizzo dei dati all'interno del processo progettuale architettonico ne è la dimostrazione più evidente. Il concetto di sapienza generale è in continua evoluzione, e si evolve insieme alla tipologia di strumenti e dati utilizzati. Le premesse di questa ricerca si basano sulla convinzione che ad ogni forma di sapienza generale corrisponda una diversa forma di autorialità che caratterizza la figura dell'architetto. Da questo punto di vista, l'architettura cibernetica e l'architettura computazionale rappresentano due diverse forme di sapienza generale, in cui il processo di ibridazione coinvolge strumenti diversi che utilizzano i dati in modo differente. A supporto di questa tesi è possibile citare Mario Carpo⁴ e la sua riflessione sull'autorialità parametrica, una particolare forma di autorialità che si fonda sul concetto di partecipazione reso possibile dalle tecnologie digitali. Carpo parte da una constatazione tecnica ben precisa, riconoscendo come la progettazione digitale spezzi il filo che da sempre univa il progetto architettonico alla sua rappresentazione. Ciò che veniva pensato e disegnato dall'architetto corrispondeva a ciò che veniva poi realmente costruito, un legame che nel caso dell'architettura parametrica si incrina, poiché il processo parametrico prevede per definizione la presenza di variabili aperte che possono essere modificate e la cui modifica comporta un'alterazione della forma architettonica. Di fronte a questa apertura Carpo identifica tre possibilità distinte. La prima

¹⁰⁵ è che l'autore controlli e chiuda tutte le variabili, producendo una serie definita di oggetti tutti autorizzati da lui. La seconda è che le variabili vengano generate automaticamente dalla macchina, in modo casuale o algoritmico. La terza, e forse la più radicale, è che le variabili vengano scelte da qualcun altro senza il consenso dell'autore originale. È proprio in quest'ultimo caso che si manifesta con maggiore evidenza il tema della partecipazione.

Nel mondo digitale il simbolo più compiuto di questo ideale partecipativo è rappresentato dal movimento open source, e in particolare dalla celebre metafora del bazaar elaborata da Eric Raymond,⁵ che descrive uno spazio in cui chiunque, in modo libero e autonomo, può prendere parte alla costruzione del software.

Raymond prende come riferimento una delle comunità open source più influenti del periodo, il gruppo di sviluppatori che ruota attorno al sistema operativo Linux, riferimento ripreso anche da Sennett⁶ come esempio di cooperazione che rievoca l'ideale antico dell'artigiano.

Sennett risale alla parola greca *demioergos*, termine che nell'antica Grecia indicava una figura di classe media capace di combinare testa e mano al servizio della comunità, un ideale che trova la propria reincarnazione moderna proprio nella partecipazione collettiva tipica dei processi open source.

Uno degli esempi più significativi di autorialità parametrica condivisa rimane il flatwriter di Yona Friedman.⁷ Convinto del fatto che l'architetto non possa conoscere i bisogni reali di chi abiterà uno spazio, Friedman sviluppò il concetto di architettura dell'utente, ovvero un modo inedito di concepire il progetto che prevedeva di consegnare gli strumenti della progettazione direttamente all'utente stesso, attraverso la definizione di un insieme di regole semplici e accessibili a chiunque, a cui dette appunto il nome di flatwriter.

Per capire appieno la necessità di definire i connotati che il concetto di autorialità acquisisce nell'epoca dell'intelligenza artificiale generativa, è importante tenere a mente che le sperimentazioni passate, viste nel capitolo precedente, seppur diverse tra loro,

¹⁰⁶ sono accomunate da un filo conduttore che le unisce in modo inequivocabile. I dati utilizzati sono dati di natura numerica, quantificabili e misurabili, e gli strumenti utilizzati sono strumenti deterministici, ovvero strumenti in cui è possibile individuare un rapporto di causalità lineare tra output finale e input iniziale. Sono tutti strumenti in cui il modo in cui si arriva al risultato può essere compreso, tracciato e in qualche modo previsto, permettendo all'architetto di mantenere una forma di controllo razionale sul processo generativo. Tutte queste caratteristiche vengono meno nel momento in cui si fa riferimento all'utilizzo delle intelligenze artificiali generative, poichè il suo avvento ha definito i presupposti per la nascita di una nuova forma di sapienza generale, da cui deriva una nuova forma di autorialità inedita ancora tutta da definire e comprendere.

Andando a porre l'attenzione su una particolare forma di AI generativa, come i modelli di diffusione latente, emerge un importante punto di rottura con quanto visto fino ad ora, rottura che ruota attorno alla tipologia di dati utilizzati, con le informazioni numeriche che vengono sostituite da immagini, e attorno alla tipologia di strumenti, che diventano probabilistici. Questo significa che una parte sostanziale del processo generativo è aleatoria, segue correlazioni statistiche e probabilistiche apprese da enormi quantità di dati, il che fa sì che, nonostante una profonda conoscenza dello strumento e delle sue logiche operative, ci sarà sempre una parte del processo che non potrà mai essere completamente controllata o prevista dall'architetto. Questa condizione di parziale indeterminabilità del risultato non rappresenta semplicemente una limitazione tecnica temporanea destinata a essere superata con il progresso tecnologico, ma costituisce una caratteristica intrinseca di questi sistemi

In questo nuovo paradigma, l'architetto non è più il demiurgo che controlla ogni aspetto del processo creativo dall'inizio alla fine, non è più colui che domina completamente la catena causale

¹⁰⁷ che porta dall'idea iniziale alla forma finale, ma diventa piuttosto un orchestratore di processi parzialmente autonomi, un curatore di possibilità emergenti, qualcuno che stabilisce le condizioni iniziali, orienta il sistema attraverso prompt, dati e parametri, interpreta e seleziona tra le molteplici opzioni generate, e infine integra questi risultati all'interno di una visione architettonica più ampia. La valutazione dell'autorialità si sposta quindi dall'ambito del significato formale alla capacità dell'architetto di preservare il controllo e la responsabilità delle scelte compositive. In questo senso, la nuova forma di autorialità che emerge dalla collaborazione con l'intelligenza artificiale generativa non comporta una revisione della centralità dell'architetto, ma piuttosto un'espansione delle sue capacità cognitive e creative attraverso l'integrazione con forme di intelligenza radicalmente diverse.

Il processo che conduce alla definizione di criteri utili a comprendere in che modo il progettista contemporaneo possa rivendicare una reale responsabilità nelle scelte progettuali richiede anzitutto una valutazione critica approfondita degli strumenti adottati nel percorso di ideazione e rappresentazione. Non è possibile interrogarsi sulla responsabilità progettuale senza interrogarsi, prima ancora, sugli apparati che mediano il processo creativo e che concorrono a determinare il risultato finale. In questo scenario, le intelligenze artificiali generative occupano un ruolo centrale ma, affinché possano essere utilizzate consapevolmente, è necessario riconoscere che non costituiscono un insieme omogeneo di tecnologie. Esse infatti, non differiscono soltanto per le diverse strutture algoritmiche ed esigenze operative, ma lo fanno principalmente a causa della natura dei dataset sui quali sono state addestrate. Comprendere tali differenze non è un esercizio puramente tecnico, ma un passaggio imprescindibile affinché il progettista possa mantenere il controllo critico sul processo creativo e non delegare inconsapevolmente la configurazione formale e stilistica del progetto all'opacità dei dati, degli algoritmi e a chi li costruisce.

1 Bratton, B. (2022). *A New Philosophy of Planetary Computation* Intervista di N. Gilman. Noema Magazine, The Berggruen Institute;

2 Ibid;

3 Turing, A. M. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. Mind, 59;

4 Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. MIT Press;

5 Raymond, E. S. (1999). *The Cathedral and the Bazaar*. O'Reilly Media;

6 Sennett, R. (2008). *The Craftsman*. Yale University Press;

7 Friedman, Y. (1975). *Toward a Scientific Architecture*. MIT Press.

PARTE DUE

ARCHITETTURA GENERATIVA

2.1

ARCHITETTURA E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

2.1.1

111

INTERVISTA

KARLA

SALDAÑA

OCHOA

PROGETTARE TRA INTUIZIONE UMANA E INTELLIGENZA ARTIFICIALE

INTRO

L'evoluzione delle reti neurali e degli algoritmi di machine learning sta trasformando profondamente il panorama architettonico, rendendo la pratica progettuale un campo di ricerca in continua espansione. In questo scenario, emergono laboratori all'avanguardia che esplorano l'applicazione di questi strumenti tecnologici, gettando le basi per una nuova frontiera della progettazione: la "data-driven architecture".

BIO

Karla Saldaña Ochoa è professoressa associata presso la School of Architecture dell'Università della Florida e affiliata al Center of Latin American Studies e al FIBER (Florida Institute for Built Environment Resilience). Inoltre, dirige il SHARE Lab, un gruppo di ricerca focalizzato sullo sviluppo di progetti che sfruttano l'interazione tra intelligenza artificiale (IA) e intelligenza umana, applicata a potenziare la creatività nel design architettonico e a creare strumenti per analizzare i big data dei fenomeni urbani.

Karla è un'architetta e programmatrice ecuadoriana con un Master in Architettura del Paesaggio e un dottorato di ricerca in Tecnologia dell'Architettura ottenuti presso l'ETH di Zurigo. La sua ricerca di dottorato ha esplorato l'integrazione dell'intelligenza artificiale e dell'intelligenza umana per risposte più precise e agili alle catastrofi naturali, utilizzando un approccio di fusione multimodale per l'inferenza dell'apprendimento automatico.

114 **FG:** Potrebbe illustrare gli argomenti principali trattati all'interno del SHARE Lab descrivendo alcuni dei suoi progetti più significativi?

KSO: Il SHARE Lab è un laboratorio di ricerca che esplora l'uso dell'intelligenza artificiale (IA) da una prospettiva centrata sull'uomo, applicandola ai processi di analisi spaziale, dalla scala di un edificio a quella di una città. Il nostro quadro teorico si basa sullo studio delle applicazioni pratiche dell'IA, distinguendo tra l'uso dell'IA come "tool" o come "instrument".

Il concetto di "tool", paragonabile a un martello, rappresenta qualcosa progettato per svolgere un compito specifico. Al contrario, un "instrument", come uno strumento musicale o un foglio di carta, acquisisce significato e valore solo attraverso l'interazione con l'utente. Questa distinzione implica che, quando l'IA è utilizzata come "instrument", essa potenzia la creatività di chi la impiega. Viceversa, quando utilizzata come "tool", l'IA deve essere rapida e precisa nel fornire il miglior risultato possibile per il compito specifico.

Nel secondo caso, l'IA come "tool" rappresenta una risorsa preziosa per il bene comune, poiché molte questioni legate all'analisi dei big data influenzano direttamente la vita delle persone. Per affrontare efficacemente i fenomeni sociali emergenti da queste sfide, il "tool" deve essere mirato e orientato verso un

obiettivo ben definito.

Un esempio di IA utilizzata come "instrument" è rappresentato dalle Mappe Auto-Organizzanti (SOM), un algoritmo di clustering non supervisionato. Un esempio di IA come "tool" è l'addestramento di un algoritmo di apprendimento automatico supervisionato in grado di rilevare gli alberi da frutto dalle immagini satellitari, un'applicazione particolarmente utile nei contesti di sicurezza alimentare e gestione delle catastrofi.

Questi sono i due principali approcci con cui integro l'IA nella mia pratica. Da una prospettiva sociale più ampia, il mio lavoro si estende a collaborazioni con università e organizzazioni che affrontano questioni legate allo spazio. Ciò che considero veramente essenziale nella ricerca è una riflessione continua sul concetto di spazio: applichiamo costantemente le nostre conoscenze per comprendere cos'è lo spazio, perché è importante e come può rispondere alle domande fondamentali che ci poniamo.

FG: Le sue sperimentazioni prevedono anche l'utilizzo di modelli generativi?

KSO: I modelli generativi mi affascinano particolarmente per il loro funzionamento. Applicazioni come Stable Diffusion possono elaborare enormi quantità di immagini e video, e nel farlo sviluppano una forma di conoscenza unica. Questo mi incuriosisce

115 perché lo vedo come una sorta di “senso comune digitale”, un aspetto che trovo stimolante da sperimentare. Il fatto che questi modelli siano stati addestrati su un vasto dataset proveniente da milioni di persone alimenta la mia curiosità nel volerli esplorare ulteriormente.

Consideriamo ad esempio i modelli text to image. Quando utilizziamo un prompt testuale per generare un’immagine, il modello diffonde progressivamente il significato delle parole per affinare l’immagine finale. Il processo inizia da una distribuzione casuale e, attraverso la diffusione, trasforma il rumore in una rappresentazione visivamente significativa. Ciò che mi interessa veramente è ciò che accade nelle fasi intermedie di questa trasformazione. Mi piacerebbe smontare il modello e osservare le immagini generate in ogni fase del suo processo decisionale. Voglio vedere come il modello arriva a una specifica rappresentazione finale.

Questo perché quando noi utilizziamo il linguaggio per descrivere qualcosa, ci affidiamo a un modello mentale chiaro. Tuttavia, le immagini tendono a semplificare e sintetizzare, riducendo la complessità del pensiero a una singola risposta visiva. Ma cosa succederebbe se potessimo esplorare l’intero spettro di informazioni che ha portato a quella rappresentazione?

Se potessimo vedere tutte le alternative che il modello ha considerato, potremmo scoprire

nuove intuizioni e idee. Potremmo persino sfidare ciò che consideriamo “conoscenza comune” e decidere se siamo d’accordo o se vogliamo esplorare nuove possibilità. Questo è il modo in cui utilizzo questi strumenti. Recentemente, ho scritto un articolo che discute un concetto che definisco “possibilità e concetti intermedi”, con l’obiettivo di definire un approccio che possa spingere avanti la progettazione architettonica, ampliando il modo in cui concepiamo e generiamo nuove idee.

EG: Cosa si intende per “Data Aided Design” e quali sono i vantaggi di questo approccio?

KSO: Per me, questo argomento è strettamente legato al design computazionale. Sappiamo che il concetto di calcolo esiste nell’umanità sin dal XIX secolo, quando le macchine hanno iniziato a elaborare vari tipi di dati (in quel caso, numeri) per supportare i processi decisionali.

Ritengo che il design basato sui dati colmi il divario tra un approccio quantitativo e uno qualitativo al design. Grazie ai dati e alle metriche, possiamo descrivere e misurare gli aspetti oggettivi di un progetto, ma il processo di progettazione coinvolge anche la percezione e l’intuizione. A volte sappiamo che un progetto “funziona”: le forme, le proporzioni e le relazioni tra gli elementi sembrano giuste.

116 Tuttavia, un approccio basato sui dati ci permette di gestire e quantificare questi aspetti qualitativi, offrendo argomentazioni più solide per le nostre scelte progettuali.

Ciò è particolarmente interessante, poiché oggi, grazie alla potenza computazionale e agli algoritmi di machine learning, possiamo trasformare qualsiasi tipo di dato—immagini, modelli 3D, video, suoni—in valori numerici. Questo significa che possiamo analizzare e comprendere come questi pezzi di informazione influenzano il design, astrarre nuove relazioni e costruire un processo progettuale basato su decisioni più informate.

FG: Come argomenteresti l'affermazione secondo cui, con l'avvento dell'intelligenza artificiale, l'autorialità di un architetto possa essere legata alla costruzione e alla cura dei dataset?

KSO: Questa potrebbe essere un'indicazione utile su come descrivere un'offerta di lavoro per un architetto. Per esempio, un annuncio di lavoro potrebbe indicare che un architetto dovrebbe avere esperienza nel design, nella progettazione e nella gestione e manipolazione di dataset.

Oggi, più che mai, l'architettura deve essere vista come la capacità di connettere diversi elementi e comprendere le molteplici sfaccettature che influenzano un progetto. I dataset possono rappresentare informazioni

su comunità, energia, materiali e molto altro.

Il nostro compito è integrare tutti questi fattori, non solo per definire l'estetica o le performance di un progetto, ma per creare qualcosa di più significativo.

Grazie a un approccio basato sui dati, possiamo ora incorporare informazioni che in passato non avevamo le risorse per raccogliere o che non consideravamo utili per le decisioni progettuali. Questo sta trasformando il ruolo dell'architetto: mentre in passato la figura del "maestro" dominava il processo creativo, oggi vediamo studenti e professionisti sfruttare i modelli di diffusione per ridefinire i loro metodi di lavoro.

Tuttavia, credo che non dovremmo selezionare passivamente ciò che questi modelli generano, ma piuttosto aggiungere strati di complessità, contribuendo attivamente al processo. Le applicazioni dei modelli di diffusione sono affascinanti, non solo per la generazione di immagini.

FG: Le Mappe Auto-Organizzanti (SOM) rappresentano uno strumento molto interessante per interagire e manipolare i dataset. Potrebbe spiegare cosa sono e descrivere alcune applicazioni pratiche?

KSO: Una mappa auto-organizzante (SOM) è un algoritmo di clustering non supervisionato di machine learning in grado di identificare somiglianze all'interno dei vettori di

117 caratteristiche di un dataset. Uno degli aspetti più affascinanti delle SOM è la loro flessibilità. Lo stesso algoritmo può svolgere vari compiti, come clustering, previsione, riduzione dimensionale o estrazione di caratteristiche. Attualmente, una delle aree in cui sto cercando di applicarle è quella dei digital twin su diverse scale. I digital twin sono rappresentazioni digitali di ambienti reali che rispondono a simulazioni o fenomeni ambientali. Possono essere strumenti utili per aiutare le persone che non sono familiari con mappe e grafici a prendere decisioni in modo immersivo all'interno di uno spazio.

La principale sfida nei modelli urbani digitali è quella di fare affidamento su unità di aggregazione dei dati predefinite, come i codici postali negli Stati Uniti o i distretti censuari. Tuttavia, queste divisioni spesso hanno poca rilevanza per le nostre domande di ricerca: sono tracciate in modo arbitrario e possono separare comunità molto simili. Per esempio, in uno studio di caso, abbiamo cercato di analizzare la correlazione tra:

- la densità delle fosse settiche,
- l'inondazione urbana causata dalle tempeste,
- gli impatti sulla salute pubblica,
- gli effetti sui prezzi delle abitazioni.

Tuttavia, quando i dati vengono mappati sulle unità censuarie tradizionali, i risultati spesso non sono significativi, poiché queste unità possono essere troppo grandi o separare artificialmente comunità simili.

Per superare questo problema, abbiamo utilizzato le mappe auto-organizzanti, che ci permettono di ristrutturare le unità di aggregazione in modo più significativo. Abbiamo utilizzato vettori di caratteristiche per descrivere fenomeni come le mappe delle inondazioni, i prezzi delle abitazioni e la densità delle fosse settiche, incorporando anche variabili geografiche e sociali. Ciò che rende questo particolarmente interessante è che le mappe auto-organizzanti trasformano i dati ad alta dimensione in spazi a bassa dimensione, come una griglia 2x2. Questo ci consente di identificare le aree della città con caratteristiche simili, anche se sarebbero state separate nei modelli tradizionali.

Questo è un esempio di come le mappe auto-organizzanti possano essere applicate a questioni progettuali e socialmente rilevanti, contribuendo a prendere decisioni e sviluppare politiche urbane basate su nuove unità di aggregazione dei dati più in linea con le necessità della ricerca.

PARTE DUE

2.1.2

119

I MODELLI DI DIFFUSIONE LATENTE

PARTE DUE

Qualsiasi riflessione sull'applicazione degli strumenti di intelligenza artificiale richiede una distinzione preliminare tra AI simbolica e AI sub-simbolica, un passaggio fondamentale che ha segnato lo sviluppo degli strumenti computazionali.

L'AI simbolica è una forma di intelligenza artificiale fondata su regole esplicite, dove l'algoritmo apprende un insieme di principi che ne guidano il comportamento. Questo paradigma segue un approccio top-down, in cui la conoscenza viene formalizzata a priori e trasmessa al sistema attraverso un processo di codificazione che richiede una comprensione profonda del dominio di applicazione e la capacità di tradurre tale comprensione in regole computazionali. Questa nuova generazione di modelli AI prende il nome di "sistemi esperti"¹ e trova applicazione in ambiti molto diversi tra loro.

Tra gli esempi più noti figurano MYCIN² sviluppato nel 1972 per uso medico, e il Cyc,³ realizzato nel 1984 con l'obiettivo di modellare la conoscenza di senso comune, i concetti e le regole sul funzionamento del mondo.

Anche il campo dell'architettura ha attraversato una fase di sperimentazione basata su questo approccio, in un periodo in cui l'idea di formalizzare il processo progettuale attraverso sistemi

¹²² esperti e grammatiche generative rappresentava una frontiera affascinante della ricerca architettonica. Uno degli esempi più noti è "The Palladian Grammar",⁴ un progetto di ricerca condotto da George Stiny e William Mitchell negli anni Settanta che mirava a insegnare a un algoritmo a produrre configurazioni spaziali ispirate allo stile di Andrea Palladio. Il metodo prevedeva tre passaggi fondamentali: analizzare le piante dei progetti palladiani identificando gli elementi ricorrenti e le relazioni spaziali che li caratterizzavano; identificare regole ricorrenti nella composizione, come la simmetria, la gerarchia degli spazi, i rapporti proporzionali tra le parti e la relazione tra le componenti principali e quelle accessorie; trasmettere tali regole all'algoritmo con l'obiettivo di generarne varianti autonome che, pur non essendo copie di progetti esistenti, avrebbero dovuto contenere gli stessi principi compositivi delle opere di Palladio. L'intento finale era quello di costruire uno strumento capace di generare soluzioni progettuali inedite che fossero però fedeli ai principi palladiani. A causa di limiti strutturali rilevanti però, l'euforia e l'interesse attorno a questo approccio svanì. Il processo di addestramento era complesso e costoso, richiedeva un lavoro minuzioso di formalizzazione delle regole, e poiché ogni dominio richiedeva un'analisi specifica e una codificazione ad hoc, ogni caso studio rappresentava un unicum. Dall'altra parte, i risultati ottenuti apparivano poco flessibili, eventuali modifiche o estensioni del sistema richiedevano un intervento diretto sulla struttura delle regole, rendendo difficile l'adattamento a contesti diversi o l'incorporazione di nuove conoscenze. Inoltre i risultati risultavano spesso rigidi e difficili da scalare, producendo output che, per quanto corretti dal punto di vista formale, erano privi della capacità di rispondere a condizioni contestuali specifiche. Queste problematiche, abbinate ad una cambio delle condizioni a contorno, come l'ascesa dei big data, hanno favorito lo sviluppo dell'AI sub-simbolica, un paradigma completamente diverso che oggi domina il panorama dell'intelligenza artificiale.

¹²³ Con AI sub-simbolica si fa riferimento al machine learning,⁵ che ribalta il paradigma top-down con un approccio bottom-up. Qui non si forniscono regole a priori, ma grandi quantità di dati da cui l'algoritmo apprende in autonomia individuando correlazioni statistiche, pattern ricorrenti e relazioni nascoste che emergono dall'osservazione di migliaia o milioni di esempi. Tale modello raggiunge pieni risultati con il deep learning, grazie all'aumento della potenza computazionale reso possibile dallo sviluppo delle GPU e delle architetture neurali multilivello, che permettono di costruire reti neurali artificiali con decine o centinaia di strati capaci di apprendere rappresentazioni sempre più astratte e sofisticate dei dati. Il vantaggio principale è l'elevata efficacia prestazionale e un altro grado di adattabilità, caratteristiche accompagnate però da una perdita di controllo e di trasparenza dei meccanismi interni del modello che rende impossibile tracciare il percorso logico che porta da un input specifico a un determinato output. Come osservato da Nello Cristianini,⁶ informatico e studioso dell'intelligenza artificiale presso l'Università di Bath, questo approccio si configura come una scorciatoia che permette di raggiungere in modo rapido e performante l'obiettivo desiderato, ma al prezzo di accettare una logica probabilistica opaca, difficilmente interpretabile e dipendente dalla qualità e dai bias contenuti nei dataset utilizzati per l'addestramento.

I modelli di diffusione latente rappresentano una delle innovazioni più potenti e rivoluzionarie introdotte dal deep learning. Si tratta di strumenti capaci di convertire indicazioni testuali espresse con il linguaggio naturale in un'immagine, permettendo a chiunque sappia scrivere una frase di produrre immagini complesse, dettagliate e spesso sorprendentemente coerenti con la descrizione fornita. Il processo generativo su cui si basano prende il nome di "denoising"⁷ e consiste nella trasformazione graduale di un'immagine composta da puro rumore in un'immagine definita e leggibile a livello di pixel, attraverso una serie di passaggi successivi che progressivamente

¹²⁴ riducono il caos visivo del rumore e fanno emergere forme, colori, texture e composizioni riconoscibili. La denominazione stessa di questi modelli esprime il meccanismo che li caratterizza. In ambito scientifico infatti, il termine “diffusione” descrive la dispersione progressiva di una sostanza in un liquido, come l’inchiostro nell’acqua che si propaga lentamente fino a colorare uniformemente il volume. Nel caso dei modelli di diffusione latente la diffusione riguarda la propagazione del rumore sopra l’immagine originale fino alla completa corruzione, un processo che può essere immaginato come l’aggiunta progressiva di disturbi casuali che gradualmente nascondono il contenuto dell’immagine fino a renderla incomprensibile. L’addestramento di un modello di diffusione latente è articolato in due fasi:

- il *noising*, la fase in cui l’immagine viene corrotta attraverso l’aggiunta di rumore;
- il *denoising*, la fase in cui viene svolto il processo inverso, ovvero la fase in cui il modello impara a rimuovere il rumore convertendolo in pixel facendo così riapparire il contenuto originale.

Durante l’addestramento il modello impara a eseguire il *denoising* con crescente precisione, affinando la propria capacità di predire quale immagine si nasconde dietro un particolare pattern di rumore, e questa competenza viene poi impiegata nella fase di inferenza per generare nuove immagini sulla base degli input testuali forniti dall’utente. Partendo da rumore casuale e guidato da una descrizione testuale, il modello esegue il processo di *denoising* producendo un’immagine che corrisponde, con maggiore o minore fedeltà, alla richiesta formulata.

Le potenzialità generative dei modelli di diffusione latente sono notevoli, tuttavia però, il loro impiego come strumenti di supporto alla progettazione presenta tre criticità principali che definiscono i limiti e le opportunità attorno al loro utilizzo.

La prima criticità riguarda la dipendenza dal dataset di

¹²⁵ addestramento. I contenuti delle immagini presenti nel dataset influenzano direttamente gli output prodotti, nel senso che l'immagine generata dal modello sarà profondamente influenzata da ciò che il modello ha visto durante l'addestramento. Se un modello è stato addestrato prevalentemente su immagini di architettura contemporanea occidentale, avrà difficoltà a generare con precisione edifici storici non occidentali o linguaggi architettonici meno rappresentati nel dataset. Questo solleva questioni di rappresentatività culturale e di bias che possono determinare distorsioni che si riflettono negli output. La seconda criticità concerne l'assenza di un principio logico nella costruzione della forma. L'immagine viene generata pixel per pixel sulla base di correlazioni statistiche e non tramite una comprensione semantica dello spazio o del contenuto rappresentato. Il modello non conosce gli elementi e le regole compositive della progettazione architettonica,⁸ come non conosce le esigenze funzionali o tecniche che deve avere un'architettura, e non possiede alcuna teoria architettonica o consapevolezza del significato culturale delle forme che produce. Semplicemente, ha appreso che certi pattern di pixel tendono a comparire insieme in determinate configurazioni quando un'immagine è etichettata con certe parole. Questo significa che gli output che produce possono essere visivamente convincenti ma architettonicamente incoerenti. La terza criticità riguarda la mancanza di conoscenze spaziali. I modelli non possiedono consapevolezza della tridimensionalità, poiché apprendono esclusivamente da immagini bidimensionali e non da esperienze o strutture geometriche del mondo reale. Questa mancanza di comprensione geometrica profonda limita significativamente l'utilità di questi strumenti per la progettazione vera e propria, distinguendo nettamente la generazione di immagini dall'ideazione spaziale che costituisce il cuore del lavoro architettonico. Questi tre limiti disegnano insieme i contorni di uno spazio operativo che è al tempo stesso vasto, per la quantità di potenzialità generative

¹²⁶ racchiuse, e fondamentalmente circoscritto, per l'impossibilità di trascendere la natura statistica, bidimensionale e derivativa del processo generativo. Riconoscere questi confini non significa precludere l'applicazione dei modelli di diffusione latente in ambito architettonico, ma piuttosto definire e circoscrivere il loro ruolo all'interno del processo progettuale. In questa prospettiva, i modelli di diffusione latente possono essere impiegati efficacemente come strumenti di esplorazione visiva preliminare, per generare rapidamente atmosfere, testare direzioni estetiche, produrre materiali di comunicazione che aiutino a trasmettere intenzioni progettuali ancora in fase di definizione. Possono essere utilizzati per esplorare variazioni cromatiche, materiche e stilistiche, per visualizzare suggestioni spaziali che verranno poi tradotte in geometrie rigorose attraverso altri strumenti. Ciò che non possono fare è sostituire il processo di ideazione spaziale tridimensionale, la verifica della coerenza costruttiva, l'articolazione funzionale degli spazi, la risposta a vincoli contestuali specifici, la sintesi tra esigenze tecniche e aspirazioni formali che costituisce il cuore del lavoro progettuale.

Un uso consapevole e appropriato di questi strumenti richiede un'alfabetizzazione che è insieme tecnologica e disciplinare, basata sulla conoscenza del funzionamento delle reti neurali e dei processi di diffusione.

127 NOTE

- 1 Chaillou, S. (2022). *Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice*. Basel: Birkhäuser;
- 2 Buchanan, B. G., & Shortliffe, E. H. (1984). *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Reading, MA: Addison-Wesley;
- 3 Matuszek, C., et al. (2006). *An Introduction to the Syntax and Content of Cyc*. AAAI Spring Symposium;
- 4 Stiny, G., & Mitchell, W. J. (1978). *The Palladian Grammar*. Environment and Planning B: Planning and Design, 5(1);
- 5 Mitchell, T. M. (1997). *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill;
- 6 Cristianini, N. (2023). *La scorciatoia. Come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*. Bologna: Il Mulino;
- 7 Buades, A., Coll, B., & Morel, J.-M. (2005). *A non-local algorithm for image denoising*. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2;
- 8 Semper, G. (1851/1989). *The Four Elements of Architecture and Other Writings* (H. F. Mallgrave & W. Herrmann, a cura di). Cambridge: Cambridge University Press.

PARTE DUE

2.1.3

¹²⁹ ARCHITETTURA E IMITAZIONE

PARTE DUE

L'architettura si presenta davanti a noi non solo per ciò che essa è, ma anche per ciò che vuole dire, come osservava Livio Vacchini a proposito delle piramidi di Giza,¹ dove l'atto del costruire si manifesta nella pura evidenza della forma. Questa duplice natura dell'architettura, che si divide tra essere e significare, ci conduce immediatamente al cuore di una distinzione fondamentale che attraversa tutta la cultura architettonica. La differenza tra forma e figura. Dominique Putz definisce la figura come il punto di contatto tra forma e senso,² un presupposto che rivela l'essenza stessa del processo architettonico. La forma, infatti, non è mai solo geometria o materialità, ma il risultato di un'organizzazione del senso che si manifesta sotto forma di dispositivo semantico. La figura diventa perciò il mediatore tra l'astrazione del principio formale e la concretezza del progetto, tra l'idea che precede l'opera e la sua manifestazione nello spazio. Essa è al tempo stesso concettuale e sensibile, perché deriva da un principio che la precede si manifesta nello spazio attraverso il piano, l'alzato o il volume costruito. Le intenzioni dell'architetto orientano la definizione della forma, che viene percepita come figura da chi la osserva. È la forma a determinare il modo in cui la figura si manifesta alla percezione,

¹³² producendo significati che possono assumere carattere sia universale sia particolare. Attraverso le proprie intenzioni, l'architetto orienta questo processo. L'intenzione appartiene infatti al dominio della progettazione e precede l'opera, mentre il significato si colloca nel dominio della ricezione e si configura come l'esito comunicativo dell'opera una volta realizzata.

È in questo spazio tra intenzione e significato che emerge l'importanza del processo di costruzione logica della forma, un processo che non può essere lasciato al caso o all'improvvisazione, ma che deve seguire procedure razionali e condivise.

Per comprendere i meccanismi che si celano dietro alla costruzione logica di una forma è necessario fare riferimento a due categorie su cui si fonda la tradizione architettonica occidentale: la composizione e la distribuzione. Questi due approcci, che troviamo già codificati in Vitruvio e che attraversano tutta la storia dell'architettura fino ai giorni nostri, rappresentano due modi diversi di organizzare la forma architettonica per renderla portatrice di senso.

La distribuzione, che Vitruvio definiva come "distributio",³ si basa sul principio dell'analogia e opera attraverso la logica del tipo.

Quando parliamo di tipo in architettura, non ci riferiamo a una forma fissa e immutabile, ma a uno schema organizzativo che può essere applicato a situazioni diverse mantenendo la sua logica interna.⁴ Il tipo è, in sostanza, un principio distributivo che organizza gli spazi secondo relazioni funzionali e simboliche consolidate dalla tradizione. La casa a corte, la basilica, l'ospedale a padiglioni sono tutti esempi di tipi architettonici che funzionano attraverso la riproposizione analogia degli stessi principi distributivi. La composizione, invece, opera attraverso la mimesis e si basa sulla trasformazione creativa di modelli specifici.⁵ Mentre la distribuzione lavora con schemi astratti, la composizione lavora con esempi concreti. Un architetto può comporre un nuovo progetto prendendo come riferimento un'opera specifica e trasformandola attraverso operazioni di variazione, inversione, frammentazione o ibridazione.

¹³³ Questa distinzione tra mimesis e analogia è fondamentale per comprendere il funzionamento dell'imitazione in architettura. La mimesis opera attraverso la somiglianza, l'oggetto imitante cerca di riprodurre le caratteristiche dell'oggetto imitato, pur introducendo sempre qualche variazione. L'analogia, invece, opera attraverso la proporzione, due situazioni sono analoghe quando condividono lo stesso rapporto strutturale, anche se gli elementi concreti sono completamente diversi. L'imitazione, termine più generale, comprende entrambe queste modalità e rappresenta il meccanismo fondamentale attraverso cui la conoscenza architettonica si trasmette e si rinnova. Salvatore Settis, nei suoi studi sulla cultura classica, ha mostrato come l'imitazione sia sempre stata intesa non come semplice copia, ma come forma di conoscenza attiva.⁶ Imitare significa comprendere i principi che governano il modello e saperli applicare a nuove situazioni. Questa concezione dell'imitazione come processo conoscitivo diventa particolarmente evidente nel Romanticismo, quando l'estetica inizia a valorizzare l'originalità e la creatività individuale. I trattati del XVIII e XIX secolo, da Quatremère de Quincy⁷ a Viollet-le-Duc,⁸ teorizzano infatti l'imitazione come processo razionale e controllabile, distinguendo chiaramente tra imitazione servile e imitazione creativa.

È importante sottolineare che, anche senza l'esplicita presenza di un'intenzione comunicativa da parte dell'architetto, la forma architettonica si costruisce comunque attraverso processi imitativi. Questo significa che l'architetto, anche quando crede di operare in modo completamente originale, in realtà sta sempre attingendo a un repertorio di riferimenti formali, tipologici e culturali che condizionano le sue scelte progettuali. Questo accade perché l'architettura è una forma di conoscenza collettiva, un sapere che si è sedimentato nel corso dei secoli attraverso l'esperienza di innumerevoli progettisti e costruttori. I principi formali non appartengono a nessuno, ma costituiscono un patrimonio comune della disciplina architettonica. Ogni volta che un architetto affronta

¹³⁴ un nuovo progetto, inevitabilmente mobilita questo patrimonio, anche se spesso in modo inconsapevole. La cultura architettonica funziona infatti come una memoria collettiva che si trasmette attraverso l'educazione, la pratica professionale e la circolazione delle immagini.

L'architetto è autore non perché crea dal nulla, ma perché sa orchestrare in modo personale gli elementi della tradizione. La sua responsabilità progettuale si misura proprio nella qualità di questa orchestrazione, nella pertinenza delle scelte tipologiche, nella coerenza delle operazioni compositive, nella capacità di innovare rimanendo dentro la logica della disciplina. Il repertorio di riferimenti che ogni architetto utilizza non è mai neutro, ma porta con sé significati stratificati che derivano dalle diverse culture e dai diversi contesti in cui si è formato. Quando un architetto sceglie di utilizzare un determinato tipo distributivo o di imitare un determinato modello compositivo, sta anche assumendo, consapevolmente o inconsapevolmente, i significati che quel tipo o quel modello hanno accumulato nella storia. È in questo senso che l'autorialità diventa questione di responsabilità, l'architetto deve essere consapevole delle implicazioni semantiche delle sue scelte formali e deve saper giustificare razionalmente le operazioni che compie sul repertorio della tradizione.

L'avvento delle intelligenze artificiali generative sta modificando radicalmente il modo in cui l'architetto interagisce con il proprio repertorio di riferimenti, mettendo in crisi i meccanismi tradizionali di trasmissione e rielaborazione della conoscenza architettonica. Le AI generative cambiano questo rapporto sia in modo formale, ovvero nel modo in cui il repertorio interagisce con la costruzione della forma, che in modo sostanziale, ovvero nel modo in cui il repertorio stesso viene costruito e organizzato. Dal punto di vista formale, le AI introducono nuove modalità compositive che non passano più attraverso la selezione consapevole di modelli e tipi, ma attraverso processi algoritmici che combinano automaticamente elementi

¹³⁵ estratti da database di immagini. Dal punto di vista sostanziale, il repertorio non è più costituito da opere selezionate criticamente dalla tradizione disciplinare, ma da dataset costruiti secondo logiche quantitative che privilegiano la disponibilità dei dati rispetto alla loro rilevanza culturale. Questa trasformazione pone questioni inedite per la definizione dell'autorialità architettonica. Se il progettista non controlla più direttamente i processi di selezione e combinazione dei riferimenti, che tipo di responsabilità può ancora rivendicare nei confronti dell'opera prodotta? Per rispondere a questa domanda è necessario comprendere le specificità dei processi generativi basati su intelligenza artificiale, andando a definire le caratteristiche di una forma di imitazione chiamata "imitazione latente".

- 1 Vacchini, L. (2005). *Capolavori*. Milano: Electa;
- 2 Putz, D. (2020). *Les figures architectoniques. La construction logique de la forme*. Tallin: Cosa Mentale;
- 3 Vitruvius. (1999). *De architectura*. A cura di P. Gros. Paris: Les Belles Lettres;
- 4 Aris, C.M. (2016). *La variazione dell'identità, il tipo in architettura*. Torino: Cittàstudi edizioni;
- 5 Carpo, M. (2025). "The Imitation Machine." In Catalogo della Biennale Architettura 2025: *Intelligens. Natural. Artificial. Collective*. Venezia: La Biennale di Venezia;
- 6 Settis, S. (2004). *Il futuro del "classico"*. Torino: Einaudi;
- 7 Quatremère de Quincy, A.-Ch. (1823). *Essai sur la nature, le but et les moyens de l'imitation dans les beaux-arts*. Parigi;
- 8 Viollet-le-Duc, E. (1858–1872). *Entretiens sur l'architecture*. Parigi.

2.1.4

137

IMITAZIONE LATENTE

PARTE DUE

Il repertorio di un architetto si compone di riferimenti eterogenei, che spaziano dai luoghi visitati agli edifici studiati, dai fotogrammi cinematografici alle opere d'arte. Tuttavia, come dimostrano diversi esperimenti editoriali recenti, tra cui "The Book of Copies" di San Rocco Magazine¹ e "The Images of Architects" di Valerio Olgiati,² questi riferimenti vengono sistematicamente catalogati e organizzati sotto forma di immagini. Questa scelta non è casuale. L'immagine si rivela infatti lo strumento più efficace per sintetizzare idee, suggestioni e riferimenti progettuali, un atto che riconosce alla dimensione visiva un particolare valore evocativo, come già teorizzato da Aby Warburg nei suoi studi sulla memoria culturale.³ Per gli architetti le immagini sono la traccia di un'intuizione progettuale che può migrare, trasformarsi e riemergere in contesti diversi, creando una rete di relazioni formali e concettuali che attraversa tempi e luoghi differenti.

A partire dal 2022, anno in cui gli strumenti di intelligenza artificiale generativa sono diventati accessibili a un pubblico ampio e non specializzato, molti architetti hanno iniziato a confrontarsi con la capacità di alcuni di questi strumenti di generare immagini di architettura formalmente e stilisticamente coerenti. Tali sistemi non

¹⁴⁰ si limitano a produrre immagini esteticamente plausibili, ma sono in grado di richiamare linguaggi architettonici riconoscibili, tipologie consolidate e soluzioni spaziali verosimili, sollevando interrogativi sul loro potenziale ruolo all'interno del processo progettuale.

Le opportunità offerte dall'utilizzo dell'AI generativa in architettura, in particolare dei modelli di diffusione latente, derivano dall'esistenza di profonde similitudini tra il modo in cui questi strumenti generano immagini e il modo in cui gli architetti utilizzano la rappresentazione architettonica come strumento di progetto. In entrambi i casi, infatti, la produzione di nuove configurazioni formali non avviene ex novo, ma attraverso la rielaborazione di un patrimonio visivo preesistente. Il progetto si costruisce per associazioni, variazioni e trasformazioni di immagini già note, così come i modelli generativi operano ricombinando e reinterpretando dati visivi appresi. In questo senso, l'immagine non assume un ruolo meramente illustrativo, ma diventa un dispositivo operativo.

In realtà esiste anche una terza similitudine, legata all'utilizzo del linguaggio. I modelli di diffusione latente sono strumenti text to image che convertono un prompt testuale in un'immagine.

Il linguaggio è però anche uno strumento che appartiene alla tradizione architettonica, infatti, per secoli, il linguaggio è stato il principale strumento con cui gli architetti progettavano e rappresentavano l'architettura. Un esempio iconico di questo metodo è il progetto per la Basilica di Fano di Vitruvio, progetto del quale non esiste alcun disegno, solo una descrizione testuale contenuta nel *De Architectura*.⁴

Queste analogie tra i due processi costituiscono il presupposto per valutare le opportunità offerte dall'impiego di strumenti di intelligenza artificiale all'interno del processo progettuale. Tuttavia, una reale comprensione delle potenzialità di tali strumenti non può prescindere da una presa di coscienza delle loro differenze rispetto all'attività progettuale umana.

L'intelligenza artificiale, come già accennato, è un artificio e, in

¹⁴¹ quanto tale, deve essere considerata. Non si tratta di un sistema concepito per sostituire l'attività cognitiva dell'architetto, bensì di uno strumento in grado di imitarne gli esiti attraverso meccanismi radicalmente differenti. Mentre il progetto umano si fonda su intenzionalità, esperienza e capacità di attribuire senso, l'AI opera attraverso processi statistici di apprendimento e rielaborazione di dati preesistenti, privi di consapevolezza e finalità proprie. La presenza di questa entità "altra", che interviene attivamente nel processo compositivo e decisionale influenzandone le scelte formali, introduce una condizione inedita nel campo della progettazione architettonica, condizione che rende necessario definire una nuova categoria applicativa che in questa ricerca prende il nome di "imitazione latente".

Nel momento in cui un architetto decide di utilizzare questi strumenti deve essere consapevole che il processo compositivo verrà profondamente influenzato da questa particolare forma di imitazione, intrinsecamente condizionata dai limiti strutturali del diffusion model. Il termine imitazione latente contiene un tecnicismo che permette di chiarire come questa imitazione sia un fenomeno del tutto inedito, profondamente collegata allo spazio latente, ovvero quella componente del diffusion model in cui l'immagine viene costruita pixel per pixel attraverso processi probabilistici. Le caratteristiche dell'imitazione latente coincidono con i limiti dello strumento utilizzato e possono essere sintetizzate in tre aspetti fondamentali. Le immagini generate sono vincolate a ciò che è presente nei dataset di addestramento, vengono prodotte attraverso meccanismi probabilistici e sono create senza alcun tipo di conoscenza dello spazio architettonico. Tralasciando i limiti relativi all'assenza di conoscenze spaziali, che diventano rilevanti principalmente nella fase di interrogazione del modello e quindi nella costruzione del prompt, le altre due caratteristiche sono strutturali e richiedono un maggiore approfondimento. Il vincolo che lega l'output finale alle immagini contenute nei dataset fa sì che

¹⁴² il processo generativo sia caratterizzato da una particolare forma di processo combinatorio, un meccanismo che non è dissimile dall'Ars Magna di Ramon Llull,⁵ dove la combinazione di elementi preesistenti genera nuove configurazioni di senso. Tuttavia, la natura probabilistica rappresenta sicuramente l'aspetto più interessante.⁶ Nonostante questa caratteristica renda l'intero processo non prevedibile e non deterministico, essa costituisce anche la principale differenza rispetto al processo compositivo umano, anch'esso influenzato da una componente combinatoria che però non è governata dalla probabilità ma dall'intenzionalità.

La definizione del concetto di imitazione latente ha come obiettivo principale quello di porre l'attenzione sul ruolo cruciale che i dataset ricoprono in questo processo generativo. L'introduzione delle AI generative modifica profondamente il rapporto tra progettista e repertorio, inserendo un terzo termine nell'equazione compositiva. Fino ad ora il processo compositivo era influenzato esclusivamente dal repertorio personale dell'architetto, che operava in modo esplicito e consapevole nella mente del progettista. Ora, con le AI generative, bisogna tenere conto anche del ruolo ricoperto dai dataset, che al contrario del repertorio tradizionale opera in modo latente, invisibile.

Il funzionamento di questi strumenti si fonda quindi su un elemento centrale e imprescindibile, i dataset, una condizione che ci obbliga a costruire una valutazione critica sia sul modo in cui questi strumenti vengono costruiti sia sul loro possibile utilizzo nel campo architettonico. Ed è proprio attorno a questo approccio critico che nasce la necessità di parlare di autorialità, un concetto che, tralasciando il suo valore storico e la sua evoluzione nel tempo, oggi si concentra soprattutto sul tema della responsabilità. Dove risiede oggi la responsabilità progettuale quando parte del processo compositivo viene delegato a una macchina? In che modo l'architetto può mantenere il controllo su di essa, senza perderla a favore di processi algoritmici che operano al di fuori della sua piena

¹⁴³ comprensione? Per tentare di rispondere a queste domande cruciali diventa necessario approfondire le diverse tipologie di dataset disponibili, dai dataset chiusi a quelli aperti fino a quelli collettivi. Ogni tipologia di dataset dà vita a strumenti differenti, e ciascuno di questi strumenti modifica non solo il modo in cui l'architetto progetta ma anche il modo in cui esercita la propria responsabilità autoriale. In altre parole, la tipologia di dataset cambia radicalmente il ruolo dell'architetto, perché cambiano anche i compiti che gli vengono richiesti e le competenze che deve sviluppare per mantenere il controllo critico sul processo progettuale.

- 1 Piovene, G., Tamburelli, P. P., & Zanderigo, A. (a cura di). (2015). *Book of Copies*. Milano: San Rocco;
- 2 Olgiati, V. (a cura di). (2013). *The Images of Architects*. Lucerna;
- 3 Spinelli, I., & Venuti, R. (1998). *Mnemosyne; L'atlante della memoria di Aby Warburg*. Siena: Artemide Edizioni;
- 4 Vitruvio. (2001). *De architectura. I dieci libri dell'architettura* (G. Monaco, trad.). Milano
- 5 Lull, R. (1305/1721-1742). *Introductoris artis demonstrativae*, in *Opera Omnia*, vol. III, p. I. Mainz
- 6 Gu, T., Wang, J., Zhang, Z., & Li, H.-H. (2024). *LLMs can Realize Combinatorial Creativity: Generating Creative Ideas via LLMs for Scientific Research*. arXiv.

2.2

LA SOVRANITÀ DIGITALE

2.2.1

¹⁴⁷ DATASET
CHIUSI

PARTE DUE

Il concetto di imitazione latente sposta radicalmente l'attenzione su una componente specifica dei modelli generativi, ovvero i dataset. Il funzionamento di questi sistemi presenta una serie di criticità strutturali che incidono in modo significativo sui risultati prodotti. I dataset non sono tutti uguali, ne esistono diverse tipologie e ciascuna di esse modella strumenti con caratteristiche distinte. La prima categoria, quella dei dataset chiusi, rappresenta un terreno particolarmente controverso. La loro efficacia si intreccia infatti con una serie di problematiche che, come evidenziato da Seah Daniel,¹ finiscono per trasformare questo strumento in un dispositivo di controllo culturale e ideologico.

Tra le criticità più insidiose associate a tali sistemi, due assumono un peso rilevante per le implicazioni dirette che esercitano sulla pratica progettuale, le allucinazioni e i bias, due fenomeni strettamente collegati che mostrano come l'intelligenza artificiale, lontano dall'essere uno strumento neutrale e obiettivo, sia a tutti gli effetti un artefatto culturale, plasmato da scelte umane specifiche e spesso invisibili. Le allucinazioni rappresentano forse l'aspetto più sorprendente e controintuitivo di questi sistemi. Quando parliamo di allucinazioni nell'ambito dell'AI, facciamo riferimento

¹⁵⁰ alla tendenza di questi modelli a generare risposte che appaiono plausibili e autorevoli quando in realtà sono completamente sbagliate o inventate, e questo vale tanto per i modelli linguistici quanto per quelli di generazione di immagini. Come spiega Adam Kalai² il problema è strutturale e deriva dal modo stesso in cui questi modelli sono costruiti. Essi sono stati addestrati a minimizzare l'errore predittivo sui dati di training, il che significa che quando si trovano di fronte a domande su argomenti che non conoscono bene, invece di ammettere la loro ignoranza e dire "non lo so", tendono a generare risposte che sembrano coerenti con i pattern appresi, cadendo così in errore. Kalai dimostra che le allucinazioni non sono un bug accidentale che può essere facilmente corretto, ma una caratteristica intrinseca dei modelli base, legata al fatto che questi sistemi sono valutati e ottimizzati usando metriche binarie che premiano sempre una risposta rispetto all'astensione, incoraggiando di fatto comportamenti di "bluffing" simili a quelli di uno studente che, non sapendo la risposta corretta a un esame, preferisce inventare qualcosa di plausibile piuttosto che lasciare in bianco. Questa caratteristica diventa particolarmente pericolosa in ambito architettonico quando si fa riferimento a riferimenti specifici, come nomi di architetti, dettagli tecnici o riferimenti storici. Ma se le allucinazioni rappresentano il problema della generazione di contenuti falsi, i bias costituiscono forse una minaccia ancora più sottile e pervasiva, perché non riguardano la verità o falsità delle informazioni ma la loro parzialità sistematica, il loro riflettere una visione del mondo particolare piuttosto che una presunta oggettività universale. I bias derivano dalla subordinazione inevitabile degli output al contenuto dei dataset utilizzati per l'addestramento. Chi costruisce questi dataset fa delle scelte, decisioni su cosa includere e cosa escludere, su quali fonti privilegiare e quali ignorare, su come categorizzare e etichettare i contenuti, e queste scelte contengono inevitabilmente bias e pregiudizi che si trasmettono da chi costruisce il dataset al dataset stesso, e da lì agli output generati

¹⁵¹ dal modello.³ L'AI non è una tecnologia oggettiva e neutrale ma è profondamente plasmata dalle strutture di potere, dalle ideologie e dalle visioni del mondo di chi la crea e dei contesti in cui viene sviluppata. Ogni dataset è il prodotto di scelte umane che riflettono particolari prospettive culturali, economiche e politiche, e quando questi dataset vengono usati per addestrare modelli generativi, queste prospettive vengono codificate e amplificate nei sistemi risultanti. Questi due problemi, allucinazioni e bias, non sono esclusivi delle AI costruite su dataset chiusi, ma riguardano tutte le tipologie di intelligenza artificiale generativa perché derivano dalla logica stessa del machine learning contemporaneo. Tuttavia, ciò che rende particolarmente problematici i dataset chiusi è il modo in cui avviene la selezione dei contenuti. Sapere cosa c'è nel dataset, come è stato costruito, quali criteri sono stati usati per la selezione, quali comunità e prospettive sono rappresentate e quali escluse, è fondamentale per comprendere i limiti e i bias presenti nel sistema e per implementare eventuali correzioni. Ma nel caso dei dataset chiusi questa trasparenza scompare, poichè nel caso di dataset proprietari esiste un soggetto che in modo discrezionale stabilisce che cosa entra nel dataset e cosa invece rimane fuori.

Mario Carpo definisce un dataset come un canone,⁴ ovvero come una selezione di ciò che viene considerato degno di essere preservato, studiato e imitato, che ha conseguenze profonde sull'intero processo generativo. Quando il dataset è aperto e trasparente, questa selezione può essere esaminata, discussa, criticata e potenzialmente corretta dalla comunità o dal singolo utente. Quando invece è chiuso, la costruzione del dataset diventa un atto di potere unilaterale che sfugge al controllo democratico. Le AI costruite su dataset chiusi non sono quindi strumenti neutrali e possono trasformarsi facilmente in strumenti di controllo che rispecchiano una precisa visione del mondo che coincide con quella di chi le costruisce e le gestisce, senza che gli utenti abbiano modo di verificare, contestare o modificare questa visione. Daniel

¹⁵² Seah⁵ sottolinea come i dataset siano diventati una risorsa di valore strategico paragonabile all'oro o al petrolio nell'economia contemporanea, e come il controllo su di essi conferisca un potere enorme a chi li possiede. Chi controlla i dataset controlla di fatto i parametri di ciò che è considerato normale, desiderabile, bello, funzionale, innovativo in un determinato dominio, con implicazioni enormi per campi come l'architettura dove le decisioni estetiche e funzionali sono profondamente legate a valori culturali e sociali. I dati sono qui uno strumento di controllo e una loro applicazione in ambito architettonico rappresentano un nuovo capitolo nella lunga e complessa storia del rapporto tra architettura e potere.⁶ L'architettura è una disciplina che da sempre ha avuto un rapporto particolare e ambiguo con il potere. A differenza di altre forme d'arte che possono essere praticate in relativa autonomia, l'architettura richiede risorse materiali, competenze tecniche, permessi e capitali, il che significa che chi detiene il potere e la ricchezza decide cosa costruire, come deve essere fatto e per quali scopi, mentre gli architetti, in questo processo, hanno sempre ricoperto un ruolo secondario. Basti pensare alle antiche civiltà come i Romani e gli Egizi, dove chi deteneva il potere, l'imperatore, il faraone, aveva accesso esclusivo alle risorse umane e materiali necessarie per costruire, dai milioni di schiavi usati per erigere le piramidi agli eserciti di operai impiegati nella costruzione di acquedotti, strade e monumenti. Lo stesso fenomeno si è ripetuto manifestato con i totalitarismi del Novecento, regimi che hanno usato l'architettura come strumento attivo di propaganda, imponendo in modo autoritario precisi canoni estetici e stilistici che dovevano materializzare e rendere tangibile l'ideologia del regime. In tutti questi casi l'architettura è stata usata come un'arma ideologica, un modo per plasmare non solo il paesaggio urbano ma l'immaginario collettivo, stabilendo cosa è grande, cosa è importante, cosa merita di essere celebrato. Con l'avvento dell'intelligenza artificiale generativa, in particolare quei modelli costruiti su dataset chiusi e

¹⁵³ proprietari, il problema del ruolo del potere nell'architettura torna ad essere drammaticamente attuale, anche se in forme nuove rispetto a quelle del passato. Chi costruisce i dataset che alimentano questi strumenti definisce implicitamente delle aspettative, degli orizzonti estetici e funzionali oltre i quali diventa difficile o impossibile andare. L'AI può generare infinite variazioni all'interno dei parametri appresi dal dataset, ma fatica enormemente a produrre qualcosa che sia radicalmente diverso da ciò che ha visto durante l'addestramento, il che significa che se il dataset privilegia certe tipologie architettoniche, certi stili, certi materiali, queste caratteristiche tenderanno a dominare anche negli output generati, mentre approcci alternativi rimarranno invisibili o marginali. Questo comporta una serie di rischi molto concreti per la pratica architettonica e per la cultura del progetto più in generale. Primo tra tutti, il rischio di omologazione e uniformità stilistica, guidato dai bias di chi costruisce i dataset, che possono essere influenzati dai loro mercati di riferimento, appiattendolo la ricchezza e la diversità delle tradizioni architettoniche locali. Se i dataset sono costruiti principalmente attingendo a progetti di architetti occidentali, contemporanei, pubblicati su riviste di settore in lingua inglese, l'AI tenderà a replicare questo canone specifico, marginalizzando o rendendo invisibili altre tradizioni architettoniche, che magari non sono mai state adeguatamente documentate e tradotte in formato digitale. C'è poi il rischio più insidioso di escludere in modo volontario determinate ideologie, approcci o soluzioni progettuali che non sono conformi con la visione di chi gestisce il modello, il risultato sarebbe un sistema che non solo non può proporre soluzioni ispirate a questi riferimenti, ma che di fatto cancella dalla memoria collettiva digitale intere genealogie di pensiero architettonico, impoverendo drasticamente il campo delle possibilità progettuali. Utilizzare AI costruite su dataset chiusi significa quindi accettare di lavorare con strumenti caratterizzati da un doppio grado di separazione dalla realtà. Questa osservazione è cruciale perché lo scarto che

¹⁵⁴ separa gli utenti dalla realtà diventa di doppio livello, moltiplicando le opportunità di distorsione e manipolazione. Un primo scarto, inevitabile, riguarda la traduzione del reale in dati digitali. Non tutto ciò che esiste nel mondo è stato tradotto in una versione digitale. Ma con i dataset chiusi si aggiunge un secondo scarto, ancor più significativo, quello relativo alla discrezionalità con cui viene deciso cosa inserire nel dataset e cosa escludere, quali progetti meritano di diventare parte del canone digitale che l'AI studierà e quali possono essere lasciati fuori, e qui entrano in gioco una molteplicità di fattori. Questo doppio filtro crea una distanza vertiginosa tra la complessità e la ricchezza dell'esperienza architettonica reale e ciò che l'AI può effettivamente conoscere e quindi generare, una distanza che rimane invisibile all'utente finale che interagisce con questi sistemi attraverso interfacce apparentemente semplici e trasparenti, ma che ha conseguenze enormi sull'intero processo generativo. In definitiva, la questione dei dataset chiusi nell'intelligenza artificiale generativa applicata all'architettura non è semplicemente un problema tecnico da risolvere attraverso migliori algoritmi o più dati, ma rappresenta una questione fondamentalmente politica che riguarda chi ha il potere di definire il canone, di stabilire cosa conta come architettura, di determinare quali sono i precedenti degni di essere studiati e imitati. È la stessa dinamica di potere che ha sempre caratterizzato la storia dell'architettura, ma resa più potente, più pervasiva e più opaca dall'intermediazione tecnologica.

155 NOTE

- 1 Seah, D. (2023). "Data is the new gold. A Singapore perspective on the duty of care concerning a dataset's role in contributing to bias and AI hallucinations". In *Journal of Digital Assets*, vol. 1, n. 2, agosto 2023;
- 2 Kalai, A.T. (2024). *Why Language Models Hallucinate*. ArXiv;
- 3 Crawford, K. (2021). *Né intelligente né artificiale. Il lato oscuro dell'IA*. Il Mulino, Bologna;
- 4 Carpo, M. (2023). "Ogni dataset è un canone". In *Architectural Design*, vol. 93, n. 1, gennaio/febbraio 2023;
- 5 Seah, D. (2023). "Data is the new gold. A Singapore perspective on the duty of care concerning a dataset's role in contributing to bias and AI hallucinations". In *Journal of Digital Assets*, vol. 1, n. 2, agosto 2023;
- 6 Sudjic, D. (2005). *Architettura e potere. Come i ricchi e i potenti hanno dato forma al mondo*. Laterza, Roma-Bari.

PARTE DUE

2.2.2

157

INTERVISTA

FAUSTO

GERNONE

STRATEGIE E VISIONI PER UNA POSSIBILE STRUTTURA DIGITALE EUROPEA

INTRO

Nel contesto contemporaneo, la questione della sovranità digitale assume un ruolo strategico, incidendo direttamente sulla capacità di governi e istituzioni di gestire dati, infrastrutture e tecnologie in modo autonomo. Secondo Fausto Gernone, economista della concorrenza specializzato in ecosistemi digitali, l'Europa sconta oggi un ritardo strutturale frutto di decenni di disattenzione verso temi che si rivelano sempre più centrali per la propria autodeterminazione tecnologica e politica.

BIO

Fausto Gernone è un economista della concorrenza specializzato in ecosistemi digitali. Il suo lavoro si colloca all'incrocio tra organizzazione industriale, scienza dell'informazione e strategia d'impresa, con un'idea centrale: la creazione di valore è un fenomeno collettivo. Per questo, le politiche economiche devono adottare una prospettiva di ecosistema, riconoscendo le interconnessioni tra i vari elementi che lo compongono. Attualmente, Fausto sta completando un PhD presso l'UCL Institute for Innovation and Public Purpose, sotto la supervisione di Antonio Andreoni e Mariana Mazzucato. Ha inoltre svolto un periodo di ricerca presso la UC Berkeley, sotto la supervisione di David Teece. La sua ricerca analizza le dinamiche di concorrenza tra prodotti complementari negli ecosistemi digitali, con particolare attenzione ai meccanismi di coordinamento come standard industriali, API e iniziative open-access. Prima e durante il dottorato, ha maturato diversi anni di esperienza nel campo dell'organizzazione industriale, specializzandosi in politiche dell'innovazione, regolamentazione della proprietà intellettuale, brevetti essenziali per gli standard (SEP), antitrust e coordinamento, fusioni e aiuti di Stato.

160 **FG:** Qual è l'obiettivo di questo report e come si inserisce nel contesto internazionale?

FaGe: Il funzionamento della società contemporanea si basa sempre più sulle tecnologie digitali. In questo scenario, l'Eurostack nasce come risposta alla mancanza di un'infrastruttura digitale autonoma in Europa, evidenziando i rischi legati alla dipendenza da aziende private straniere.

Uno dei principali problemi è quello della sicurezza. In situazioni di crisi, gli Stati tendono a utilizzare tutte le risorse disponibili per proteggere i propri interessi nazionali. Durante la pandemia da Covid-19, ad esempio, molti governi hanno imposto restrizioni sull'esportazione di beni essenziali come mascherine e respiratori. In un'epoca definita dagli economisti come di "incertezza profonda", non si può escludere che simili restrizioni vengano estese anche alle infrastrutture tecnologiche. Disporre di tecnologie autoctone diventa quindi fondamentale non solo per l'autonomia strategica, ma anche per garantire la sicurezza collettiva.

Dal punto di vista tecnico, la concentrazione dell'offerta in poche aziende crea colli di bottiglia. Un esempio emblematico è stato il malfunzionamento, nell'agosto scorso, di un sistema di sicurezza legato a Microsoft (in particolare a CrowdStrike), che ha causato

gravi interruzioni nei sistemi informatici di infrastrutture critiche come ospedali e aeroporti a livello globale.

Un'altra motivazione centrale del report riguarda la competitività. Le tecnologie digitali sono considerate "general purpose technologies", in grado di influenzare trasversalmente l'intero tessuto economico. Disporre di un settore digitale solido è essenziale per restare competitivi anche in settori tradizionali, grazie agli effetti di spillover, come nel caso dell'interazione tra industria automobilistica e sviluppo software. Un'infrastruttura digitale avanzata è ormai una condizione indispensabile per la competitività complessiva.

C'è poi una questione di sovranità democratica. Le tecnologie digitali, parte integrante delle ICT (Information and Communication Technologies), sono ormai fondamentali per il corretto funzionamento delle democrazie. La gestione delle infrastrutture tecnologiche implica anche il controllo dei flussi informativi. Il sostegno politico espresso da alcuni CEO delle Big Tech americane a posizioni antieuropee solleva interrogativi importanti: è legittimo che il ciclo politico di un paese terzo influenzi il dibattito democratico europeo?

Infine, il report tocca il tema del potere negoziale. Stiamo assistendo al passaggio da un ordine internazionale basato su regole condivise ("rule-based international order")

161 a uno fondato sui rapporti di forza. In questo contesto, dipendere da soggetti privati stranieri per servizi essenziali rappresenta una vulnerabilità critica. Basti pensare al ruolo di Elon Musk e alla minaccia, più volte paventata, di ritirare il supporto di Starlink all'Ucraina: un gesto che dimostra quanto sia rischioso affidarsi a tecnologie altrui in uno scenario geopolitico instabile.

L'Eurostack si propone quindi come uno strumento di analisi e proposta, un tentativo concreto di mappare le dipendenze tecnologiche dell'Europa e di individuare soluzioni pragmatiche per superarle o quantomeno mitigarle.

FG: Qual è stata la sua genesi e cosa vi ha portato a scegliere lo "Stack" come modello di rappresentazione? Esiste un collegamento con lo Stack teorizzato da Benjamin Bratton?

FaGe: L'idea di utilizzare lo "Stack" come modello teorico alla base del report nasce dall'esigenza di analizzare l'infrastruttura digitale europea in modo sistemico. Invece di considerare i singoli elementi – come semiconduttori, tecnologie cloud o piattaforme software – come compartimenti stagni, tramite lo Stack devono possibile contestualizzare come parte di un ecosistema complesso. Attraverso questo approccio, è possibile individuare non solo i punti critici – i cosiddetti colli di bottiglia – ma anche le opportunità

strategiche di investimento.

Il concetto di Stack si ispira esplicitamente al lavoro di Benjamin Bratton, che fu tra i primi a proporre una visione stratificata delle tecnologie globali. Tuttavia, mentre il suo contributo si colloca su un piano teorico e filosofico, l'approccio adottato in Eurostack è orientato alla definizione di politiche economiche e industriali concrete. L'obiettivo è fornire strumenti pratici per affrontare le sfide tecnologiche e industriali dell'Europa.

È importante, però, sottolineare anche i limiti insiti nella metafora dello Stack. C'è infatti il rischio di interpretare questa struttura come una filiera verticale rigida, dove ogni livello si basa esclusivamente su quello sottostante. In realtà, le tecnologie digitali non seguono un ordine gerarchico lineare, ma si configurano piuttosto come una rete di elementi interconnessi, con relazioni complesse e non sempre prevedibili. Per questo motivo, nel report abbiamo scelto di rappresentare visivamente i componenti non solo come strati sovrapposti, ma anche come pezzi di un puzzle che si incastrano tra loro, riflettendo la natura dinamica e reticolare del sistema.

Il legame con il pensiero di Bratton è ulteriormente rafforzato dalla presenza, tra gli autori del report, di Haroon Sheikh, professore di filosofia che ha contribuito a diffondere in Europa il concetto di "Digital Stack".

Durante la fase iniziale di elaborazione del report, sono stati considerati anche

PARTE DUE

162 altri modelli, come quello tradizionalmente utilizzato nelle politiche industriali europee, che tendeva ad affrontare i vari ambiti – dai semiconduttori all'intelligenza artificiale, fino al cloud – come settori separati. Tuttavia, si è deciso di superare questo approccio frammentato in favore di una visione integrata e sistemica.

Ci tengo a precisare, che oltre al modello del Digital Stack, la nostra analisi è profondamente legata alla letteratura sui “Sistemi di innovazione nazionale” (National Innovation Systems), che pone l'accento sull'importanza di considerare l'intero sistema di innovazione, e non solo le sue singole parti. Il nostro intento è anche quello di mettere in luce le interconnessioni non lineari tra i vari elementi dello Stack, evidenziando l'esistenza di circuiti di retroazione (feedback loop), che possono generare circoli viziosi e processi virtuosi.

FG: Dal punto di vista pratico, quali sono le strategie per raggiungere la sovranità digitale?

FaGe: Nel report vengono avanzate diverse proposte, che si articolano su due livelli: da un lato, interventi specifici per i singoli strati dello Stack; dall'altro, azioni trasversali che mirano a rafforzare l'ecosistema digitale europeo nel suo complesso.

Tra le proposte mirate ai singoli livelli,

rientrano ad esempio partnership strategiche per garantire l'approvvigionamento di risorse critiche, fondamentali per la produzione di tecnologie chiave. Parallelamente, vengono suggerite iniziative di carattere trasversale, come la standardizzazione dei quadri normativi per la conformità, la semplificazione delle procedure per le partnership pubblico-private, lo sviluppo di piattaforme federate di dati regolamentate e la definizione di standard aperti, ispirati ai principi dell'open source.

Un altro aspetto centrale del report è il coordinamento delle numerose iniziative già esistenti in Europa, spesso frammentate o isolate. L'obiettivo è quello di incanalarle all'interno di un quadro strategico coerente, che prende forma proprio nel concetto di Eurostack.

Un elemento chiave della strategia proposta riguarda l'uso strategico degli appalti pubblici. L'idea è sfruttare la domanda pubblica – proveniente dalle diverse agenzie e istituzioni europee – per generare economie di scala a favore di soluzioni tecnologiche che rispettino i principi dell'Eurostack: soluzioni locali, aperte, decentralizzate, e basate su protocolli open source. In questo modo, il settore pubblico può diventare un motore fondamentale per sostenere lo sviluppo di un'infrastruttura digitale europea autonoma.

Tra le proposte trasversali più ambiziose figura anche la creazione di un fondo sovrano europeo. Nel breve periodo, questo fondo

163 avrebbe il compito di colmare il deficit di finanziamento che penalizza molte piccole imprese tecnologiche, aiutandole a crescere e superare i colli di bottiglia esistenti nell'infrastruttura digitale. Nel lungo termine, invece, il fondo avrebbe il ruolo di supportare gli Stati membri nel raggiungimento di obiettivi strategici in termini di sovranità tecnologica e sicurezza nazionale. L'idea è partire con una dotazione iniziale di 10 miliardi di euro, per arrivare a 300 miliardi entro dieci anni. Infine, il report propone di testare concretamente l'idea dell'Eurostack attraverso lo sviluppo di alcuni Minimum Viable Products (MVP), ovvero versioni di prova di applicazioni e servizi digitali capaci di dimostrarne il valore. Si tratta di prototipi funzionanti, pensati per mostrare, su scala ridotta, l'impatto positivo di un'infrastruttura digitale europea. Esempi di MVP potrebbero essere un digital wallet europeo o piattaforme federate per la condivisione interoperabile dei dati sanitari tra i vari Paesi membri.

EG: Il rapido progresso tecnologico ha reso ancora più urgente una riflessione su questo tema. Qual è la sua opinione sul rapporto tra nazioni e intelligenza artificiale?

FaGe: Negli ultimi anni, i progressi dell'intelligenza artificiale hanno generato un'ondata di entusiasmo da parte dei mercati e dell'opinione pubblica. Tuttavia, molti esperti

hanno sottolineato come questa euforia possa essere sproporzionata rispetto alle reali capacità dei modelli attuali, ancora lontani dall'essere pienamente maturi.

Nonostante ciò, è innegabile che l'intelligenza artificiale rappresenti un elemento strategico cruciale. Stiamo assistendo a una trasformazione profonda del panorama industriale digitale, una sorta di spostamento delle "placche tettoniche" che porterà al declino di alcune tecnologie e all'emergere di nuove. In risposta a questo cambiamento, le grandi aziende tecnologiche stanno adattando le proprie strategie di business per restare competitive.

Attualmente, sviluppare modelli di intelligenza artificiale comporta costi fissi elevatissimi: server, consumo energetico, uso intensivo di acqua e personale altamente specializzato. Sono investimenti che solo le Big Tech possono sostenere. Questo ha creato una barriera all'ingresso che viene sfruttata a loro vantaggio, poichè le startup emergenti, per accedere a queste risorse, sono spinte a stringere collaborazioni che le pongono in una posizione di dipendenza.

Tuttavia, il recente caso del modello cinese DeepSeek ha dimostrato che è possibile sviluppare soluzioni performanti a costi più contenuti. Il forte impatto che questo ha avuto sui mercati finanziari è indicativo, ed è legato al fatto che una riduzione significativa dei costi potrebbe minare la posizione dominante delle

164 Big Tech, riducendo la dipendenza nei loro confronti.

Detto ciò, la dipendenza strutturale da pochi attori dominanti rimane un problema. La vera sfida, soprattutto per l'Europa, è costruire un'infrastruttura di intelligenza artificiale che sia più aperta, accessibile e inclusiva, evitando che l'innovazione venga monopolizzata dai giganti del settore. È questa la sfida cruciale che ci troviamo ad affrontare oggi.

FG: Alla luce di questo legame, qual è la strategia che proponete per lo sviluppo dell'intelligenza artificiale? In particolare, potreste spiegarci il concetto di "composite learning"?

FaGe: Per affrontare la crescente dipendenza dalle Big Tech, l'Eurostack propone un approccio articolato in tre elementi principali. Il primo riguarda la costruzione di un'infrastruttura computazionale europea. Si tratta di sviluppare data center e supercomputer all'interno dell'Unione Europea, per garantire l'accesso autonomo a risorse di calcolo senza dover necessariamente passare per le piattaforme americane. Questo passaggio è fondamentale per assicurare indipendenza tecnologica e sovranità digitale. Il secondo pilastro è la diversificazione dei modelli di addestramento dell'intelligenza artificiale, attraverso tecnologie come il composite learning. Questo approccio mira a

superare la centralizzazione dovuta agli elevati costi fissi legati all'addestramento dei modelli AI. L'idea è quella di suddividere il carico computazionale tra più entità, evitando di concentrare tutto su un'unica infrastruttura. Il composite learning consente così di elaborare grandi quantità di dati in modo distribuito, promuovendo un modello più aperto e accessibile. Per rendere possibile tutto questo, il report propone la creazione di una rete di "data sharing agreements" europei: pools di dati condivisi che sarebbero accessibili a istituzioni pubbliche, startup e aziende, riducendo la dipendenza da dataset controllati da multinazionali extraeuropee.

Il terzo elemento è l'adozione di un quadro normativo europeo chiaro e coerente, che favorisca modelli decentralizzati basati su software open source, e che limiti gli abusi di posizione dominante da parte delle grandi piattaforme americane o cinesi. Serve un'armonizzazione delle politiche industriali strategiche, orientata alla trasparenza, alla concorrenza leale e alla valorizzazione di un ecosistema europeo di innovazione. Al centro di questa visione c'è l'idea di una governance dell'intelligenza artificiale fondata su interoperabilità, decentralizzazione e principi open source. Si tratta di una sfida complessa, ma necessaria. Non tentare questa strada, come suggerisce il report, significherebbe accettare alternative ben peggiori.

2.2.3

165

I MODELLI FONDATORI

PARTE DUE

Parlare di dataset chiusi ci porta inevitabilmente ad affrontare un tema molto più ampio e complesso, quello della sovranità digitale, un concetto che sta rapidamente passando dall'essere una preoccupazione teorica a diventare una priorità strategica per governi e istituzioni in tutto il mondo, intensificato la competizione geopolitica tra Stati Uniti, Cina e Unione Europea.¹

Questa corsa all'AI non è un tema circoscritto alle superpotenze già affermate, ma riguarda anche le potenze emergenti² che intravedono in questa nuova tecnologia un tema di natura politico con riscrivere gli equilibri mondiali in questo periodo di transizione di potere.

Il controllo delle infrastrutture di AI è diventato cruciale quanto il controllo delle risorse naturali lo era per le nazioni del secolo scorso, e l'ascesa delle sue capacità ne impone l'utilizzo, e un debole controllo della tecnologia si traduce in una fragile dipendenza da altri paesi.

L'AI è ulteriore ambito in cui avviene lo scontro tra pubblico e privato, tra interessi collettivi e personali, un conflitto che dal punto di vista europeo, istituzione fondata su precisi principi e valori, è di estrema attualità.³

La frenesia e l'urgenza di costruire i propri modelli di intelligenza

¹⁶⁸ artificiale si scontra però con le enormi risorse economiche e professionali necessarie alla loro costruzione. Come riporta l'articolo di Ajuzieogu sulle Economics of Foundation Models le stime dei costi di addestramento per la costruzione del modello GPT-4, rilasciato da OpenAI, si aggirano da qualche parte tra 50 e 100 milioni di dollari.⁴ E questa è solo la punta dell'iceberg, perché modelli concorrenti come Claude 3 di Anthropic e Llama 3 di Meta hanno seguito la stessa strada con investimenti multimilionari in infrastrutture di calcolo. Il problema fondamentale è che l'utilizzo di dataset chiusi rappresenta la soluzione più semplice, o meglio quella che permette di giustificare gli enormi costi necessari allo sviluppo di questi sistemi. Chi investe centinaia di milioni di dollari in risorse computazionali vuole controllare questi strumenti, e l'utilizzo di dataset chiusi rappresenta il modo più diretto per farlo. Si crea così un circolo vizioso dove la necessità di proteggere gli investimenti porta alla chiusura dei dati, che a sua volta rinforza la concentrazione del potere nelle mani di pochi attori.

Il problema dell'utilizzo di dataset chiusi è riassunto in modo illuminante dal "Transformative Technology Trilemma",⁵ ovvero la difficoltà intrinseca di bilanciare simultaneamente progresso tecnologico, partecipazione democratica e sicurezza. Il manifesto del progetto identifica tre modalità di fallimento che emergono quando si cerca di gestire tecnologie trasformative, l'accelerazione capitalista che sacrifica la sicurezza per il progresso mantenendo una partecipazione di base, la tecnocrazia autoritaria che sacrifica la partecipazione per il progresso mantenendo una sicurezza di base, e la stagnazione condivisa che sacrifica il progresso per la partecipazione mantenendo una sicurezza di base. I dataset per l'AI contemporanea incarnano perfettamente questo trilemma, sacrificando sistematicamente la partecipazione pubblica in favore dell'accelerazione capitalista guidata dalle grandi aziende tecnologiche. La strada scelta è quella della prima modalità di fallimento, dove il progresso viene perseguito attraverso lo sviluppo

¹⁶⁹ guidato dal mercato e orientato al profitto, la partecipazione si manifesta nella forma limitata della scelta del consumatore e dell'agenzia dell'investitore, mentre i rischi vengono assunti da coloro che hanno le risorse per farlo. Come documentato da Safiya Noble⁶ i dataset riflettono inevitabilmente i pregiudizi delle società che li producono, incorporando e amplificando le disuguaglianze strutturali esistenti. Ma la questione va oltre la semplice riproduzione di bias culturali e sociali, poichè ad emergere è un problema di natura strutturale e sistemico. Questi archivi di dati vengono costruiti secondo una logica che privilegia sistematicamente l'efficienza computazionale rispetto alla rappresentatività democratica. Le decisioni su quali dati includere, come classificarli, come etichettarli, vengono prese seguendo criteri tecnici ed economici piuttosto che criteri di inclusività o giustizia sociale. Il risultato è quello che potremmo definire una tecnocrazia dei dati, un regime dove le decisioni fondamentali su cosa includere nei dataset vengono prese da una cerchia ristretta di attori tecnologici senza alcun meccanismo efficace di partecipazione collettiva. Questa dinamica riflette perfettamente uno dei fallimenti chiave identificati dal Collective Intelligence Project, ovvero l'applicazione di ottimizzatori che appiattiscono i valori, come i mercati che massimizzano il profitto, per dirigere altri sistemi di ottimizzazione come l'intelligenza artificiale che massimizza le ricompense. Questa doppia ottimizzazione può portare a esiti catastrofici, perché applica la struttura di un ottimizzatore che appiattisce i valori a un altro, creando una spirale potenzialmente pericolosa. Per comprendere a fondo il processo di costruzione di un modello di AI, e il modo in cui questi strumenti siano diventati un'esclusiva di chi dispone di enormi capitali, è necessario addentrarsi nel cuore tecnico ed economico di quella che è diventata la spina dorsale dell'intelligenza artificiale contemporanea, ovvero i cosiddetti modelli fondatori. I modelli fondatori sono modelli di intelligenza artificiale su larga scala addestrati su una grande quantità di dati tipicamente non

¹⁷⁰ etichettati. La caratteristica distintiva dei foundation models è che sono la base per lo sviluppo di diverse applicazioni, poichè possono essere aggiustati o affinati con dati di addestramento etichettati selezionati per svolgere un compito specifico. Ciò fa sì che possono essere utilizzati per affrontare compiti diversi attraverso un processo chiamato “in-context learning”.⁷

Prendendo come esempio un modello linguistico, potremmo dire che durante l’addestramento questo modello analizza enormi quantità di dati testuali per imparare a riconoscere schemi, relazioni e strutture del linguaggio. In questo modo sviluppa competenze generali, non limitate a un singolo compito. Una volta addestrato, il modello potrà perciò svolgere attività molto diverse attraverso le richieste che gli verranno poste.

Un caso emblematico è GPT-3, che può tradurre testi o eseguire operazioni come sommare numeri solo grazie a un prompt adeguato, anche se non è stato addestrato in modo specifico sulla traduzione o sulla matematica. La costruzione di un modello fondatore è un processo che richiede risorse computazionali enormi.⁸ I modelli fondatori seguono pattern notevolmente prevedibili quando si tratta della relazione tra investimento e prestazioni, pattern che sono stati resi espliciti attraverso la definizione di una legge di potenza,⁹ che evidenzia le relazioni matematiche tra le prestazioni e i tre fattori che determinano il processo di addestramento: potenza di calcolo, parametri e dati. Analizzando il grafico che mostra queste relazioni, emerge come i costi di addestramento dei modelli fondatori hanno seguito una traiettoria esponenziale che è tanto impressionante quanto preoccupante. La tendenza è chiara. Ogni generazione successiva di modelli leader è costata tipicamente un ordine di grandezza in più rispetto al suo predecessore. Questo schema di crescita esponenziale dei costi presenta sfide economiche ovvie. Anche per organizzazioni ben finanziate, la traiettoria attuale appare insostenibile. Ma i costi non si fermano all’addestramento. Per comprendere pienamente l’economia dei modelli fondatori,

¹⁷¹ dobbiamo distinguere tra due tipi fondamentalmente diversi di costi, i costi di addestramento, sostenuti una volta durante lo sviluppo del modello, e i costi di inferenza, sostenuti ripetutamente durante l'uso del modello. I costi di addestramento per i modelli fondatori sono dominati dalle spese di calcolo, che includono i costi dell'hardware, acquistato o affittato, i costi dell'elettricità per far funzionare l'hardware, i costi di raffreddamento per il data center e i costi ingegneristici per l'esecuzione dell'addestramento. Per i modelli più grandi, questi costi possono arrivare a decine o addirittura centinaia di milioni di dollari. Tuttavia, è importante riconoscere che questi sono essenzialmente costi fissi, sostenuti una volta sola indipendentemente da quanti utenti alla fine interagiranno con il modello. A differenza dell'addestramento, i costi di inferenza scalano con l'uso. Ogni volta che un utente interagisce con un modello, devono essere allocate risorse di calcolo per generare la risposta. Un modello che serve milioni di query al giorno può sostenere costi di inferenza nell'ordine delle decine di migliaia di dollari giornalieri.¹⁰ Questa dinamica crea quello che gli economisti chiamerebbero economie di scala estreme. I massicci costi fissi di addestramento creano forti economie di scala, favorendo grandi attori che possono ammortizzare questi costi su molti utenti. Le organizzazioni con grandi basi di utenti possono raccogliere più dati di interazione, che possono essere utilizzati per migliorare i modelli attraverso tecniche come l'apprendimento per rinforzo da feedback umano. Le aziende con le risorse per costruire infrastrutture AI specializzate, come le TPU di Google o l'hardware personalizzato di Microsoft, ottengono vantaggi di efficienza che i concorrenti più piccoli non possono eguagliare. Man mano che gli sviluppatori costruiscono applicazioni sopra modelli fondatori specifici, l'ecosistema attorno a quei modelli si rafforza, attirando più sviluppatori in un ciclo di feedback positivo. Queste forze aiutano a spiegare il panorama attuale, dove una manciata di organizzazioni ben finanziate, OpenAI, Google, Anthropic e Meta, dominano lo sviluppo dei modelli fondatori.

1 Fleming, S. (2025). *What is digital sovereignty and how are countries approaching it?* World Economic Forum;

2 Barik, S. (2023). *India is building its own 'sovereign AI.' What does it mean?* Indian Express;

3 Artificial Intelligence Commission (2024). *Our AI: Our ambition for France*;

4 Ajuzieogu, U. (2024). *The Economics of Foundation Models*. Economics of AI, Medium;

5 AA.VV. (2023). "With the paper of The Collective Intelligence Project". The Collective Intelligence Project;

6 Noble, S. U. (2018). *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*. New York University Press;

7 Schneider, J. (2022). *Foundation models in brief: A historical, socio-technical focus*. ArXiv;

8 Ajuzieogu, U. (2024). *The Economics of Foundation Models*. Economics of AI, Medium;

9 Kaplan, J., McCandlish, S., Henighan, T., Brown, T. B., Chess, B., Child, R., Gray, S., Radford, A., Wu, J., & Amodei, D. (2020). *Scaling Laws for Neural Language Models*. ArXiv;

10 Srivastava, S. e Bullock, J. (2024). *AI, Global Governance, and Digital Sovereignty*. ArXiv.

2.3

LA

PLANETARIETÀ

2.3.1

175

INTERVISTA

LUNA BIANCHI

DIRITTI DIGITALI DELLA SOCIETÀ LOCALE E GLOBALE

INTRO

I modi d'uso e i processi integrativi delle tecnologie che utilizziamo quotidianamente sembrano plasmarsi e plasmarci unicamente attraverso le interfacce informatiche ed estetiche che filtrano l'interazione utente-strumento. Eppure sono i piani normativi, etici e legislativi a dover essere al centro dei processi di educazione, formazione e modellazione dello sviluppo delle tecnologie che utilizziamo.

BIO

Luna è una giurista specializzata in proprietà intellettuale con 11 anni di esperienza come manager, oltre che un'attivista nel campo dei diritti umani digitali. Co-fondatrice e co-CEO di Immanence, società che affianca le organizzazioni nel trasformare l'innovazione tecnologica in un motore di impatto sociale positivo, Luna è attualmente anche co-founder e AD di Decentral, consorzio che sperimenta modi di collaborare e fare impresa decentralizzati, cooperativi e ad alto impatto sociale. Dal 2025 è membro dell'hub di ricerca GenIALab di AANT (Accademia delle Arti e Nuove Tecnologie), un laboratorio permanente per la ricerca generativa, l'intelligenza artificiale, la cultura digitale e le tecnologie cognitive.

178 **FG:** La tempestività con cui le istituzioni si affrettano a regolamentare l'utilizzo delle nuove tecnologie, evidenzia la capacità di quest'ultime di interagire e di plasmare gli aspetti profondi della società. Qual è la sua visione sul binomio tecnologia e legislazione?

LB: Sia la tecnologia sia il diritto sono costruzioni sociali, frutto cioè di un processo esclusivamente umano, di una negoziazione sociale spesso capace di smontare e reindirizzare gli interessi e le istanze che le avevano inizialmente create. Innanzitutto, perché è la società a definire i presupposti per lo sviluppo di una determinata tecnologia e di un determinato framework normativo, scegliendo quali gruppi sociali tutelare, a quali istanze ed esigenze rispondere e da quali interessi farsi guidare.

Ma anche perché entrambe modellano la società a cui sono applicate: influenzano e prescrivono comportamenti specifici agli individui e alle collettività che ne sono soggette, contribuendo a definirne i ruoli e, sostanzialmente, la forma politica.

Lawrence Lessing scriveva già nel 2006 "code is law", gli algoritmi oggi contribuiscono a regolare la società esattamente come il diritto, stabilendo comportamenti e definendo le modalità in cui si è (cioè si esiste e si è riconosciuti nella propria identità) e si vive in un determinato spazio. A differenza dalla

legge però, un codice algoritmico ha un impatto, massivo e immediato, sulla comunità a prescindere dall'essere noto o visibile, e questo crea un cortocircuito rispetto alla nostra capacità di partecipare a quella negoziazione sociale che permette anche a tecnologia e diritto di evolvere con il contesto a cui sono applicate.

FG: Un'efficace integrazione dell'intelligenza artificiale in ambito sociale, richiede non solo un quadro normativo adeguato, ma anche un piano divulgativo altrettanto appropriato.

Quali principi, a suo avviso, dovrebbero essere posti alla base di un progetto educativo in questo ambito?

LB: Innanzitutto, proprio che la tecnologia non è neutra ma essenzialmente politica, è una costruzione della società, quindi anche nelle nostre mani. Ciò significa che sono le scelte degli esseri umani che la commissionano, sviluppano, implementano ed usano a determinare quanto e come quella tecnologia influenzerà la forma della società. Questa consapevolezza è fondamentale, soprattutto se legata a ciò che a queste scelte consegue, e quindi gli impatti che la tecnologia ha su di noi, nella nostra dimensione individuale e collettiva. Tali impatti infatti, possono essere massivi, e non per altro l'AI Act (regolamento europeo sull'intelligenza

179 artificiale) insiste proprio su questo punto: l'IA comporta degli impatti e dei rischi specifici, nuovi e potenzialmente dannosi che vanno governati e gestiti adeguatamente. Il secondo punto quindi, ruota intorno alla necessità di non essere ingenui di fronte all'adozione dell'IA.

Non esserne spaventati, perché è una tecnologia che fa completamente parte della nostra vita ormai (anche quando spesso non ce ne accorgiamo), ma neanche facilmente entusiasti, assimilandola ad una qualsiasi innovazione precedente. L'IA ha una capacità di influenza di cui spesso non siamo coscienti, e introdurre un'IA in un contesto, in un processo, cambia lo stato stesso di quel contesto e di quel processo. L'IA non cambia solo il modo in cui facciamo le cose, ma anche come le pensiamo e progettiamo, intervenendo ed hackerando molti dei concetti, delle strutture e dei movimenti che conosciamo. Per questo è così importante da una parte esercitarsi a guardare ciò che già conosciamo con occhi nuovi, per vedere quanto alcune strutture necessitino di essere trasformate per rispondere al nuovo contesto socio-tecnico (ad esempio alcuni impianti normativi), e dall'altra impegnarsi per applicare un sistema di etica rafforzata quando ci interfacciamo con l'IA per rendere il processo decisionale della macchina più simile a quello umano, perché possa tenere insieme anche la complessità e i valori umani e l'esperienza

che noi abbiamo del mondo. Credo che questi siano i principi mentali sui quali concentrarci oggi, per essere pronti a svilupparne di nuovi domani.

FG: L'AI è un fenomeno di natura planetaria che va oltre le implicazioni culturali, sociali e politiche dei singoli stati. L'Unione Europea è tra le prime organizzazioni politiche ad aver sviluppato una propria regolamentazione in materia di IA. Che valore dà a questa normativa e quale pensa potrà essere il suo ruolo all'interno di un più ampio accordo internazionale?

LB: Quello a cui stiamo assistendo in questa prima fase dell'AI Act è il cosiddetto "Brussels Effect", la capacità cioè dell'Europa di influenzare la legislazione internazionale in un mondo globalizzato. L'impianto basato sugli impatti e sui rischi dell'AI Act è infatti la base delle altre legislazioni che si stanno diffondendo in molti paesi, USA Canada, UK Brasile, India, Cina Indonesia Nuova Zelanda Perù, Singapore, Taiwan. Il nodo da sciogliere sarà però legato alle dinamiche di potere tra soggetti privati e istituzioni: chi controllerà l'IA? Con il GDPR abbiamo assistito ad una sostanziale disertazione delle big tech (e non solo), c'è da chiedersi oggi con l'IA se saremo capaci di far rispettare l'AI Act nella sua ratio di fondo, modificando l'approccio stesso che abbiamo all'innovazione.

PARTE DUE

180 Perché le leggi possono essere anche adeguate e coraggiose (che non è al 100% il caso dell'AI Act, anche a causa dell'immensa lobby esercitata proprio dalle big tech che hanno fatto arretrare il Parlamento europeo su diverse questioni centrali, come il riconoscimento biometrico), ma se manca un reale enforcement delle stesse non servono a nulla se non a creare una situazione di stallo e frustrazione degli utenti/cittadini. Intorno all'IA si è creata una tale concentrazione di potere, e di mercato, che è ormai urgente rivedere le normative antitrust: non abbiamo ad oggi istituti sufficientemente efficaci per tenere a bada questo sistema mono/oligopolista. Allora si rende necessario capire come ripensare alla governance e, alla fine, ai processi decisionali pubblici nel loro complesso, capendo come la forza (economica, politica, di influenza) dei privati possa essere bilanciata con gli interessi, e responsabilità, pubblici delle istituzioni.

FG: UGli stati europei sono caratterizzati da un particolare paradosso, che associa la difficoltà di assimilare ciò che viene percepito come nuovo ad un'elevata propensione verso la costruzione dirigisti quadri

normativi, che invece di incentivarne lo sviluppo ne limitano l'adozione.

Qual è il suo pensiero a riguardo? essere posti alla base di un progetto educativo in questo ambito?

LB: In questa fase storica di grande rivoluzione sociale e tecnica dovremmo ricercare non tanto un nuovo assetto rigido e codificato, ma anzi strumenti che favoriscano la negoziazione sociale per il continuo adattamento di tecnologie e diritti alle mutate, e specifiche, condizioni socio economiche politiche e culturali. Credo che il segreto sia proprio quello di trovare soluzioni flessibili che permettano di tradurre gli obiettivi e i valori degli artefatti rispetto alle reali necessità emergenti, di bilanciare gli interessi e i diritti sulla base delle contingenze reali. Cosa significa giustizia in questo contesto? Chi va tutelato? Di che tipo di innovazione abbiamo bisogno per migliorare le condizioni della nostra società nel suo complesso, partendo da chi è più svantaggiato?

Anche la tecnologia quindi, come il diritto, dovrebbe – e così è richiesto dall'AI Act – condurre specifiche valutazioni di impatto prima del rilascio sul mercato, assicurandosi

181 di pianificare adeguate strategie di gestione dei rischi, anche etici, che emergono dall'introduzione in un determinato contesto di una tecnologia. Se ancora oggi le nuove tecnologie, pensiamo all'IA generativa, ci vengono date in pasto senza una sufficiente analisi ex-ante di quelle che possono essere le conseguenze che ne derivano, possiamo essere certi che questa sia una scelta che ha un significato molto preciso e un indirizzo politico identificabile proprio nella lotta di potere cui stiamo assistendo che certamente non mira alla reale tutela o al benessere degli esseri umani.

PARTE DUE

2.3.2

¹⁸³ GLOBO E PIANETA

PARTE DUE

La creazione e la gestione dell'intelligenza artificiale, così come la conosciamo oggi, si sta trasformando in un monopolio centralizzato, una concentrazione di potere nelle mani di pochi attori che decidono non solo come questa tecnologia viene sviluppata, ma anche quale visione del mondo essa incarni. Per comprendere appieno le alternative possibili a questo scenario, dobbiamo innanzitutto definire uno spettro concettuale che si estende tra due estremi. Da un lato i dataset chiusi, che incarnano valori di controllo, opacità e centralizzazione; dall'altro i dataset collettivi, che esprimono trasparenza, partecipazione e distribuzione orizzontale del potere. Tra questi due poli si collocano numerosi strumenti e approcci che si avvicinano o si allontanano da ciascuna visione, creando un paesaggio complesso di possibilità tecnologiche e politiche. La tensione tra dataset chiusi e collettivi rappresenta molto più di una semplice scelta tecnica, essa incarna una duplice visione del mondo che contrappone il concetto di globo a quello di pianeta, due modalità fondamentalmente diverse di immaginare la Terra, gli esseri umani e le loro relazioni. Il globo rappresenta una costruzione politica ed economica, un territorio gestito attraverso confini, sovranità, gerarchie istituzionali attraverso un sistema

¹⁸⁶ di globalizzazione neoliberale¹ che ha trasformato la Terra in una rete di flussi economici, finanziari e tecnologici governati da élite transnazionali e grandi corporation. Il concetto di pianeta, invece, emerge come ambiente condiviso, un sistema biologico e fisico che supera le categorie politiche tradizionali per abbracciare una dimensione ecocentrica in cui gli esseri umani sono parte di un ecosistema più vasto. Questa differenza fondamentale ci permette di comprendere come le diverse configurazioni dell'intelligenza artificiale riflettano visioni del mondo profondamente divergenti, incarnando o la logica del controllo globalista o quella della partecipazione planetaria. Il globo come costruzione politica affonda le sue radici in un processo che inizia con la cooperazione tra persone, l'atto originario attraverso cui gli individui danno forma a strutture sociali e politiche stabili, costruendo le nazioni come espressione istituzionalizzata della cooperazione umana. Dalla necessità di vivere insieme, condividere risorse e definire regole comuni, nasce l'idea di comunità organizzata che nel tempo si consolida nella forma della nazione-stato. La coesistenza di nazioni rappresenta dunque un'interpretazione del mondo di matrice politica, quando più nazioni coesistono, il mondo assume una configurazione politica, diventando una rete di Stati sovrani che interagiscono secondo logiche di potere, alleanza e competizione. L'ordine mondiale nasce così come un sistema politico in cui il pianeta viene visto attraverso i confini, le sovranità e gli interessi nazionali. Con il progresso tecnologico, economico e comunicativo, questa visione politica del mondo evolve in una visione sistemica. Il "mondo" frammentato degli Stati si trasforma in un "globo" interconnesso, dove i processi non sono più confinati entro i limiti nazionali ma si estendono su scala globale. Come ha sottolineato Peter Sloterdijk nella trilogia "Sfere", il globo è una costruzione metafisica e geometrica che nasce quando l'Occidente comincia a immaginare il mondo come totalità rappresentabile, misurabile e controllabile. Il progetto della globalizzazione, secondo Sloterdijk,

¹⁸⁷ emerge quando la sfera, forma divina e perfetta della filosofia antica, diventa una forma di potere, un modo per pensare e organizzare il mondo come unità coerente e dominabile.² In risposta a questa interconnessione crescente, gli Stati sviluppano forme di cooperazione transnazionale, come accordi commerciali, reti infrastrutturali, alleanze tecnologiche e culturali. Queste forme di collaborazione generano la globalizzazione, intesa come intensificazione dei flussi di beni, informazioni e persone a livello globale. La globalizzazione si fonda sul multilateralismo, un principio di cooperazione istituzionale basato su regole comuni e decisioni condivise che traduce la globalizzazione da processo spontaneo a sistema politico organizzato. Anche l'intelligenza artificiale è diventata un oggetto del multilateralismo. In questo ambito, il multilateralismo agisce sia sul piano legislativo che su quello operativo. Sul piano legislativo si manifesta attraverso trattati, linee guida e regolamenti come l'AI Act europeo o i report delle Nazioni Unite; sul piano operativo riguarda invece la collaborazione tecnica e scientifica tra Paesi, aziende e centri di ricerca nella costruzione dei modelli e delle infrastrutture digitali. Tuttavia, sul piano operativo si manifesta quella che potremmo definire una sorta di multilateralismo selettivo. A differenza del piano legislativo, qui la cooperazione non è universale ma limitata a pochi attori, grandi potenze tecnologiche e multinazionali con risorse e competenze avanzate che partecipano alla costruzione e al controllo dell'AI globale. Questo multilateralismo selettivo si fonda su principi economici e di controllo. Le dinamiche di cooperazione nel campo operativo sono guidate più da interessi strategici ed economici che da ideali di equità o inclusione, e la gestione dei dati, delle infrastrutture e dei modelli diventa uno strumento di potere geopolitico e di dominio tecnologico. Lo strumento materiale su cui si fonda questo multilateralismo sono i dataset chiusi, insiemi di dati proprietari, non accessibili liberamente, che determinano chi può o non può partecipare alla creazione dell'intelligenza artificiale. In questo modo, il controllo sui dati

¹⁸⁸ diventa il fondamento materiale di un nuovo ordine multilaterale basato sulla conoscenza e sull'esclusione, incarnando perfettamente quella che Sloterdijk descrive come la "prassi della sfera",³ ovvero la trasformazione del mondo in oggetto di misura, calcolo e dominio. I dataset chiusi dell'AI globale funzionano esattamente secondo questa logica protocollare, creano un sistema apparentemente aperto e distribuito, ma il cui accesso è rigidamente controllato da standard, infrastrutture e barriere economiche che solo pochi possono superare.

Parlare di pianeta, invece, significa aderire a premesse radicalmente diverse. Mentre il globo si basa sulle nazioni come unità fondamentali, il concetto di pianeta si fonda sui singoli individui. Il "globo" è una costruzione politica che rappresenta l'insieme delle nazioni che cooperano o competono tra loro su scala internazionale, mentre il "pianeta" trascenda questa condizione per porre al centro l'essere umano, inteso come individuo biologico e cognitivo facente parte di un ecosistema condiviso. Mentre il globo si articola in confini e sistemi politici, il pianeta esprime una condizione di interdipendenza vitale e collettiva".⁴ Nella transizione dal globo al pianeta, sia l'idea di mondo sia quella di individuo perdono la loro connotazione politica e giuridica per assumere una dimensione biologica. Gli individui vengono considerati come nodi di un sistema vivente globale, e le dinamiche sociali si leggono sempre più in chiave ecologica, corporea e informazionale piuttosto che statale o istituzionale. In un contesto planetario, la raccolta e lo scambio di informazioni avviene senza la presenza di strutture centralizzate, il pianeta, inteso come rete biologica e cognitiva, non necessita di un centro politico o di un'autorità sovrana, e l'informazione circola in modo distribuito, orizzontale, attraverso connessioni dirette tra gli attori. Questa decentralizzazione rappresenta un superamento del modello piramidale tipico del globo politico e delle sue istituzioni gerarchiche. Un esempio paradigmatico di questa logica sono le reti peer-to-peer, che incarnano perfettamente la visione

¹⁸⁹ planetaria. Ogni nodo è al tempo stesso produttore e destinatario di informazioni, e il sistema nel suo complesso funziona grazie alla cooperazione distribuita senza centri di controllo fissi, ma attraverso una rete dinamica di relazioni tra pari. Galloway descrive questo tipo di architettura di rete come radicalmente diversa dai sistemi centralizzati, poichè la rete distribuita opera attraverso connessioni multiple e orizzontali tra nodi autonomi”.⁵ Questo modello diventa metafora e infrastruttura della comunicazione planetaria, suggerendo possibilità alternative di organizzazione sociale e tecnica. Se pensiamo a un’AI planetaria, la sua principale caratteristica sarebbe la partecipazione del singolo individuo alla sua costruzione. Un’intelligenza artificiale planetaria si distinguerebbe da quella globale perché non verrebbe sviluppata da Stati o big tech, ma emergerebbe dalla cooperazione diffusa tra individui, dove ogni persona sarebbe libera di contribuire con dati, conoscenza o calcolo alla costruzione collettiva del sistema, rendendo l’AI un’espressione diretta dell’intelligenza umana distribuita. L’AI planetaria sarebbe caratterizzata da dataset collettivi, non più chiusi o proprietari ma condivisi e generati collettivamente, rappresentando l’esperienza umana nella sua pluralità e diventando un bene comune, fondamento di un’intelligenza realmente planetaria e inclusiva. I dati, dunque, non sarebbero strumenti di controllo ma elementi di partecipazione e co-creazione.

Questa distinzione tra AI globale e AI planetaria non è meramente accademica ma ha profonde implicazioni pratiche sul modo in cui concepiremo e costruiremo le tecnologie del futuro. L’AI globale, basata su dataset chiusi, perpetua quella che Chakrabarty identifica come la logica antropocentrica della globalizzazione,⁶ dove il mondo esisterebbe principalmente come risorsa da misurare, mappare e controllare attraverso tecnologie sempre più sofisticate. L’intelligenza artificiale diventa strumento di questo progetto di dominio, un modo per estendere la capacità umana di prevedere, controllare e ottimizzare ogni aspetto della realtà. I dataset chiusi su cui si fonda

¹⁹⁰ l'AI globale distorcono la produzione di conoscenza e intelligenza, concentrandola nelle mani di pochi attori che possono permettersi le infrastrutture computazionali e i dati necessari, piuttosto che distribuirla democraticamente tra comunità e territori. Al contrario, l'AI planetaria riconosce il pianeta come un insieme dinamico di relazioni, un sistema complesso in cui gli esseri umani sono parte di processi che li precedono e li superano, dove l'intelligenza artificiale potrebbe emergere come strumento di comprensione e partecipazione piuttosto che di controllo e dominio. Un'AI planetaria dovrebbe essere costruita andando a considerare la Terra come il risultato di una serie di relazioni dinamiche, riconoscendo i limiti planetari, le interconnessioni ecosistemiche e la necessità di operare all'interno dei confini biofisici del pianeta piuttosto che cercare di trascenderli o dominarli. La costruzione di un'AI planetaria richiederebbe di abbracciare questa complessità piuttosto che cercare di eliminarla attraverso la standardizzazione e il controllo centralizzato.

La sfida che ci troviamo ad affrontare oggi è precisamente quella di provare a costruire sistemi di intelligenza artificiale in grado di incarnare valori planetari piuttosto che logiche globali, cercando di capire come passare da dataset chiusi e proprietari a dataset collettivi e condivisi. La risposta non può essere puramente tecnica ma deve necessariamente coinvolgere una trasformazione più profonda nel modo in cui concepiamo la tecnologia, la società e il nostro rapporto con il pianeta. Sloterdijk⁷ ci offre una prospettiva storica essenziale per questo progetto, poichè spiega come la globalizzazione non è un fenomeno recente ma la realizzazione materiale del pensiero sferico, il passaggio dalla rappresentazione filosofica del tutto alla sua concretizzazione tecnica e coloniale. Il multilateralismo basato su dataset chiusi è la continuazione di questa stessa logica sferica, la volontà di includere tutto sotto una sola infrastruttura cognitiva e di controllo. Al contrario, un'AI planetaria, non corrisponderebbe più a un "tutto" chiuso,

¹⁹¹ ma a una molteplicità di sfere aperte e interconnesse. Questa visione quella dell'architettura delle reti peer-to-peer descritta da Galloway,⁸ secondo cui ogni nodo è simultaneamente produttore e consumatore, e il sistema funziona attraverso la cooperazione distribuita senza punti di controllo centralizzati. Il passaggio dall'Al globale all'Al planetaria richiede quindi non solo nuove tecnologie ma una nuova immaginazione politica ed ecologica, una capacità di pensare oltre le categorie di sovranità, proprietà e controllo che hanno caratterizzato l'era della globalizzazione. L'intelligenza artificiale, in questo contesto, potrebbe diventare uno strumento per navigare questa transizione, ma solo se riusciamo a costruirla secondo principi planetari piuttosto che logiche globali, solo se i dataset su cui si basa diventano espressione della diversità e della cooperazione collettiva piuttosto che strumenti di controllo e omogeneizzazione.

- 1 Foroohar, R. (2021). *Homecoming: The Path to Prosperity in a Post-Global World*. New York: Crown;
- 2 Sloterdijk, P. (1998-2004). *Sfere (3 voll.)*. Milano: Raffaello Cortina Editore;
- 3 Ibid;
- 4 Chakrabarty, D. (2021). *The Climate of History in a Planetary Age*. Chicago: University of Chicago Press;
- 5 Galloway, A. R. (2004). *Protocol: How Control Exists After Decentralization*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 6 Chakrabarty, D. (2021). *The Climate of History in a Planetary Age*. Chicago: University of Chicago Press;
- 7 Sloterdijk, P. (1998-2004). *Sfere (3 voll.)*. Milano: Raffaello Cortina Editore;
- 8 Galloway, A. R. (2004). *Protocol: How Control Exists After Decentralization*. Cambridge, MA: MIT Press;

2.3.3

193

UNA

TECNOLOGIA

PLANETARIA

PARTE DUE

L'idea di una rete senza centro, di un sistema in cui nessun nodo è più importante di un altro, affonda le sue radici in quella rivoluzione silenziosa che ha attraversato gli ultimi decenni del ventesimo secolo: la nascita delle reti peer-to-peer. Quando i primi sistemi P2P emersero alla fine degli anni Novanta, promettevano qualcosa che sembrava impossibile nell'architettura tradizionale del web, ovvero la possibilità che milioni di computer distribuiti su tutto il pianeta potessero condividere file e capacità di calcolo senza bisogno di un server centrale che coordinasse le operazioni.¹ L'idea alla base era rivoluzionaria, invece di dipendere da un'autorità centralizzata che mediasse ogni transazione, ogni nodo della rete poteva comunicare direttamente con gli altri, creando una topologia di rete che si auto-organizzava e che poteva adattarsi dinamicamente ai fallimenti, alle connessioni intermittenti, alla popolazione transitoria di nodi che entravano e uscivano dalla rete. Le reti peer-to-peer rappresentavano, in sostanza, una forma di democrazia tecnologica. Ogni partecipante contribuiva alla rete e allo stesso tempo beneficiava delle risorse condivise dagli altri, senza che nessuno potesse controllare o censurare il flusso di informazioni. Tuttavia, dietro questa promessa di libertà e decentralizzazione si celavano

¹⁹⁶ problemi fondamentali che i primi sistemi P2P non riuscirono mai a risolvere completamente. Il primo, e forse il più insidioso, era il problema della fiducia, ovvero trovare un modo affinché i nodi di una rete decentralizzata potessero fidarsi gli uni degli altri senza la necessità di doversi affidare a un'autorità centrale. Il secondo problema riguardava la persistenza dei dati. In una rete in cui i nodi potevano disconnettersi in qualsiasi momento, come si poteva garantire che un'informazione importante rimanesse disponibile nel tempo? Se il nodo che ospitava un determinato file andava offline, quel contenuto poteva semplicemente scomparire dalla rete, rendendo il sistema intrinsecamente fragile e inaffidabile. Questi limiti strutturali delle prime reti peer-to-peer non erano semplici imperfezioni tecniche da correggere, erano problemi fondamentali che mettevano in discussione la stessa possibilità di costruire sistemi veramente decentralizzati e affidabili. La soluzione a questi dilemmi arrivò nel 2008, quando Satoshi Nakamoto pubblicò "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System".² Quello che Nakamoto propose non era semplicemente una nuova forma di moneta digitale, ma una soluzione radicalmente innovativa al problema della fiducia nelle reti decentralizzate. L'intuizione chiave fu quella di combinare tecnologie crittografiche esistenti (funzioni hash, firme digitali, alberi di Merkle) con un meccanismo di consenso distribuito chiamato "Proof of Work", creando così quello che oggi chiamiamo blockchain. Il sistema proposto da Nakamoto risolveva il problema del "double-spending", ovvero la possibilità che qualcuno potesse spendere la stessa moneta digitale più volte, e risolse il problema senza dover ricorrere a un'autorità centrale fidata, ma attraverso una rete peer-to-peer che validava collettivamente ogni transazione attraverso un processo di consenso computazionalmente costoso ma verificabile da chiunque.³ La blockchain, nella sua essenza tecnica, è una struttura dati relativamente semplice. Una catena di blocchi collegati tra loro, dove ogni blocco contiene un insieme di transazioni, un timestamp che ne certifica l'ordine cronologico,

¹⁹⁷ e un hash crittografico che lo lega indissolubilmente al blocco precedente.⁴ Ogni blocco include l'hash del blocco precedente nel proprio calcolo dell'hash, creando una catena in cui modificare retroattivamente anche un singolo byte di informazione in un blocco passato richiederebbe di ricalcolare gli hash di tutti i blocchi successivi, un'operazione computazionalmente impossibile man mano che la catena cresce.⁵ Questa struttura apparentemente semplice genera proprietà straordinarie, come l'immutabilità, che rende praticamente impossibile alterare le informazioni una volta registrate, il consenso distribuito, che permette a migliaia di nodi indipendenti di concordare sullo stato della rete senza bisogno di un coordinatore centrale. e la trasparenza, che consente a chiunque di verificare l'intera storia delle transazioni dall'origine del sistema fino al presente.⁶ L'immutabilità nasce dalla combinazione di crittografia e consenso. Una volta che un blocco è stato aggiunto alla catena e confermato da un numero sufficiente di blocchi successivi, modificarlo richiederebbe non solo di ricalcolare la prova di lavoro per quel blocco, ma anche per tutti i blocchi che lo seguono, e di fare tutto questo più velocemente di quanto l'intera rete stia aggiungendo nuovi blocchi, un'impresa che richiede il controllo della maggioranza della potenza computazionale della rete.⁷ Il consenso distribuito si basa sull'idea che la fiducia non deve risiedere in un'autorità centrale, ma può emergere dal processo stesso. La trasparenza, infine, deriva dal fatto che ogni nodo della rete mantiene una copia completa della blockchain e può verificare autonomamente la validità di ogni transazione e di ogni blocco, eliminando la necessità di fidarsi ciecamente di intermediari.⁸ Ma ciò che rende la blockchain veramente rivoluzionaria non sono tanto queste proprietà tecniche prese singolarmente quanto piuttosto la loro combinazione in un sistema che funziona su scala planetaria. La blockchain è, per sua stessa natura, una tecnologia planetaria, chiunque infatti, in qualunque parte del mondo, con una connessione internet e l'hardware necessario, può partecipare alla

¹⁹⁸ rete, validare transazioni, proporre nuovi blocchi, verificare l'integrità dell'intero sistema. Non ci sono confini geografici, non ci sono autorizzazioni da richiedere, non ci sono gatekeepers che decidono chi può entrare e chi deve rimanere fuori. Questa planetarietà non è un effetto collaterale del design della blockchain, ma è la sua caratteristica fondamentale. Per migliaia di anni, le società umane hanno affidato la registrazione delle informazioni importanti a istituzioni centralizzate come templi, palazzi, banche, governi. Queste istituzioni fungevano da garanti della verità, da custodi della memoria collettiva, ma proprio per questo motivo dovevano essere protette, difese, limitate geograficamente e culturalmente. La blockchain sovverte questa logica, invece di concentrare la fiducia in poche istituzioni privilegiate, la distribuisce sull'intera rete, rendendo il sistema tanto più robusto quanto più è diffuso, tanto più affidabile quanto più è accessibile a tutti. E questa planetarietà si fonda su un concetto apparentemente paradossale ma profondamente liberatorio: la trustless, ovvero la fiducia senza fiducia. Questo tema è stato ampiamente discusso da Vitalik Buterin,⁹ il quale, quando parla di trustlessness, non intende l'assenza di fiducia, ma piuttosto un sistema in cui la correttezza e l'equità dipendono solo dalla matematica e dal consenso, mai dalla benevolenza di intermediari. Un sistema è trustless quando qualsiasi partecipante onesto può unirsi, verificare e agire senza permessi e senza paura, quando l'auto-sovrànità garantisce che ogni utente autorizzi le proprie azioni senza che nessuno agisca per suo conto, quando la verificabilità permette a chiunque di confermare cosa è successo dai dati pubblici, quando la resistenza alla censura assicura che qualsiasi azione valida possa essere inclusa entro un tempo ragionevole e senza costi eccessivi, quando il "walkaway test" garantisce che se un operatore scompare o si comporta male, un altro può subentrare senza approvazione, quando l'accessibilità mette la partecipazione alla portata degli utenti ordinari e non solo degli esperti con server e capitale, quando la trasparenza degli

¹⁹⁹ incentivi fa sì che i partecipanti siano governati da regole protocollari e non da contratti privati o API opache.¹⁰ La trustlessness è costosa, richiede ridondanza, apertura, complessità. Ma questo costo è il prezzo della libertà, il tributo che paghiamo per costruire sistemi che appartengono a tutti e a nessuno, che non possono essere catturati, censurati, spenti da nessuna autorità, per quanto potente. È su questa base trustless che si fonda la vera planetarietà della blockchain. Non si tratta semplicemente di una rete globale nel senso geografico, ma di un sistema di coordinamento umano che trascende i confini, le giurisdizioni, le identità nazionali, creando uno spazio digitale veramente universale dove le regole sono le stesse per tutti e nessuno può cambiarle unilateralmente.¹¹ Ed è proprio questa proprietà che apre possibilità straordinarie quando si pensa di costruire sistemi di intelligenza artificiale sulla blockchain. Le opportunità che derivano da questa convergenza sono multiple e profonde. La prima riguarda il passaggio dall'opacità alla trasparenza. I sistemi di AI tradizionali sono notoriamente scatole nere, black boxes di cui possiamo osservare gli input e gli output ma non i processi decisionali interni, rendendo impossibile capire perché un algoritmo ha preso una determinata decisione o se i dati su cui è stato addestrato erano completi, rappresentativi, privi di bias. La blockchain offre una soluzione a questo problema registrando in modo immutabile e pubblicamente verificabile l'intero processo di addestramento di un modello di AI, indicando quali dati sono stati utilizzati, quando, da chi e con quali risultati, creando così un report completo che permette di tracciare e verificare ogni passo del processo. La trasparenza non riguarda solo la verificabilità tecnica, ma anche la responsabilità sociale, se infatti i processi decisionali di un'AI sono registrati su blockchain, diventa possibile identificare bias, discriminazioni, errori, e chiedere conto a chi ha sviluppato il sistema.

La seconda opportunità concerne il passaggio dal controllo al possesso dei dati. Nell'ecosistema digitale attuale, i dati sono

²⁰⁰ tipicamente estratti dagli utenti e concentrati nelle mani di poche grandi piattaforme che li utilizzano per addestrare i propri modelli di AI, creando valore economico di cui gli utenti che hanno generato quei dati non vedono alcun ritorno.¹² La blockchain, attraverso meccanismi di sovranità dei dati e sistemi di identità self-sovereign, permette agli utenti di mantenere il controllo sui propri dati, decidendo autonomamente a chi concedere accesso, per quanto tempo, a quali condizioni, creando così le basi per un'economia dei dati più equa e rispettosa della privacy. Questo shift dal controllo al possesso non è solo una questione tecnica o legale, ma rappresenta un cambiamento fondamentale nel rapporto di potere tra individui e piattaforme digitali. Invece di essere semplici fornitori passivi di dati che altri monetizzano, gli utenti diventano proprietari attivi delle proprie informazioni, con la capacità di negoziare le condizioni del loro utilizzo. La terza opportunità riguarda il passaggio dall'estrazione alla partecipazione, dalla monetizzazione unilaterale da parte delle piattaforme alla condivisione del valore generato dall'AI. Gli NFT possono essere utilizzati per rappresentare contributi di dati, permettendo a chi contribuisce di ricevere una quota del valore economico generato dal modello stesso.¹³ Se un gruppo di architetti, per esempio, contribuisce con i propri progetti, a un dataset utilizzato per addestrare un'AI generativa specializzata nella composizione architettonica, potrebbero ricevere token che rappresentano la loro quota di proprietà intellettuale del modello, beneficiando economicamente ogni volta che il modello viene utilizzato o genera valore.¹⁴ Questo meccanismo di monetization basato su blockchain crea incentivi per la partecipazione attiva e la condivisione della conoscenza, trasformando l'addestramento dell'AI da processo estrattivo a processo collaborativo e partecipato. La quarta opportunità riguarda il passaggio dal multilateralismo selettivo all'interoperabilità universale. I sistemi di AI attuali sono tipicamente silos isolati, ecosistemi chiusi controllati da singole aziende che non comunicano tra loro, costringendo gli utenti a

201 scegliere una piattaforma e a rimanervi intrappolati.¹⁵ La blockchain, attraverso standard aperti e protocolli interoperabili, può facilitare la creazione di un ecosistema di AI decentralizzato in cui modelli, dati, servizi possono essere condivisi e combinati liberamente, indipendentemente da chi li ha sviluppati o dove risiedono fisicamente.

Tuttavia, sarebbe ingenuo pensare che questa transizione verso un'AI planetaria basata su blockchain sarà semplice o priva di ostacoli. Le sfide sono molteplici e complesse. C'è innanzitutto la questione della scalabilità, dato che le blockchain pubbliche attuali possono processare solo un numero limitato di transazioni al secondo, molto inferiore a quello necessario per supportare applicazioni di AI su larga scala. C'è poi la questione della governance, legata a chi decide come evolve un sistema di AI decentralizzato e su chi ha il potere di aggiornare il codice. I meccanismi di governance on-chain, come DAO e token voting, sono ancora sperimentali e mostrano problemi di bassa partecipazione e vulnerabilità ad attacchi di vario tipo.¹⁶

Nonostante queste sfide, l'idea di costruire sistemi di intelligenza artificiale su infrastrutture planetarie e trustless rimane profondamente attraente, non solo per ragioni tecniche ma anche e soprattutto per ragioni etiche e politiche. In un mondo in cui l'AI sta diventando sempre più potente e pervasiva, in cui algoritmi prendono decisioni che influenzano profondamente le nostre vite, la questione di chi controlla questi sistemi, a beneficio di chi operano, secondo quali regole funzionano, diventa cruciale. La blockchain offre la possibilità, ancora largamente teorica ma concettualmente solida, di costruire sistemi di AI che non appartengono a nessuna singola entità ma che sono governati collettivamente e che operano secondo regole trasparenti e verificabili invece che secondo logiche opache e proprietarie. Sistemi che distribuiscono il valore creato invece di concentrarlo, che rispettano la sovranità e la dignità degli individui invece di trattarli come semplici fonti di dati da estrarre.

- 1 Androutsellis-Theotokis, S., & Spinellis, D. (2004). *A survey of peer-to-peer content distribution technologies*. ACM Computing Surveys, 36(4);
- 2 Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>;
- 3 Ibid;
- 4 Zheng, Z., Xie, S., Dai, H., Chen, X., & Wang, H. (2018). *An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends*. IEEE 6th International Congress on Big Data;
- 5 Ibid;
- 6 Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>;
- 7 Ibid;
- 8 Werbach, K. (2018). *The blockchain and the new architecture of digital trust*. MIT Press;
- 9 Buterin, V., Weiss, Y., & Posner, M. (2025). *The Trustless Manifesto*. Retrieved from <https://trustlessness.eth.limo>;
- 10 Werbach, K. (2018). *The blockchain and the new architecture of digital trust*. MIT Press;
- 11 Bhumichai, D., Smiliotopoulos, C., Benton, R., Kambourakis, G., & Damopoulos, D. (2024). *The Convergence of Artificial Intelligence and Blockchain: The State of Play and the Road Ahead*. Information, 15(5);
- 12 Huang, J., Kong, L., Chen, G., Wu, M., Liu, X., & Zeng, P. (2024). *Blockchain-Based Decentralized Storage Systems for Sustainable Data Self-Sovereignty*. Sustainability, 16(17);
- 13 Zhai, S., Yang, Y., Li, J., Qiu, C., & Zhao, J. (2022). *Blockchain and NFTs for Time-Bound Access and Monetization*. IEEE Access, 10, 1-14;
- 14 Ibid;
- 15 Bhumichai, D., Smiliotopoulos, C., Benton, R., Kambourakis, G., & Damopoulos, D. (2024). *The Convergence of Artificial Intelligence and Blockchain: The State of Play and the Road Ahead*. Information, 15(5);
- 14 Ibid.

2.3.4

203

INTERVISTA PRIMAVERA DE FILIPPI

RIPENSARE LE STRUTTURE DI POTERE: LE PROMESSE DELLA GOVERNANCE DECENTRALIZ- ZATA

INTRO

Primavera De Filippi è una delle voci più autorevoli nel dibattito internazionale sull'intersezione tra tecnologia, diritto e governance. In questa intervista ripercorre l'evoluzione del dibattito attorno alla blockchain, ne chiarisce i fondamenti tecnici e le potenzialità applicative, e invita a guardare oltre l'immaginario riduttivo che ancora oggi ne limita la comprensione. Al centro della sua riflessione, il tentativo di comprendere in che misura una tecnologia possa ridefinire le strutture di potere su cui si fondano le nostre istituzioni.

BIO

Primavera De Filippi è membro dell'EU Blockchain Observatory and Forum e ricercatrice permanente presso il Centro Nazionale per la Ricerca Scientifica (CNRS) di Parigi. Collabora come facoltà associata con il Berkman Klein Center for Internet & Society dell'Università di Harvard ed è Visiting Fellow al Robert Schuman Centre for Advanced Studies presso l'Istituto Universitario Europeo. Fa parte del Global Future Council on Blockchain Technologies del World Economic Forum ed è co-fondatrice delle coalizioni dinamiche del Forum per la Governance di Internet (IGF) sulla tecnologia blockchain (COALA).

La sua ricerca si concentra sulle sfide legali poste dallo sviluppo di tecnologie decentralizzate, con particolare attenzione alla blockchain. In particolare, esamina come queste tecnologie possano promuovere nuovi modelli di governance e partecipazione nei processi decisionali, attraverso l'approccio della "governance-by-design". Nel 2018 ha pubblicato, insieme ad Aaron Wright, il libro "Blockchain and the Law" per Harvard University Press. Nel 2024 viene invece alla stampa per il MIT press il libro "Blockchain Governance", insieme a Wessel Reijers, Morshed Mannan.

206 **FG:** Potrebbe spiegarci che cos'è una blockchain, come funziona e da dove derivano le aspettative e l'interesse verso il suo utilizzo?

PDF: La blockchain è una struttura di dati decentralizzata mantenuta operativa da una rete di computer. Questa struttura consente la registrazione di transazioni in modo trasparente e append-only, garantendo l'integrità e l'invariabilità dei dati registrati. Come suggerito dal nome, la blockchain è composta da una catena di "blocchi" collegati tra di loro in modo crittografato, che contengono al loro interno un insieme di transazioni. Ogni blocco contiene un riferimento al blocco precedente, creando così una catena immutabile e cronologica.

Il funzionamento della blockchain si basa sul concetto di "consenso distribuito". I partecipanti alla rete, chiamati nodi, verificano e convalidano le transazioni da inserire all'interno dei blocchi attraverso algoritmi di consenso come il Proof of Work o il Proof of Stake. Una volta che un blocco di transazioni è confermato viene integrato nella blockchain, e il suo contenuto diventa accessibile a tutti i partecipanti della rete.

L'interesse verso questa tecnologia deriva dalla sua capacità di combinare la sicurezza delle transazioni con la tracciabilità, l'immutabilità e la resistenza alla censura, senza la necessità di fare affidamento ad intermediari. Le aspettative

legate al suo utilizzo derivano dalla sua potenziale applicazione in diverse tipologie di contesti, come la finanza decentralizzata, la notarizzazione e la registrazione dei diritti di proprietà, dove il suo utilizzo può aiutare a migliorare la verificabilità dei contenuti e a ridurre i costi di amministrazione associati agli operatori centralizzati.

FG: L'immaginario collettivo spesso riduce la blockchain a una tecnologia legata alla speculazione finanziaria. Il superamento di questa barriera richiede un solido sistema educativo in grado di farne comprendere appieno il valore e il potenziale. Dove ci troviamo attualmente in termini di educazione e adozione della blockchain?

PDF: Qui ci troviamo di fronte ad un singolare paradosso per cui nonostante il progressivo aumento della consapevolezza del suo potenziale, l'educazione sulla blockchain e sul suo utilizzo rimane ancora limitata. Le università e istituzioni educative stanno cominciando a integrare corsi e programmi di studio su questa tecnologia e sulle sue implicazioni sociali, economiche e politiche. Tuttavia, ci sono ancora notevoli differenze tra paesi e regioni in termini di accesso all'educazione e di adozione.

FG: La sua attività di ricerca l'ha portata a scrivere due diversi libri sul tema:

207 “Blockchain and the Law” (2018) e “Blockchain Governance” (2024). I libri sono stati scritti a sei anni di distanza l'uno dall'altro, inserendosi in contesti sociali, culturali ed economici completamente diversi. Che cosa significava parlare di blockchain nel 2018 e che cosa significa parlarne oggi?

PDF: Nel 2018, parlare di blockchain significava concentrarsi sugli esordi di Bitcoin e di altre criptovalute come alternativa ai sistemi finanziari tradizionali. All'epoca, l'utilizzo della blockchain al di fuori della finanza era un ambito relativamente nuovo e sperimentale, caratterizzato da un forte senso di incertezza e di scetticismo.

Sei anni dopo possiamo constatare come il campo di applicazione della blockchain sia molto più ampio e di come sia cresciuta la consapevolezza attorno alle potenzialità del suo utilizzo. Nel 2024 non si parla della blockchain solo come un'innovazione finanziaria, ma se ne esplorano le possibili applicazioni con l'intento di modernizzare numerose operazioni in vari settori che possono beneficiare di maggiore sicurezza, trasparenza, e fiducia, come la gestione delle catene di approvvigionamento, l'emissione di certificati e le accreditazioni.

Oggi la blockchain è anche considerata come un'opportunità per sperimentare nuovi modelli di governance decentralizzati, per democratizzare l'accesso ad alcuni servizi

(finanziari e non-finanziari), e per esplorare la creazione di nuove opportunità economiche.

FG: I due libri sopracitati analizzano due casi applicativi specifici della blockchain. Provando a riassumere il loro contenuto, quali sono i presupposti e gli obiettivi di queste pubblicazioni?

PDF: Come già detto precedentemente i libri sono stati scritti in due periodi e in due contesti differenti. Il primo, “Blockchain and the Law” esplora l'intersezione e l'interazione tra la blockchain e il sistema giuridico, cercando di capire le implicazioni dell'utilizzo della blockchain sui concetti tradizionali di diritto e regolamentazione. Il libro esamina, da un lato, come la blockchain possa essere regolamentata, e dall'altro lato, come questa possa essere utilizzata per creare nuove forme di regolamentazione tramite l'utilizzo di smart contract (contratti intelligenti).

Il secondo invece, “Blockchain Governance”, si focalizza sui problemi e le opportunità della tecnologia blockchain in materia di governance, esaminando come da un lato la blockchain possa essere utilizzata per creare processi decisionali più trasparenti, sicuri e decentralizzati, e dall'altro provando a portare alla luce le difficoltà legate alla governance della blockchain stessa, data l'assenza di operatori centralizzati responsabili della gestione di queste applicazioni.

PARTE DUE

2.4

AI OPEN SOURCE

2.4.1

211

INTERVISTA STEFANO MAFFULLI

L'ETICA DEL SOFTWARE NELL'ERA DELL'INTELLI- GENZA ARTIFICIALE

INTRO

I timori sempre più diffusi legati all'utilizzo di intelligenze artificiali centralizzate e proprietarie trovano nell'universo open source una possibile soluzione, un orizzonte di speranza per la costruzione di strumenti più trasparenti, etici e comunitari. Ma quale significato si cela dietro l'espressione "modelli di intelligenza artificiale open source", e chi sono i soggetti incaricati a regolamentare e governare la crescita di questi innovativi strumenti?

BIO

Stefano Maffulli è il direttore esecutivo della Open Source Initiative (OSI), organizzazione di cui è membro dal 2021 dopo decenni di dedizione alla promozione dell'open source.

Dal 2001 al 2007, ha co-fondato e guidato il capitolo italiano della Free Software Foundation Europe. Successivamente, ha strutturato la comunità di sviluppatori della OpenStack Foundation e ha diretto team di marketing open source in diverse aziende internazionali.

Appassionato utilizzatore di software open source, Maffulli ha contribuito con patch alla documentazione, traduzioni e ha promosso progetti diversi come GNU, QGIS, OpenStreetMap e WordPress.

La sua nomina a direttore esecutivo ha rappresentato un passo fondamentale nella trasformazione dell'OSI in un'organizzazione gestita professionalmente.

214 **FG:** La Open Source Initiative non è l'unico ente impegnato a tutelare la democratizzazione del software. Esiste anche la Free Software Foundation. Potrebbe spiegarci le principali differenze tra le due istituzioni?

SM: Prima degli anni '80, il software veniva spesso sviluppato e condiviso liberamente tra ricercatori, università e aziende, senza particolari restrizioni. Tuttavia, verso la fine del decennio, questa libera circolazione del codice sorgente iniziò a diminuire con l'applicazione delle leggi sul diritto d'autore. Le aziende cominciarono a proteggere il proprio lavoro attraverso il copyright, limitando così l'accesso e la modifica del software.

Fu in questo contesto che un ricercatore del MIT ideò un meccanismo legale capace di preservare la libera circolazione del software utilizzando le privative della legge del diritto di autore in modo opposto al significato originale. Da questa intuizione nacque un manifesto politico, una dichiarazione d'intenti che attrasse coloro che condividevano l'ideale di un software accessibile e modificabile da tutti. Nel tempo, questa comunità si è strutturata dando vita alla Free Software Foundation (FSF), un'organizzazione che, oltre a tutelare la libera condivisione dei codici sorgente, ha avuto anche un ruolo chiave nello sviluppo del concetto di software stesso. Ci tengo infatti a precisare, che fino ad allora, l'idea di

software era molto diversa da quella attuale. Prima degli anni '70-'80, il software non era coperto dal diritto d'autore, questa concezione è nata in un secondo momento, in parallelo all'evoluzione del concetto di software libero o Open Source che dir si voglia.

L'evoluzione di questo concetto è avvenuta di pari passo con i progressi tecnologici. Più la tecnologia cresceva e più diventava possibile testare questi ideali nella costruzione di nuovi software. La Free Software Foundation è stata la prima organizzazione ad aver formalizzato queste idee. Negli anni '90, a seguito dell'esplosione di internet e la nascita di nuovi codici sorgente di software concepiti per risolvere problemi, nasce una nuova organizzazione, che si presenta come una branca della Free Software Foundation, ma che si distingue da essa per una diversa interpretazione dei principi fondatori. Questa organizzazione è la Open Source Initiative (OSI). Queste due organizzazioni possono essere considerate due organizzazioni sorelle che perseguono lo stesso obiettivo attraverso due approcci diversi: la Free Software Foundation è spinta da un obiettivo etico che parte da un imperativo morale secondo cui chiunque utilizzi un software deve avere accesso al codice sorgente, ciò significa che il software deve essere libero, e la definizione di software libero passa dal riconoscimento di quattro principi chiamati anche "quattro libertà" (uso, studio, condivisione e modifica). La Open

215 Source Initiative, difende gli stessi principi, ma non lo fa per perseguire un principio morale, ma pratico.

FG: L'open source riguarda anche i modelli di intelligenza artificiale, un tema tornato al centro dell'attenzione con il rilascio del modello DeepSeek-R1. Potrebbe offrirci una panoramica su questo scenario?

SM: Il software libero, open source, è una tipologia di software senza restrizioni che dà a chi lo usa tutti gli strumenti necessari per controllare la tecnologia che sta utilizzando, per capire come funziona, come è stata costruita e per poterla modificare e condividere con altri. Quando paragoniamo i software con i modelli di machine learning, dobbiamo aver chiaro in mente che i primi sono il risultato di righe di codice scritte dagli esseri umani, i secondi invece non sono programmati da umani, sono delle macchine in grado di fare delle previsioni, che costruiscono un output che non è deterministico, ma che è basato su calcoli statistici. La differenza principale è che, non essendo programmati direttamente, i modelli di machine learning non hanno codice sorgente, che invece rappresenta un presupposto essenziale per esercitare le quattro libertà su cui si fonda la definizione di software libero. Il nostro gruppo di ricerca ha impiegato quasi due anni per trovare una risposta a questo quesito. Dopo questo

lasso di tempo abbiamo capito che per poter studiare e modificare le moderne intelligenze artificiali, basate su tecniche di machine learning e deep learning, è necessario avere accesso a quattro elementi fondamentali:

- I pesi del modello, ovvero i parametri che determinano il comportamento della rete neurale.
 - Il codice completo utilizzato per l'addestramento, che definisce il processo di apprendimento del modello.
 - Il codice completo per la costruzione del dataset di addestramento, essenziale per comprendere come i dati vengono selezionati e preparati.
 - L'elenco completo dei dati originali che compongono il dataset, per garantire trasparenza e replicabilità.
- Questi elementi rappresentano i requisiti essenziali affinché un'intelligenza artificiale possa rispettare i principi del software libero garantendo agli utenti le quattro libertà fondamentali.

FG: Quando un'azienda dichiara di aver rilasciato un modello come "open source", sta realmente aderendo alla vostra visione o sta semplicemente dando una propria interpretazione di questo concetto?

SM: Le aziende hanno esigenze commerciali e spesso sfruttano l'etichetta di open source per vantarsi di questa qualifica,

PARTE DUE

216 talvolta abusandone esclusivamente per ottenere un ritorno economico. Un esempio emblematico è il modello LLaMA, sviluppato da Meta, pubblicizzato come open source ma distribuito con restrizioni incompatibili con l'accesso illimitato richiesto da questa definizione. Inoltre, LLaMA manca di trasparenza riguardo al processo di sviluppo e addestramento, ai dati utilizzati e al codice impiegato per il training. Lo stesso discorso vale per DeepSeek-R1 e altri modelli che, pur essendo distribuiti in modo relativamente aperto, non forniscono l'accesso al codice di addestramento, ai dataset o al codice sorgente utilizzato per la loro creazione.

In qualità di ente responsabile della definizione e del riconoscimento del concetto di open source, ci troviamo spesso al centro di contestazioni. Le critiche provengono sia da chi ritiene che l'accesso ai dataset di addestramento debba essere sempre garantito, sia dalle aziende stesse, che considerano sufficienti le loro pratiche di condivisione, come la distribuzione dei pesi dei modelli e la pubblicazione di paper di ricerca e report tecnici.

Il dibattito è ancora aperto e in continua evoluzione. Non a caso, la nostra attuale definizione è contrassegnata con la versione "1.0", proprio per sottolineare che siamo consapevoli del suo sviluppo futuro, in parallelo ai progressi della tecnologia e alle sue applicazioni. È importante ricordare che

le definizioni di open source software e free software si sono consolidate nel corso di decenni, quando esistevano già numerosi software, vasti archivi di codice e diverse licenze da analizzare. Di conseguenza, queste definizioni derivano da una generalizzazione dell'esistente, mentre nel campo dell'intelligenza artificiale ci troviamo ancora nelle fasi iniziali.

A differenza di un marchio registrato, il termine open source non gode di una protezione legale esclusiva, motivo per cui molte aziende di AI si autodefiniscono open source anche senza rispettare i requisiti fondamentali.

Tuttavia, negli Stati Uniti e in Europa, la definizione di open source ha acquisito valore legale attraverso alcune sentenze, che stabiliscono che un software così denominato deve garantire le quattro libertà fondamentali: uso, studio, modifica e distribuzione.

Tornando all'esempio di LLaMA, questo modello non soddisfa tali criteri e, di conseguenza, non può essere considerato open source.

FG: E cosa ne pensa, invece, del fenomeno opposto, ovvero di stati, istituzioni e aziende che sviluppano modelli chiusi e proprietari?

SM: I rischi di questi sistemi derivano principalmente dalla loro opacità. Già per loro natura, i sistemi AI faticano a essere

217 considerati affidabili, poiché manca una scienza esatta in grado di spiegare e giustificare perché un determinato modello generi un preciso output a partire da un input. Ci sono elementi mancanti, che potrebbero aiutare a comprendere, ad esempio, perché un modello fornisce continuamente risposte errate e coerenti a certe domande.

Senza una spiegazione scientifica chiara dei risultati, la mancanza di accesso ai dati di partenza o alle informazioni sul processo di addestramento espone questi sistemi a bias e distorsioni sistemiche. Questo rischio diventa ancora più critico man mano che aumenta l'opacità del modello.

Inoltre, ci troviamo di fronte a un problema già visto nel mondo del software: la tendenza a "reinventare la ruota" ogni volta da zero. Il fatto che solo una o due aziende detengono competenze, dati e infrastrutture hardware per sviluppare questi sistemi crea un'enorme vulnerabilità per l'intero settore.

È una situazione simile a quella degli anni '90 e 2000, quando il 98% dei computer al mondo utilizzava lo stesso browser, Internet Explorer, rendendo Internet dipendente dalle decisioni di Microsoft. C'erano vulnerabilità e rischi di sicurezza diffusi, come se tutto fosse ridotto ad una monocultura.

PARTE DUE

2.5

SCHEMA RIASSUNTIVO

L'imitazione latente emerge come il filo conduttore che attraversa e unisce tutti i temi sviluppati nel corso di questa ricerca, un concetto che ci permette di guardare dall'alto l'intero paesaggio esplorato e di preparare il terreno per le esplorazioni applicative che seguiranno. Questo termine nasce dall'esigenza di dover definire una caratteristica inedita che identifica questo nuovo metodo progettuale basato sulla collaborazione tra uomo e modelli generativi in cui la rappresentazione architettonica nasce da una collaborazione tra le capacità compositive della mente umana e le capacità combinatorie dell'intelligenza artificiale.

L'etimologia dell'espressione fa riferimento all'atto imitativo che sta alla base della progettazione architettonica. Da sempre, infatti, gli architetti progettano tramite l'utilizzo di riferimenti, imitando ciò che già esiste. Il progetto architettonico non nasce mai dal nulla, ma si colloca sempre all'interno di una catena di citazioni e rielaborazioni, in cui il riferimento ricopre un ruolo fondamentale. L'attributo latente, oltre a richiamare la natura probabilistica dello spazio matematico che rappresenta il cuore del processo generativo, evidenzia la presenza, seppur non esplicita, di un processo imitativo che caratterizza il funzionamento di questi strumenti. La latenza non

²²² è dunque assenza, ma presenza nascosta che evidenzia come ogni esito generativo è sempre influenzato da questa inedita forma di imitazione.

Questi dataset non sono semplici collezioni neutre di dati ma una dichiarazione di intenti che determinano la natura dello strumento che ne viene costruito sopra, e la natura dello strumento, a sua volta definisce quello che sarà il ruolo dell'architetto in questo inedito processo ibrido.

È proprio attraverso la definizione di questo ruolo che si delineano i compiti attribuibili all'architetto, compiti che a loro volta andranno a definire il modo in cui la responsabilità progettuale si ridistribuisce tra uomo e macchina. Questa ridistribuzione non è un fatto puramente tecnico, poiché stabilire cosa compete all'architetto e cosa alla macchina significa ridefinire il perimetro stesso della professione.

La ricerca esplora tre tipologie fondamentali di dataset che danno forma a tre diverse manifestazioni di intelligenza artificiale. Dai dataset chiusi emerge l'AI globale, da quelli aperti nasce l'AI open source, e dai dataset condivisi prende vita l'AI planetaria.

Ciò che emerge con chiarezza da questo schema è che la responsabilità progettuale risiede nelle azioni compositive, quelle che rimangono appannaggio dell'architetto, mentre la macchina si occupa della dimensione combinatoria. La distinzione tra compositivo e combinatorio è qui cruciale. Il combinatorio è il dominio della quantità e della variazione, ed è ciò che la macchina fa meglio dell'uomo. Il compositivo, al contrario, è il dominio del senso, ovvero la capacità di selezionare tra le infinite varianti quella che risponde a un'intenzione, a un contesto, a un giudizio estetico o etico. Ogni tipologia di intelligenza artificiale, globale, open source o planetaria, definisce con precisione quale compito compositivo spetta all'architetto, perché il tipo di dataset su cui il modello è addestrato determina il tipo di controllo che l'utente può esercitare su di esso. Ed è proprio questa variabile, ovvero la qualità

²²³ e l'ampiezza del controllo compositivo che l'architetto mantiene, a definire i criteri con cui sarà possibile misurare l'autorialità. L'autorialità, in questo contesto, non è una proprietà binaria ma un gradiente che si misura in funzione della quantità e della qualità delle scelte compositive che l'architetto riesce a mantenere all'interno del processo ibrido.

Il processo progettuale si configura quindi come un'ibridazione tra il combinatorio e il compositivo, dove la macchina esplora lo spazio delle possibilità attraverso la sua natura probabilistica ancorata ai dataset, mentre l'uomo esercita la sua capacità compositiva in quelle azioni specifiche che i dataset stessi, nella loro diversità, gli riservano come dominio esclusivo di decisione e responsabilità.

Imitazione Latente

uomo	+	modello generativo	
			
approccio compositivo		approccio combinatorio	
.costruzione prompt		.dataset chiuso	AI GLOBALE
.costruzione dataset simbolico		.dataset collettivo	AI PLANETARIA
.costruzione dataset privato		.dataset aperto	AI OPEN SOURCE



PARTE TRE

LA TERZA
SVOLTA
DIGITALE

3.1

STS - SPATIAL TECHNOLOGY STACK

3.1.1

227

IL PROGETTISTA COME COMPOSITORE DI STACK

PARTE TRE

L'architetto e il progetto architettonico operano entro una sfera di possibilità definita dagli strumenti e dalle tecnologie che ciascuna epoca mette a disposizione. Per cogliere la profondità di questo legame è sufficiente considerare l'impatto che innovazioni come l'invenzione della stampa o la codificazione della prospettiva hanno esercitato sulla pratica progettuale, trasformazioni che non si sono limitate a modificare soltanto le tecniche di rappresentazione ma che hanno ridefinito il modo stesso di concepire lo spazio e il progetto. Ogni progresso tecnologico e culturale ha così contribuito a ridisegnare l'identità professionale dell'architetto, come se la figura del progettista fosse un organismo in perenne evoluzione che si trasforma insieme ai propri strumenti. L'avvento dell'intelligenza artificiale si iscrive in questa lunga genealogia come una nuova fase di tale processo. Questo particolare aspetto che caratterizza la pratica architettonica, reso ancora più rapido e instabile dalle tecnologie digitali, rappresenta la nascita di una specie cognitiva che Randy Deutsch chiama Superusers.¹ Progettisti che sanno leggere e scrivere codice, costruire strumenti oltre che edifici, passare dalla complessità all'immediatezza affidandosi a script, parametri, simulazioni, infrastrutture cloud e visualizzazione di dati.

²³⁰ Figure ibride, nate dall'incrocio tra creatività progettuale e logica computazionale. La tecnologia che avanza non sottrae competenze, ne genera di nuove. Molti architetti intervistati nel libro raccontano un'esperienza simile, quasi un ritmo evolutivo imposto dalla professione stessa. Ogni pochi anni occorre ricostruire il proprio repertorio di abilità, abbandonare ciò che si è appreso e fare spazio a strumenti e linguaggi inediti. È un movimento continuo che richiama la selezione naturale e che viene accelerato dalla velocità del mondo digitale. E mentre alcuni temono che l'automazione possa sostituire il progettista, altri vi riconoscono l'occasione di liberarlo dal peso delle mansioni ripetitive, restituendogli la possibilità di dedicarsi a questioni di carattere progettuale. In questo scenario il confine tra architetto e tecnologo sfuma, e la progettazione diventa un ecosistema di saperi in continua espansione, la professione non si restringe ma si ramifica.

Secondo Mario Carpo, la diffusione delle tecnologie digitali in architettura si articola in due fasi distinte. La prima,² quella degli anni Novanta, vede gli architetti impiegare computer sempre più potenti come strumenti di rappresentazione per fare ciò che avevano sempre fatto ma in modo più rapido e preciso. Le superfici spline, le forme continue e la mass customization erano la manifestazione visibile di questa fase, un periodo in cui si applicava la vecchia scienza con nuove macchine. Infatti, nonostante la nascita di nuovi strumenti come il CAD, il progetto architettonico ha conservato quella dimensione allografica³ introdotta da Alberti, secondo cui il progetto diventa annotazione e l'edificio la sua copia identica.⁴

Poi, lentamente e quasi inavvertitamente, le macchine hanno iniziato a elaborare soluzioni autonomamente. È qui che prende forma quella che Carpo definisce la seconda svolta digitale,⁵ un'epoca che non si fonda più sulle regole dell'astrazione umana, ma sulla capacità computazionale di esplorare quantità di dati inaccessibili a qualsiasi mente biologica. È l'avvento della logica del "search, don't sort", motto che riassume una profonda differenza tra uomini e macchine,

231 con i primi che fondano l'azione su una comprensione basata sull'ordine e i secondi che invece possono cercare senza ordinare. Questo nuovo modo di interrogare il mondo diventa possibile grazie all'abbondanza informativa messa a disposizione dall'epoca in cui viviamo. Per millenni infatti, le civiltà hanno dovuto fare esattamente l'opposto, ovvero comprimere le informazioni, dato che i mezzi per conservarle erano costosi e lenti. Oggi quel vincolo è venuto meno, e con esso crolla parte dell'architettura mentale che ha sostenuto la modernità. I motori di ricerca setacciano il web senza modelli preliminari, un comportamento impensabile per un ricercatore umano, costretto a classificare e semplificare prima di cercare.⁶ Le tecnologie di scansione e stampa tridimensionale raccontano una storia ancora più radicale. Basti pensare a Gehry, che attraverso la digitalizzazione dei propri modelli fisici, è riuscito a fabbricare forme fino a quel momento inconcepibili.⁷ Queste sperimentazioni hanno generato un intero ecosistema tecnologico fatto di scanner accessibili, cabine fotografiche tridimensionali e nuvole di punti capaci di catturare il mondo senza passare dalle immagini. La stessa logica si ritrova nei modelli generativi studiati da Stephen Wolfram, espressione di una scienza che non deriva più da principi generali, ma dall'esplorazione iterativa di possibilità. È un territorio in cui i computer non imitano la mente umana, ma ne superano i confini, e dove i risultati emergono senza poter essere previsti né dedotti. Di fronte a questa trasformazione, anche il ruolo dell'architetto muta. Non è più un autore solitario che impone una forma dall'alto, ma un interprete di processi, dati e intelligenze non umane che concorrono a plasmare il progetto. Oggi le AI generative, dai diffusion model ai large language model, rappresentano un nuovo stadio di questa rivoluzione. Se la prima svolta digitale aveva accelerato i processi tradizionali e la seconda aveva inaugurato l'era della ricerca senza classificazione, questa terza svolta introduce una trasformazione più profonda. Non si

²³² tratta più soltanto di usare strumenti o di interrogare grandi quantità di dati, ma di costruire relazioni operative tra il progettista, i suoi materiali intellettuali e le intelligenze artificiali.

La sfida per l'architetto contemporaneo consiste nello sviluppare tecniche e metodologie capaci di far dialogare i propri dataset con i modelli di AI. Non basta più saper usare un software o gestire un flusso di lavoro consolidato. Occorre progettare l'interazione stessa, definire quali informazioni alimentano il modello, in quale forma, con quali obiettivi. Il progetto, in altre parole, inizia a includere la costruzione degli strumenti con cui verrà elaborato.

Da questa condizione emerge una figura inedita, quella dell'architetto come compositore di stack. Il termine, preso in prestito dal mondo dell'ingegneria informatica, descrive un insieme di tecnologie organizzate in livelli sovrapposti, ciascuno dei quali svolge una funzione specifica e comunica con gli altri attraverso interfacce definite. Uno stack può comprendere database, ambienti di elaborazione, modelli di linguaggio, strumenti di visualizzazione e sistemi di output, tutti coordinati per produrre un risultato che nessuno di essi potrebbe raggiungere isolatamente.

Nella pratica informatica, la composizione di uno stack è un atto progettuale a tutti gli effetti. Significa scegliere quali componenti includere, come farli interagire, dove collocare i punti di intervento umano. È un lavoro di orchestrazione che richiede una visione d'insieme e una comprensione delle potenzialità e dei limiti di ogni elemento. Per l'architetto, appropriarsi di questa logica significa riconoscere che il progetto non nasce più da un singolo gesto autoriale, ma dalla configurazione sapiente di un sistema di strumenti che collaborano secondo regole stabilite dal progettista stesso.

L'obiettivo di questa composizione non è puramente tecnico, ma strategico. Assemblare uno stack significa costruire workflow inediti, flussi di lavoro capaci di sfruttare le potenzialità specifiche dell'intelligenza artificiale. Non si tratta di automatizzare procedure

233 esistenti, ma di immaginare processi che prima non erano possibili, percorsi progettuali in cui l'AI interviene come interlocutore attivo, capace di generare, suggerire, verificare e trasformare.

Tra le tecniche che rendono possibile questa interazione, due meritano particolare attenzione. La prima è il Retrieval-Augmented Generation,⁸ comunemente abbreviato in RAG. Questo approccio consente di arricchire le risposte di un modello di linguaggio attingendo a una base di conoscenza esterna, un archivio di documenti, disegni, specifiche tecniche o riferimenti progettuali che il modello consulta nel momento in cui genera una risposta. Per l'architetto, il RAG apre la possibilità di interrogare il proprio repertorio in modo conversazionale, ottenendo sintesi, confronti e suggerimenti fondati su materiali accumulati nel tempo.

La seconda tecnica, più radicale nelle sue implicazioni, è il fine tuning.⁹ Se il RAG permette di consultare una base di conoscenza esterna al momento della generazione, il fine tuning interviene a un livello più profondo, andando a modificare la configurazione stessa del modello, ricalibrandone i parametri sulla base di un dataset specifico.

Per comprendere questa distinzione occorre richiamare brevemente il funzionamento dei modelli di linguaggio. Un large language model come GPT o Claude viene inizialmente addestrato su enormi quantità di testo, attraverso un processo chiamato pre-training. In questa fase, il modello apprende strutture linguistiche generali, relazioni semantiche e una vasta gamma di conoscenze implicite. Il risultato è un sistema capace di generare testo coerente, ma privo di specializzazione. Il fine tuning interviene successivamente, sottoponendo il modello pre-addestrato a un ulteriore ciclo di apprendimento su un corpus più ristretto e mirato. Come osservano nel paper che introduce la tecnica LoRA,⁹ questo approccio consente di adattare modelli con miliardi di parametri utilizzando risorse computazionali significativamente ridotte, poiché non richiede di riaddestrare l'intera rete neurale ma solo di calibrare matrici a basso

²³⁴ rango che si sommano ai pesi originali.

In termini operativi, il fine tuning consiste nell'addestrare ulteriormente un modello già esistente affinché acquisisca familiarità con un linguaggio, uno stile o un dominio particolare. Il modello, dopo questo processo, non si limita a cercare informazioni in un archivio esterno, ma incorpora quella conoscenza nella propria struttura, restituendola in forma generativa. La differenza rispetto al RAG è sostanziale, infatti, mentre quest'ultimo aggiunge informazioni al contesto di una singola richiesta, il fine tuning altera i pesi della rete neurale, modificando stabilmente il comportamento del modello.

Questa tecnica ha trovato applicazioni decisive nell'adattamento dei modelli generativi a domini specialistici. Wei et al.,¹⁰ hanno dimostrato che modelli sottoposti a fine tuning su istruzioni esplicite acquisiscono capacità di generalizzazione superiori, riuscendo a eseguire compiti mai visti durante l'addestramento.

Per l'architetto, questa possibilità assume un significato che trascende l'ambito puramente tecnico. Il repertorio progettuale, quell'insieme di riferimenti, modelli, soluzioni tipologiche e intuizioni accumulate nel corso di una carriera, può essere convertito in dataset e utilizzato per addestrare un modello. Ciò che prima esisteva come memoria implicita, dispersa in cartelle, quaderni e ricordi, diventa materiale operativo, capace di alimentare un'intelligenza artificiale che ne eredita le tracce e le restituisce in forme nuove. Il repertorio smette di essere un archivio da consultare e diventa una matrice generativa, un patrimonio che continua a produrre anche oltre le intenzioni esplicite del suo autore.

235 NOTE

- 1 Deutsch, R. (2019). *Superusers: Design Technology Specialists and the Future of Practice*. New York: Routledge;
 - 2 Carpo, M. (2012). *The Digital Turn in Architecture: 1992–2012*. Chichester: Wiley;
 - 3 Goodman, N. (1968). *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. Indianapolis, Bobbs-Merrill;
 - 4 Evans, R. (1997). *Translations from Drawing to Building and Other Essays*. London: Architectural Association Publications;
 - 5 Carpo, M. (2017). *The Second Digital Turn: Design Beyond Intelligence*. Cambridge, MA: The MIT Press;
 - 6 Battelle, J. (2005). *The Search: How Google and Its Rivals Rewrote the Rules of Business and Transformed Our Culture*. London: Penguin Books;
 - 7 Lynn, G. (ed.) (2013). *Archaeology of the Digital. Catalogue of the Exhibition held at the Canadian Centre for Architecture, Montréal, Québec, May 2013*. Montréal: Sternberg Press;
 - 8 Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., & Wang, H. (2023). *Retrieval-Augmented Generation for Large Language Models: A Survey*. ArXiv;
 - 9 Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., & Chen, W. (2021). *LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models*;
 - 10 Howard, J., & Ruder, S. (2018). "Universal Language Model Fine-tuning for Text Classification (ULMFiT)". In *Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics* (ACL 2018), 328–339. Association for Computational Linguistics
- Stephen Wolfram, *A New Kind of Science*, Wolfram Media, 2002.

PARTE TRE

3.1.2

237

INTERVISTA

CLAUDIO

AGOSTI

OPACITÀ E
TRASPARENZA
ALGORITMICA:
È POSSIBILE O
AUSPICABILE
FARE LUCE
SULLE
BLACK BOX?

INTRO

A differenza delle grandi invenzioni del passato, che erano tangibili e visibili, gli algoritmi operano in modo opaco, nascosti dietro un complesso linguaggio matematico. In un momento storico in cui queste entità digitali non solo osservano, ma influenzano le nostre vite quotidiane la necessità di fare luce su questi meccanismi è diventata una necessità.

BIO

Claudio Agosti (vecna) nasce come hacker autodidatta nel secolo scorso, e la parte della sfida che lo affascina è come l'umanità può utilizzare la rete come strumento di liberazione e disintermediazione. Per questo, crittografia, peer to peer, aggiramento della censura e critica al potere nel digitale sono il suo pane quotidiano. Socio di "Hermes – Hacking for Human Rights". Fondatore di Tracking Exposed, un progetto nato nel 2016 come pioniere nell'analisi degli algoritmi, ha successivamente diversificato le sue attività nel 2023 dando vita a tre nuovi progetti: Makhno, AI Forensics (di cui è co-fondatore) e Reversing.Work. Quest'ultimo, dedicato al Reverse Engineering — un processo di analisi che consente di ricostruire il funzionamento interno di un sistema — ha svolto un ruolo chiave nell'avvio di un'indagine contro Foodinho, la società di food delivery tramite cui Glovo opera in Italia. L'indagine si è conclusa con l'imposizione di una sanzione di 5 milioni di euro da parte del Garante per la protezione dei dati personali italiano.

240 **FG:** Il suo interesse per gli algoritmi e il loro funzionamento è alla base di Reversing.Works e AI Forensic. Potrebbe descrivere questi due progetti, evidenziando le implicazioni che ne hanno determinato la nascita e gli obiettivi che si prefiggono di raggiungere?

CA: Sono 20 anni che ho scritto il primo articolo di critica verso il motore di ricerca Google, in cui identificavo il potere dell'azienda americana di plasmare la percezione pubblica attraverso lo studio e la manipolazione dei profili conoscitivi dei suoi utenti. All'epoca tutto questo era difficile da provare, sembrava una teoria del complotto. Ma i tempi per capire il potere che gli algoritmi hanno nell'influencare la società erano già maturi. Basti pensare che lo studio in cui si evidenzia la capacità di Facebook di giocare con le emozioni dei suoi utenti, controllando ciò che vedono, è stato pubblicato 10 anni fa. Purtroppo però, affinché questo problema iniziasse a divenire chiaro anche al di fuori della mia bolla sono stati necessari degli abusi, dei whistleblowers. Alla luce di quanto detto, l'obiettivo primario del mio lavoro è di alzare la consapevolezza. Si deve capire che non si è padroni del proprio tempo e della propria esperienza digitale. Si pensa di essere in controllo, ma non è così. L'obiettivo secondario consiste invece nel dare il potere di scelta che hanno gli algoritmi ai cittadini. L'algoritmo opera come un filtro che

seleziona le informazioni per decidere quello che deve essere visto, il nostro interesse è di spostare il controllo di questo filtro dalle aziende alle persone.

FG: La sua attività di ricerca mira a utilizzare gli algoritmi come strumento per spiegare le nuove dinamiche di potere che caratterizzano l'epoca contemporanea. Potrebbe fornirci alcuni esempi significativi di questo suo lavoro?

CA: Per rispondere a questa domanda farò riferimento a due eventi relativamente recenti. Il primo risale a Marzo 2022, quando i tiktokers russi hanno iniziato a mostrare del dissenso verso l'invasione dell'Ucraina. Come risposta, il Cremlino fece una legge che vietava l'utilizzo della parola guerra, imponendo l'utilizzo dell'espressione "operazione militare speciale." Le piattaforme della Silicon Valley si opposero a questa richiesta, mentre TikTok si comportò in maniera diversa, in accordo con una modalità operativa a noi già nota. Infatti, la moderazione dei contenuti di TikTok non è impostata globalmente, ma declinata nazione per nazione, e la moderazione (o blocco, o censura) di un determinato contenuto può avvenire in modalità più o meno subdole. Ad esempio, quando si cerca qualcosa di vietato in Italia, il sistema mostra una scritta che spiega come "quello che cerchi è vietato dalle nostre linee guida" oppure che "non c'è alcun

241 risultato". Tra le opzioni censorie di TikTok c'è anche l'inquinamento (pollution) dei risultati, attraverso la proposizione di una sfilza di video che non c'entrano nulla con l'oggetto della ricerca. Insieme all'Università di Amsterdam, abbiamo utilizzato una VPN per ingannare l'algoritmo di TikTok facendogli credere di trovarsi in diverse parti del mondo.

In questo modo abbiamo potuto studiare come con il cambiare della geolocalizzazione cambino anche i risultati ottenuti dalla ricerca di parole chiave di matrice sessuale. Lo scopo della ricerca era quello di verificare se in una particolare nazione una certa parola chiave fosse bloccata o meno, e i risultati ottenuti ci hanno permesso di osservare la presenza di tre diversi tipi di "ban" e di vari tentativi di inquinamento.

Ma torniamo all'invasione dell'Ucraina: sebbene sia facile per TikTok bloccare alcune parole chiave e quindi dimostrare ad uno stato che sta ottemperando con le sue richieste, non è possibile impedire agli utenti di cercare di aggirare i blocchi. Ad esempio, se una influencer pubblicasse un video in cui balla con un cartello con la scritta "stop alla guerra", senza utilizzare hashtag e senza menzionare la parola "guerra" nella descrizione, per TikTok sarebbe molto difficile rimuoverlo automaticamente. L'intervento avverrebbe solo dopo che il video avesse accumulato migliaia di visualizzazioni, rendendo evidente il tentativo di censura e innescando il cosiddetto

"Effetto Barbara Streisand" (cercatelo su wikipedia!). Quello che TikTok decise di fare non aveva precedenti. Frammentò la propria rete in modo geografico impedendo l'upload di video da parte dei cittadini Russi, e rendendo invisibile ogni profilo non russo. Nonostante sul piano economico questa scelta possa sembrare un suicidio, questo meccanismo ha permesso alle operazioni di influenza di diffondere i propri contenuti propagandistici a discapito degli avversari politici interni, ai quali non è stata data la stessa possibilità. Anche perché, come riportato da Motherboard, alcuni influencer sponsorizzati dal Cremlino, erano ancora in grado di caricare nuovi video sfruttando un "giro atipico". Attraverso l'utilizzo del cellulare era possibile caricare il video e salvarlo come bozza, per poi pubblicarlo tramite un computer geolocalizzato al di fuori della Russia grazie all'uso di una VPN. Questo esempio ci mostra come non sia facile né veloce spiegare il potere che gli algoritmi esercitano sulla società civile. C'è molto contesto da condividere, che poi va unito alle politiche delle diverse piattaforme. Ci sono gli effetti a lungo termine, che possiamo stimare solo con analisi di dati aggregati, ma che per essere verificati richiederebbero sondaggi individuali. Ci sono anche innumerevoli modifiche nel modo in cui queste tecnologie funzionano, che sono cambiamenti invisibili e rapidi, che magari riguardano solo una piccola percentuale di popolazione.

242 Per questi motivi, produrre indagini che colleghino l'individuale al collettivo è ancora complesso.

FG: L'opacità che caratterizza il funzionamento dei modelli di intelligenza artificiale ha portato alla nascita di un ambito di ricerca chiamato "Explainable AI" (X-AI), dedicato allo sviluppo di modelli basati su algoritmi trasparenti e comprensibili. Qual è lo stato di questa disciplina e come valuta il grado di efficienza di questi strumenti?

CA: Si sta cercando di arginare l'alta marea a mani nude e con i castelli di sabbia. Il deep learning nasce da una cultura in cui i dati sono di proprietà del più forte, e nessuna spiegazione deve essere data. L'idea che l'algoritmo è così complesso che neppure chi ci lavora può spiegarlo è stata diffusa da più di una decade, una narrazione che gioca a favore delle aziende che vedono in questa segretezza una buona ragione per non dover spiegare il loro potere e le sue diramazioni. Il deep learning, e tutta la ricerca che ne deriva tra cui i large language model, stanno dando risultati rivoluzionari, a discapito però di alcuni dei valori che l'informatica dava per scontati. La riproducibilità, per prima cosa. La certezza di avere lo stesso risultato a parità di input non c'è più. E così manca la possibilità che due persone creino lo stesso modello linguistico. Si è passati da una disciplina in cui ogni bit

era al suo posto ed il risultato poteva essere ripercorso, ad una disciplina in cui ci si deve fidare del caso. Capisco che davanti alle azioni sorprendenti di questi anni la critica possa sembrare sterile, ma questo è un cambiamento radicale rispetto al modo in cui l'informatica veniva concepita, ed è quello che dà meno garanzie.

Basti pensare a quanto successo con la ricerca sugli organismi geneticamente modificati. In passato si usava esporre i semi a mutazioni casuali usando agenti radioattivi per poi valutare soltanto a posteriori se le mutazioni ottenute andavano bene oppure no. Ora con CRISP e altri sistemi di editing del genoma, si sa dove si sta intervenendo (non si possono prevedere gli esiti, ma almeno si ha un po' di controllo). L'intelligenza artificiale sta attraversando lo stesso percorso storico. Il problema è di natura teorica, perché questi ultimi 20 anni di produzione informatica hanno abituato gli utenti/consumatori a non farsi domande. Accettare quello che succede, e al massimo spegnere e riaccendere. L'informatica è nata come disciplina che aiuta a ripensare ai problemi, a scomporli, e a rendere alcune parti risolvibili da un calcolatore. E' una differenza rispetto ai presupposti culturali e agli obiettivi iniziali che ancora faccio fatica ad accettare. I prodotti che state vedendo ora, basati su un'interazione tra utenti ed AI, sono solo una fase. L'obiettivo degli sviluppi correnti è di rendere

243 l'AI invisibile, integrarla nelle operazioni, e potenzialmente rimuovere ulteriore abilità decisionale alle persone. L'explainable AI (XAI) è una disciplina che tenta di rendere comprensibile il funzionamento dell'algoritmo a chi lo sta sviluppando. Quest'anno ho lavorato insieme a dei sindacati ed altri istituti per chiederci come adottare l'AI sul posto di lavoro. Una delle soluzioni proposte, ma difficilmente applicabile, era quella di adottare sistemi di XAI. Si è pensato di usare questi sistemi sui lavoratori intermediati, come i ciclofattorini, autisti di Uber, etc., ma dal mio punto di vista non è quella la soluzione. Per il lavoratore finale il "come funziona l'algoritmo" potrebbe anche non avere importanza, quello che conta è comprendere come organizzare il proprio tempo e le proprie risorse, e perché questo sia possibile, l'applicazione che si sta utilizzando deve prevederlo. Il principale problema è il modo in cui vengono utilizzate le applicazioni di AI. Quando non ti viene dato alcun modo per imparare, capire, controllare, ma hai solo un modo per usare lo strumento, allora sei l'ultimo esecutore di un lavoro già deciso. Il problema è politico, più che tecnologico. E questa sensibilità emerge anche quando Google decide per te, quando Facebook ti promette di darti solo materiale rilevante, etc. Che sia un language model o un sistema di antispam, la domanda che ci si deve porre è "dove sta il potere?"

PARTE TRE

3.1.3

245

IL COMPUTER COME TERMINALE

PARTE TRE

Se pur in modo velato, lontano dai riflettori dei media, lo scontro per l'egemonia tecnologia tra AI globale e AI planetaria è già in atto da tempo. Nel 2022 il mondo scopre l'intelligenza artificiale, o per meglio dire, l'AI diventa un fenomeno di massa, e questo contrasto che fino ad ora stava avvenendo sotto traccia, diventa esplicito.

Dal punto di vista mediatico la scena è stata presa dallo scontro tra le big tech e dalla loro aspirazione di controllo e di potere tipica di una visione globale del mondo. Ad essa però è stato fin da subito possibile contrapporre un fenomeno parallelo, che senza il clamore dei riflettori, lavora per creare un'alternativa. Questo fenomeno è la creazione di un'AI planetaria, riassumibile nel tentativo di costruire strumenti di AI decentralizzati sfruttando le potenzialità della tecnologia blockchain.

Come nel caso di altre sperimentazioni decentralizzate, anche nel caso dell'AI, l'assenza di un'entità centralizzata che gestisca tempi, modalità e risorse rappresenta sì il valore di questo strumento, ma al tempo stesso ne costituisce il principale limite operativo. La governance distribuita, per quanto democratica, rallenta inevitabilmente i processi decisionali e l'implementazione di innovazione, una differenza di velocità che diventa un problema

²⁴⁸ critico nel momento in cui il tuo competitor gioca allo stesso gioco ma con regole diverse, che gli permettono di essere rapido ed efficace.

Uno degli esempi più interessanti legati alla costruzione di strumenti di AI decentralizzati è sicuramente la collaborazione tra Stability AI e Render Network.¹ Stability AI è l'azienda creatrice di Stable Diffusion, uno dei principali modelli open-source per la generazione di immagini. Render Network è invece una piattaforma decentralizzata che connette artisti che necessitano di potenza computazionale per il rendering 3D con utenti disposti a mettere a disposizione le proprie GPU in cambio di compensi in criptovalute. La loro collaborazione nasce a inizio 2024 con l'intento di trovare una soluzione ad un problema ben preciso. Fino a quel momento, lo sviluppo dell'AI generativa si era basato sullo sviluppo di LLM e modelli di diffusione latente. La nascita di questi strumenti si fonda sul fatto che il web fosse pieno di immagini e testi con i quali addestrare questi modelli. Condizione che però non caratterizza i modelli 3D.

A inizio 2024, dopo il grande successo delle AI generative in grado di produrre immagini, iniziano ad essere rilasciati i primi modelli generativi 3D. Questi strumenti erano però poco efficaci per via della scarsità di materiale reperibile online. A differenza delle immagini e dei testi, i modelli 3D sono un materiale difficile da reperire sul web in quantità e qualità sufficienti per l'addestramento.

La collaborazione tra Stability AI e Render Network decide quindi di provare a risolvere questo problema costruendo dataset decentralizzati di elementi 3D. L'idea era quella di coinvolgere chi è solito creare modelli 3D, come architetti, designer, artisti digitali, per utilizzare i loro elaborati come dataset di addestramento. La procedura prevedeva la conversione del modello in un NFT in modo tale da poter remunerare chi decideva di condividere i propri file, garantendo al contempo la tracciabilità e i diritti d'autore.

Tuttavia, ad oggi, numerose aziende private, tra cui OpenAI, Google

²⁴⁹ e diverse startup specializzate, sono riuscite a rilasciare i loro modelli generativi 3D, trovando soluzioni proprietarie alla scarsità di modelli reperibili online. Al contrario, la proposta di costruire dataset decentralizzati si è arenata in mezzo a problemi tecnici, di coordinamento e di costi insostenibili.

Questo esempio è significativo per dimostrare come al momento il confronto tra AI globale e AI planetaria sia un confronto impari, che vede l'AI globale decisamente avanti. Le strutture centralizzate hanno dimostrato di poter raccogliere risorse, prendere decisioni rapide e implementare soluzioni in tempi incompatibili con i meccanismi decentralizzati.

Il predominio dell'AI globale è sintomo di come l'intelligenza artificiale si stia trasformando in un monopolio gestito da poche entità centralizzate. La natura e lo stato di questo monopolio sono rappresentati da una nuova tipologia di servizio rilasciata nel corso del 2024 e consolidatasi nel 2025: gli aggregatori.²

Gli aggregatori sono piattaforme web che semplificano l'utilizzo dell'AI generativa permettendo all'utente di creare in modo semplice e intuitivo workflow generativi complessi. Attraverso interfacce user-friendly, questi strumenti permettono di concatenare diversi modelli di intelligenza artificiale senza la necessità di competenze tecniche approfondite.

Per quanto questo meccanismo sia efficace e democratizzi apparentemente l'accesso all'AI, porta con sé due problematiche fondamentali.

La prima riguarda il fatto che queste piattaforme diventano degli amplificatori del monopolio esistente, poichè la scelta che esse offrono all'utente rimane confinata all'interno del cartello delle big tech che gestiscono questo monopolio, vedi OpenAI, Google, Anthropic o Meta. L'apparente libertà di scelta si rivela illusoria quando tutte le opzioni disponibili provengono dallo stesso ecosistema centralizzato. La seconda problematica riguarda il grado di astrazione di queste piattaforme. Il processo generativo viene

²⁵⁰ estremamente semplificato e reso ancora più opaco, portando ad un utilizzo del tutto inconsapevole dello strumento generativo, in cui l'architetto si trasforma in un utente che ottiene i risultati desiderati senza però comprendere i meccanismi, i bias, le limitazioni e le logiche che li hanno prodotti.

Questo secondo punto mette in evidenza un'ulteriore problematica dell'AI globale, ovvero la sua inconsistenza e mancanza di trasparenza, il suo tentativo di inserirsi in azioni e processi decisionali rimanendo nascosta, come un'infrastruttura invisibile che media la nostra relazione con gli strumenti digitali senza che ce ne accorgiamo.

L'avvento degli aggregatori porta con sé un'ulteriore tematica legata alla trasformazione del computer in un terminale, ovvero nell'ultima componente di un processo che avviene altrove, nei server delle big tech, secondo logiche e algoritmi inaccessibili. Se il computer diventa un terminale, l'architetto diventa un utente, al quale non è permesso prendere parte consapevolmente al processo generativo, ma semplicemente di usufruire di un meccanismo compositivo gestito da altri. L'eccezionalità di questa condizione diventa ancora più evidente se messa a confronto con i primi dispositivi messi a disposizione dalla rivoluzione digitale. Un esempio eclatante è il programma Sketchpad³ sviluppato da Ivan Sutherland, la prima interfaccia grafica interattiva della storia, che nonostante abbia introdotto innovazioni come i vincoli geometrici o le istanze di oggetti, è riuscita a preservare la sua logica rappresentativa, andando a considerare il computer come una semplice superficie su cui disegnare.

Come illustrato nei capitoli precedenti, Mario Carpo individua nelle tecnologie digitali due tematiche operative fondamentali, la variazione e la partecipazione.⁴ Queste stesse tematiche caratterizzano il funzionamento dell'intelligenza artificiale, all'interno della quale acquisiscono tuttavia un valore inedito e per certi versi radicalmente diverso.

²⁵¹ Nell'architettura computazionale e parametrica, la variazione era riconducibile all'indeterminatezza intrinseca dell'objectile, il modello matematico continuo teorizzato da Bernard Cache e ripreso da Carpo, ovvero alla capacità di un singolo oggetto-matrice di generare una serie potenzialmente infinita di varianti differenziate. Nei modelli di intelligenza artificiale generativa, invece, la variazione non è più una proprietà nascosta di un oggetto parametrico, ma il principio costitutivo del processo stesso di generazione, poiché ogni output è il risultato di una selezione probabilistica operata all'interno di uno spazio di possibilità definito dai contenuti del dataset di addestramento.

Questa trasformazione del concetto di variazione non è priva di conseguenze estetiche e culturali. Lev Manovich,⁵ individua proprio nella variabilità estetica il nodo critico attorno al quale ruota l'intero dibattito sull'integrazione dell'intelligenza artificiale nella produzione culturale. Da un lato i modelli generativi possono essere programmati per suggerire contenuti già popolari tra la maggioranza degli utenti, innescando così una progressiva omologazione estetica; dall'altro, gli stessi sistemi possono essere orientati a esporre gli utenti a contenuti che non avrebbero trovato autonomamente, ampliando di fatto lo spazio della variazione. La questione quindi non è risolta, ma dipende strutturalmente dalle scelte di programmazione e dal processo di addestramento del modello.

La declinazione del tema della partecipazione in chiave AI riconduce invece inevitabilmente alla distinzione tra dataset chiusi, proprietari e controllati, e dataset collettivi, riattivando così il dibattito sul diverso grado di partecipazione che contraddistingue le varie tipologie di modelli generativi. Tale distinzione non è secondaria, poiché in un sistema che produce contenuti attraverso la variazione iterativa di una stessa matrice, la progressiva esclusione del contributo collettivo non rappresenta soltanto una questione etica, ma un rischio strutturale che compromette la diversità e la ricchezza dello spazio di variazione stesso.

²⁵² La trasformazione dell'architetto in un semplice utente di un processo in gran parte già predefinito, non è soltanto una questione di natura semantica, ma è qualcosa di più profondo. L'architetto, storicamente figura che domina gli strumenti del proprio mestiere comprendendone logiche e limiti, viene progressivamente ridotto a consumatore di output generati da sistemi che non controlla e non comprende. La competenza tecnica viene sostituita dalla capacità di navigare interfacce semplificate, e il pensiero critico sul mezzo cede il passo all'accettazione passiva dei risultati proposti dall'algoritmo. Il rischio è che questa configurazione dell'AI, globale, centralizzata e opaca, non solo concentri il potere tecnologico in poche mani, ma eroda progressivamente le competenze e l'autonomia professionale di chi dovrebbe utilizzare questi strumenti come supporto, non come sostituto, del proprio processo creativo e decisionale.

253 NOTE

- 1 Render Network. (2024, 27 marzo). *Announcing RNP-011: Piwa — Creating Millions of 3D Training Assets*. Mediumpaper render network; paper floor o weavy;
- 2 Li, X., Li, T., Yan, L., Li, Y., Zhao, L., Raković, M., Molenaar, I., Gašević, D., & Fan, Y. (2025). *FLoRA: An Advanced AI-Powered Engine to Facilitate Hybrid Human-AI Regulated Learning*. ArXiv;
- 3 Sutherland, I. E. (1963). *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology;
- 4 Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 5 Manovich, L. (2018). *Ai Aesthetics*. Cambridge, MA: MIT Press;

PARTE TRE

3.2

LE IMMAGINI

3.2.1

257

LA

GENERAZIONE DI IMMAGINI

PARTE TRE

Il grado di sviluppo raggiunto dagli attuali modelli di intelligenza artificiale generativa è tale da permettere a questi strumenti di generare rappresentazioni architettoniche che risultano coerenti dal punto di vista formale e stilistico, trasformando radicalmente i metodi di visualizzazione nell'architettura contemporanea e offrendo strumenti che vanno oltre la semplice automazione per introdurre nuove modalità di esplorazione progettuale che ridefiniscono il rapporto tra architetto e processo creativo.

Nel panorama attuale delle tecnologie generative, i modelli di diffusione latente si sono dimostrati le soluzioni più efficaci per la generazione di immagini architettoniche, distinguendosi per la loro capacità di interpretare descrizioni testuali complesse e tradurle in rappresentazioni visive coerenti che mantengono una notevole qualità formale. Tra questi strumenti, Midjourney¹ e Stable Diffusion² rappresentano riferimenti consolidati che hanno conquistato una posizione di primo piano nella comunità degli architetti e dei designer, grazie alle loro prestazioni nella gestione della complessità compositiva tipica delle rappresentazioni architettoniche. Più recentemente, il rilascio di Nano Banana³ da parte di Google ha introdotto nel panorama dell'intelligenza artificiale generativa

²⁶⁰ un'architettura completamente nuova che si discosta dai tradizionali meccanismi di diffusione, proponendo approcci alternativi che promettono prestazioni superiori in specifici ambiti applicativi. Dal punto di vista tecnico, Midjourney opera attraverso un modello di diffusione latente proprietario che è stato specificamente ottimizzato per la generazione di immagini caratterizzate da un'elevata qualità estetica, risultato di un addestramento condotto su dataset particolarmente curati.⁴ Il processo generativo inizia con la conversione del prompt testuale in vettori semantici ad alta dimensionalità mediante un transformer linguistico sofisticato, capace di catturare non solo il significato letterale delle parole ma anche le relazioni semantiche complesse tra i diversi termini architettonici utilizzati nella descrizione. Questi vettori semantici guidano poi il processo di denoising progressivo che trasforma gradualmente rumore casuale in un'immagine sempre più definita e coerente, attraverso una serie di passaggi iterativi in cui il modello raffina continuamente la propria predizione dell'immagine finale. Il modello lavora nello spazio latente, una rappresentazione matematicamente compressa delle immagini che permette di operare su dimensioni ridotte rispetto all'immagine finale ad alta risoluzione, rendendo l'intero processo computazionalmente molto più efficiente senza sacrificare la qualità del risultato. Le versioni più recenti di Midjourney hanno introdotto meccanismi di attenzione avanzati particolarmente efficaci nell'interpretare prompt architettonici complessi che includono simultaneamente riferimenti stilistici a movimenti storici, specificazioni materiche dettagliate e descrizioni precise delle condizioni di illuminazione ambientale, permettendo così di generare immagini che rispondono accuratamente a richieste progettuali articolate.

Stable Diffusion,⁵ sviluppato da Stability AI in collaborazione con ricercatori dell'Università Ludwig Maximilian di Monaco, rappresenta invece un'alternativa open source ai modelli proprietari e si basa sull'architettura dei Latent Diffusion Models, distinguendosi per

²⁶¹ la possibilità di essere eseguito localmente e per il controllo totale che offre sull'intero processo generativo. La vera distinzione di Stable Diffusion rispetto agli altri strumenti risiede nella capacità di sottoporre modelli pre addestrati a processi di fine tuning. Attraverso diverse tecniche di addestramento diventa perciò possibile adattare il modello a domini applicativi specifici senza dover ricorrere al costoso e complesso addestramento completo di un nuovo modello da zero.

Nano Banana⁶ introduce invece un'architettura radicalmente diversa basata su transformer gerarchici con meccanismi di attenzione efficiente che permettono di gestire sequenze di token molto lunghe mantenendo la complessità computazionale sotto controllo. A differenza dei modelli di diffusione che operano attraverso un processo iterativo di denoising graduale, Nano Banana utilizza un approccio autoregressivo modificato che genera le immagini in passaggi discreti ben definiti, partendo da una rappresentazione a bassa risoluzione che cattura la composizione generale e raffinandola progressivamente attraverso l'aggiunta di dettagli a risoluzioni sempre più elevate. Questa strategia generativa multiscala riduce drasticamente i tempi di inferenza rispetto ai modelli di diffusione tradizionali, permettendo di produrre generazioni ad alta risoluzione in pochi secondi anziché nei minuti tipicamente richiesti da altri approcci, un vantaggio decisivo quando si lavora in contesti che richiedono iterazioni progettuali rapide e frequenti. Il sistema utilizza una tokenizzazione visiva particolarmente avanzata che rappresenta le immagini come sequenze di token discreti ad alta fedeltà, generati da un transformer profondamente condizionato sia sul testo descrittivo che su eventuali input visivi di riferimento forniti dall'utente. Un aspetto particolarmente innovativo dell'architettura è il sistema di conditioning gerarchico che permette di specificare vincoli generativi a diversi livelli di astrazione e dettaglio, rendendo possibile fornire simultaneamente uno schizzo approssimativo della composizione spaziale generale, specificare attraverso il testo

²⁶² i materiali e le finiture desiderate, e definire mediante parametri numerici le condizioni precise di illuminazione ambientale, con il modello che integra tutte queste informazioni eterogenee in modo sorprendentemente coerente per produrre risultati che rispettano simultaneamente tutti i vincoli specificati.

Le sperimentazioni empiriche condotte nell'ambito di questa ricerca hanno permesso di identificare con precisione i punti di forza specifici di ciascuno strumento attraverso test sistematici che hanno esplorato diverse tipologie di task architettoniche, dalla generazione di concept iniziali fino alla produzione di visualizzazioni tecniche dettagliate.

Midjourney risulta essere lo strumento più efficace per esplorare soluzioni architettoniche attraverso la costruzione attenta di prompt testuali articolati, dimostrando una sensibilità particolare alle descrizioni del contesto e ai riferimenti, sia di tipo stilistico che di oggetti o elementi che appartengono ad un dominio diverso da quello dell'architettura, caratteristica che lo rende ideale per le fasi iniziali dello sviluppo di concept progettuali, quando l'architetto sta ancora cercando di definire l'identità generale del progetto.

Funzionalità avanzate come il sistema di pesi dei prompt, che permette di assegnare importanza relativa a diversi elementi della descrizione, e i parametri di stilizzazione, che controllano il bilanciamento tra aderenza letterale al testo e libertà interpretativa del modello, offrono un livello di controllo particolarmente raffinato sul processo generativo che si rivela fondamentale quando si cerca di guidare l'esplorazione mantenendo un equilibrio delicato tra specificità delle intenzioni progettuali e apertura verso soluzioni inattese.

Stable Diffusion offre invece il massimo livello di controllo e manipolazione possibile del processo generativo grazie alla sua natura completamente open source e alla possibilità concreta di effettuare fine tuning su modelli pre addestrati utilizzando dataset personalizzati che racchiudono un sistema specifico di riferimenti. La

263 possibilità di addestrare il modello su dataset personali contenenti il repertorio progettuale di un architetto trasforma radicalmente la natura dello strumento da generatore generico a collaboratore digitale che ha interiorizzato una specifica sensibilità progettuale. L'ecosistema particolarmente vivace che si è sviluppato attorno alla natura open source dello strumento favorisce continuamente lo sviluppo di nuove estensioni e integrazioni che ampliano costantemente le capacità applicative del sistema, rendendo Stable Diffusion una piattaforma in continua evoluzione.

Nano Banana emerge invece dalle sperimentazioni come lo strumento più rapido e preciso nell'apprendimento immediato di riferimenti visuali puntuali e nell'applicazione rigorosa di vincoli generativi specifici forniti dall'utente. La sua architettura, profondamente ottimizzata per scenari di few-shot learning, dove il modello deve apprendere rapidamente da pochissimi esempi, lo rende particolarmente adatto per la renderizzazione istantanea di schizzi concettuali approssimativi o screenshot preliminari di modelli tridimensionali di lavoro.

La scelta strategica dello strumento più appropriato dipende quindi in modo determinante dalla specifica fase del processo progettuale in cui ci si trova e dagli obiettivi concreti dell'attività di visualizzazione che si intende condurre. Midjourney eccelle particolarmente nell'esplorazione concettuale libera e aperta, quando l'obiettivo principale è generare una vasta gamma di alternative progettuali diverse per identificare soluzioni promettenti che meritano ulteriore sviluppo. Stable Diffusion diventa invece indispensabile quando è necessario esercitare un controllo molto fine e dettagliato sul processo generativo o quando si vuole sviluppare un linguaggio visivo profondamente personalizzato attraverso il fine tuning sistematico su dataset proprietari. Nano Banana si configura infine come la soluzione decisamente ottimale per la produzione estremamente rapida di visualizzazioni che devono aderire strettamente a riferimenti stilistici molto specifici, risultando

PARTE TRE

²⁶⁴ particolarmente utile nelle fasi operative di rappresentazione e nelle presentazioni dove la velocità di produzione delle immagini diventa un requisito fondamentale.

265 NOTE

1 Midjourney è un modello di AI generativa basato su diffusione testuale (text-to-image) che consente di creare immagini a partire da prompt testuali. Si distingue per la qualità estetica e per l'orientamento creativo delle immagini prodotte, spesso utilizzato in ambito artistico e di design;

2 Stable Diffusion è un modello di generazione di immagini open-source basato su diffusion models, che utilizza reti neurali profonde per trasformare rumore casuale in immagini coerenti secondo un prompt testuale. È progettato per essere flessibile, estensibile e utilizzabile anche localmente;

3 Nanobanana è un modello AI generativo specializzato nella creazione di modelli 3D o asset digitali di piccola scala per simulazioni, design e addestramento di algoritmi di machine learning 3D. È sviluppato principalmente come tool per generare grandi dataset di training sintetici;

4 Midjourney. (2026). *Midjourney: AI Image Generation Platform*;

5 Rombach, R., Blattmann, A., Lorenz, D., Esser, P., & Ommer, B. (2022). *High-Resolution Image Synthesis with Latent Diffusion Models*. ArXiv;

6 NanoBanana AI. (2025). *NanoBanana: AI Image Generation and Editing Platform*.

PARTE TRE

3.2.2

267

IL FINE TUNING DI UN MODELLO GENERATIVO

PARTE TRE

I risvolti pratici più significativi della ricerca si articolano principalmente attorno all'applicazione di Stable Diffusion, con un focus specifico e dettagliato sulla possibilità concreta di procedere con il fine tuning sistematico di modelli pre addestrati per adattarli a domini applicativi specifici e linguaggi progettuali personalizzati. Questa capacità di specializzazione trasforma radicalmente la natura dello strumento da modello generico di uso generale a sistema generativo altamente specializzato, profondamente capace di incorporare e riprodurre le caratteristiche distintive e le peculiarità stilistiche di specifici approcci progettuali individuali.

La tecnica computazionale che rende effettivamente possibile e operativamente agevole questo intero processo di specializzazione prende il nome di LoRA, acronimo che sta per Low Rank Adaptation,¹ un metodo innovativo introdotto in un paper del 2021 inizialmente nel contesto dei modelli linguistici di grandi dimensioni e successivamente adattato con notevole successo ai modelli di diffusione per la generazione di immagini. Questa tecnica rappresenta una vera e propria innovazione metodologica che ha sostanzialmente democratizzato l'accesso al fine tuning di modelli generativi estremamente complessi, rendendolo accessibile

²⁷⁰ anche a utilizzatori che non dispongono di risorse computazionali particolarmente avanzate o di competenze tecniche specialistiche in deep learning.

Il principio teorico fondamentale su cui si basa questa tecnica deriva dall'osservazione, empiricamente validata, che gli aggiornamenti ai pesi della rete neurale che risultano necessari durante il fine tuning possono essere efficacemente rappresentati e approssimati attraverso matrici di rango matematico ridotto, sfruttando la struttura intrinseca degli spazi di rappresentazione appresi dai modelli pre addestrati. In altre parole, invece di aggiornare direttamente tutte le matrici dei pesi della rete durante l'addestramento, cosa che richiederebbe di memorizzare e ottimizzare milioni o miliardi di parametri, LoRA decompone strategicamente questi aggiornamenti necessari in prodotti di matrici di dimensioni molto più contenute che catturano comunque le trasformazioni essenziali. L'importanza fondamentale di questo strumento tecnico per la pratica architettonica contemporanea risiede nella possibilità di convertire sistematicamente il repertorio progettuale di un architetto in un dataset di addestramento strutturato, generando così una forma di collaborazione profondamente nuova e qualitativamente diversa tra il progettista umano e gli algoritmi generativi. Il modello risultante dal processo di fine tuning non genera più semplicemente immagini architettoniche generiche che rispondono a descrizioni testuali standard, ma produce invece proposte visuali che riflettono in modo sorprendentemente fedele l'interpretazione specifica e personale che quel particolare architetto darebbe a determinati temi progettuali, incorporando le sue preferenze compositive. Una volta completato l'addestramento, il modello agisce come una sorta di estensione digitale della sensibilità progettuale dell'architetto, capace di generare variazioni e sviluppi che rimangono profondamente coerenti con il suo approccio consolidato ma che possono esplorare territori potenzialmente al di fuori dei percorsi che l'architetto stesso avrebbe seguito consapevolmente o esplorato intuitivamente,

271 creando così uno spazio di interazione creativa particolarmente fecondo.

La costruzione completa di un LoRA model avviene per fasi operative. La prima decisione da prendere riguarda la selezione accurata del modello pre addestrato su cui si intende effettuare il fine tuning, una scelta tutt'altro che banale poiché il modello base determina essenzialmente le capacità fondamentali, i bias intrinseci e le caratteristiche generative di partenza del sistema risultante. Stable Diffusion è attualmente disponibile in diverse versioni successive che riflettono l'evoluzione continua della ricerca. Le versioni più recenti producono generalmente immagini di qualità estetica e coerenza compositiva superiore e dimostrano una comprensione più sofisticata e accurata del linguaggio naturale nei prompt, ma richiedono in contropartita risorse computazionali significativamente maggiori sia durante la fase di addestramento del LoRA che durante l'utilizzo successivo in fase di inferenza.

La seconda fase riguarda la selezione dei riferimenti architettonici. Per ogni progetto dovranno essere selezionate una serie di immagini ad alta risoluzione che andranno a comporre il dataset di addestramento. Per un architetto questo significa operare una curatela volta a selezionare, caso per caso, i riferimenti che reputa idonei ad uno specifico contesto progettuale. Il giusto dimensionamento del dataset è un criterio fondamentale per poter ottenere uno strumento preciso ed efficace. Dataset molto grandi contenenti numerosi riferimenti progettuali, potenzialmente applicabili in diverse circostanze, portano a risultati discreti, in cui la grande mole di informazioni tende a mischiarsi compromettendo l'efficacia del modello. Motivo per cui, la soluzione migliore risulta essere la costruzione di piccoli dataset specifici costruiti ad hoc per ogni singola casistica.

Successivamente diventa necessario sistemare accuratamente il formato delle immagini selezionate per renderle compatibili con i requisiti tecnici specifici del modello che si intende utilizzare. I

²⁷² diversi modelli Stable Diffusion tipicamente richiedono immagini quadrate o comunque con rapporti d'aspetto molto specifici determinati dalla loro architettura interna. Preparare correttamente le immagini alla risoluzione appropriata evita la comparsa di artefatti visivi indesiderati dovuti a ridimensionamenti automatici effettuati durante l'addestramento che potrebbero degradare la qualità dell'apprendimento. Risulta inoltre spesso molto utile applicare strategicamente tecniche di data augmentation per aumentare artificialmente la varietà effettiva del dataset di partenza, includendo trasformazioni come rotazioni geometriche lievi, rispecchiamenti orizzontali quando semanticamente appropriati, variazioni controllate di luminosità e contrasto che simulano diverse condizioni di illuminazione, e crop diversificati della stessa immagine che ne enfatizzano aspetti compositivi differenti.

Il processo di etichettatura delle immagini, che in ambito tecnico viene indicato con il termine labeling, rappresenta una fase fondamentale dell'intero workflow. Questo processo viene svolto con l'intento esplicito di semplificare e guidare il processo di apprendimento del modello, fornendogli indicazioni testuali esplicite su quali caratteristiche visive dovrebbe focalizzarsi e come dovrebbe interpretare il contenuto semantico delle immagini. Attraverso le etichette testuali accuratamente costruite è possibile evidenziare in modo esplicito alcuni tratti particolarmente significativi dell'immagine in questione con lo scopo ultimo di estrapolare e rendere esplicite informazioni compositive specifiche, scelte progettuali consapevoli e relazioni spaziali significative dal riferimento progettuale scelto.

Una volta concluso il processo di costruzione del dataset, si procede con la configurazione attenta dei parametri tecnici di addestramento che controllano il comportamento del processo di ottimizzazione. Tra le decine di parametri che regolano il processo di addestramento, alcuni, come il "learning rate" e l' "epoch", ricoprono un ruolo centrale nella buona riuscita dell'addestramento.

273 Il learning rate, ad esempio, determina la velocità con cui i pesi della rete vengono aggiornati durante l'ottimizzazione, mentre il numero di epoche di addestramento stabilisce quante volte l'intero dataset viene processato completamente. Il learning rate rappresenta probabilmente il singolo parametro più critico da calibrare con attenzione poiché valori eccessivamente elevati possono facilmente portare a instabilità drammatica nell'addestramento con il rischio concreto che il modello "dimentichi" completamente le capacità generali del modello base originale, mentre valori eccessivamente bassi risultano in un addestramento poco efficace. Il numero di epoche deve essere calibrato attentamente in funzione sia della dimensione del dataset che della complessità intrinseca delle caratteristiche stilistiche che si intende far apprendere. Dataset piccoli richiedono generalmente un numero maggiore di epoche, mentre dataset più ampi e rappresentativi necessita di un minor numero di epoche. Risulta assolutamente fondamentale monitorare continuamente l'addestramento attraverso la generazione periodica e sistematica di immagini di test utilizzando prompt standardizzati per identificare con precisione il punto ottimale in cui il modello raggiunge il migliore compromesso possibile tra fedeltà allo stile target desiderato e capacità generativa flessibile, evitando sia l'underfitting dove il modello non ha ancora appreso sufficientemente le caratteristiche distintive sia l'overfitting dove ha perso la capacità di generalizzare e produrre variazioni significative. Il risultato finale di questo intero processo è un file LoRA di dimensioni tipicamente molto contenute, che può essere facilmente e rapidamente caricato insieme al relativo modello di Stable Diffusion pre addestrato, in modo da modificarne selettivamente il comportamento generativo secondo le caratteristiche apprese. Questo file relativamente compatto rappresenta essenzialmente la sintesi computazionale distillata di un intero linguaggio progettuale complesso, un artefatto digitale straordinario che codifica in forma matematica delle configurazioni compositive precise.

274 NOTE

1 Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., & Chen, W. (2021). *LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models*.

3.2.3

²⁷⁵ CASI STUDIO

PARTE TRE

Il presente comparto applicativo si propone di definire le modalità attraverso cui costruire uno stack capace di sfruttare le potenzialità generative dei modelli di diffusione latente, combinandole con le immagini che compongono il repertorio di un progettista. L'obiettivo è verificare l'effettiva capacità di manipolare il processo generativo, valutando la coerenza degli esiti in relazione ai riferimenti formali e linguistici selezionati. In questo quadro, la nozione di "manipolazione del processo generativo" è da intendersi come la possibilità di indirizzare il modello affinché integri, riconosca e restituisca, nelle immagini prodotte, tracce riconoscibili di un determinato repertorio architettonico. Non si tratta dunque di una semplice operazione tecnica, ma di un atto di mediazione tra il patrimonio culturale del progettista e le logiche inferenziali del modello.

Il percorso sperimentale prende avvio dal trasferimento al modello delle caratteristiche di una singola architettura, al fine di valutarne la capacità di recepire e rielaborare un riferimento progettuale puntuale. Questa fase preliminare non ha valore esclusivamente operativo, ma costituisce una dimostrazione di principio volta a verificare l'attitudine del modello ad apprendere e riprodurre un linguaggio architettonico definito. Tale verifica rappresenta la

²⁷⁸ condizione necessaria per programmare una successiva scalabilità del metodo.

Una volta accertata questa possibilità, diviene praticabile la costruzione di modelli LoRA basati su insiemi più ampi di riferimenti progettuali. Questa estensione consentirà di indagare se, e in quale misura, sia possibile definire tramite i modelli di diffusione veri e propri vocabolari stilistici, aprendo alla prospettiva di una generazione architettonica non imitativa in senso generico, ma fondata su criteri di coerenza autoriale e di continuità formale.

Il primo step del percorso sperimentale riguarda la verifica della possibilità di trasferire le caratteristiche compositive di un singolo edificio a un modello preaddestrato. Si tratta di una fase fondativa, il cui esito condiziona l'intera struttura metodologica successiva, poichè dimostrare che un modello è in grado di apprendere e restituire i tratti distintivi di un'architettura specifica significa stabilire le basi su cui fondare una sperimentazione più ampia e scalabile. Il processo è stato articolato secondo le modalità descritte di seguito.

METODO

- Definizione di quattro prompt differenti con cui confrontare i risultati dei processi generativi.
- Selezione di un progetto di riferimento e di 20 immagini in formato PNG, risoluzione 1024×1024 pixel.
- Confronto articolato in tre fasi:

FASE 1:

- Confronto tra i risultati generati partendo da due checkpoint preaddestrati (Epicrealism XL e FLUX) senza l'utilizzo di LoRA.

FASE 2:

- Costruzione di quattro modelli LoRA a partire da un dataset composto da 10 immagini.

279 - Due LoRA vengono addestrati sul checkpoint Epicrealism XL e due su FLUX-dev.

- Per ciascun checkpoint si realizza:

- un LoRA con immagini prive di descrizioni (GE)

- un LoRA con immagini accompagnate da descrizioni strutturate secondo lo "Standard Archea" (SA)

- I modelli LoRA costruiti sono i seguenti:

- AA_SDXL_1p-10im_GE

- AA_SDXL_1p-10im_SA

- AA_FLUX_1p-10im_GE

- AA_FLUX_1p-10im_SA

FASE 3:

A seguito delle sperimentazioni condotte all'interno del Metodo 2, verranno individuate le configurazioni operative più efficaci da applicare a nuovi processi generativi basati su modelli LoRA addestrati su un dataset ampliato, costituito da 20 immagini dello stesso progetto. Tale passaggio consente di verificare la trasferibilità e la stabilità dei risultati ottenuti nella fase precedente, valutando l'impatto dell'estensione del dataset sulla qualità e sulla coerenza degli esiti generativi.

L'ampliamento del dataset non avverrà esclusivamente attraverso immagini originali, ma incorporerà immagini sintetiche prodotte dai modelli addestrati nelle fasi precedenti. Questa strategia definisce una modalità operativa di particolare rilevanza pratica, in quanto consente di estendere dataset incompleti, ovvero relativi a progetti di cui si dispone di una documentazione fotografica limitata, sfruttando la capacità generativa dei modelli stessi per colmare le lacune del repertorio visivo di partenza.

I modelli LoRA costruiti in questa fase sono i seguenti

- AA_SDXL_1p-20im_SA

- AA_FLUX_1p-20im_SA

280 CONFIGURAZIONE PROMPT:

- La costruzione dei prompt per la generazione segue lo schema definito "Standard Archea".
- I quattro prompt differiscono per il livello di dettaglio, aggiunto in modo progressivo, pur rispettando sempre la struttura dello Standard Archea.

STANDARD ARCHEA:

- Tipologia di edificio + Destinazione d'uso
- Configurazione volumetrica
- Sistema costruttivo
- Composizione
- Materiali
- Copertura
- Punto di vista e stile rappresentazione

Casi studio

PARTE TRE

- ²⁸² Edificio residenziale progettato dallo studio Archea Associati a Tirana, utilizzato come caso studio per verificare l'efficacia del fine tuning applicato a un modello generativo pre-addestrato.

ALTANA PARK VIEW

283 RESIDENCE TIRANA



ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 1

PARTE TRE

284 CHECKPOINT: Epicrealism XL

LoRA: Disattivato

PROMPT:

1.

Arche4, Isolated Building
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor.

2.

Arche4, Isolated Building, Residence,
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed
Ground Floor,
Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big
Niches with Different Size.



1.



2.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 1

PARTE TRE

286

PROMPT:

3.

Arche4, Isolated Building, Residence, 9-story structure, Squared Shape, Homogeneous Shape, Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor, Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big Niches with Different Size, Metal Railing, Colored Concrete, Flat Roof.

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

287



3.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 1

PARTE TRE

288 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Disattivato

PROMPT:

1.

Arche4, Isolated Building
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor.

2.

Arche4, Isolated Building, Residence,
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed
Ground Floor,
Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big
Niches with Different Size.



1.



2.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 1

PARTE TRE

290

PROMPT:

3.

Arche4, Isolated Building, Residence, 9-story structure, Squared Shape, Homogeneous Shape, Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor, Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big Niches with Different Size, Metal Railing, Colored Concrete, Flat Roof.

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, Frontal view.



3.



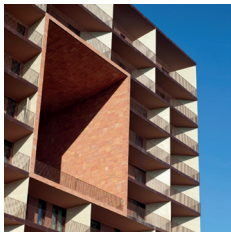
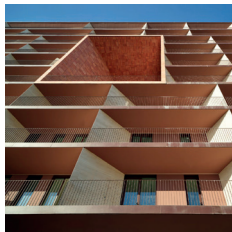
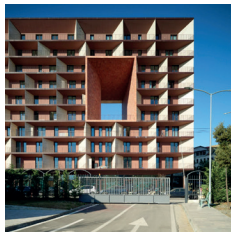
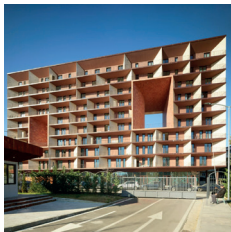
4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 2

PARTE TRE

292 DATASET: 10 immagini

293



ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 2

PARTE TRE

294 CHECKPOINT: Epicrealism XL

LoRA: Attivato

NOME MODELLO: AA-SDXL_1p_10im_GE

NUMERO IMMAGINI: 10

LABELING: Generico

PROMPT:

1.

Arche4, Isolated Building
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor.

2.

Arche4, Isolated Building, Residence,
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed
Ground Floor,
Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big
Niches with Different Size.



1.



2.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 2

PARTE TRE

296

PROMPT:

3.

Arche4, Isolated Building, Residence, 9-story structure, Squared Shape, Homogeneous Shape, Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor, Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big Niches with Different Size, Metal Railing, Colored Concrete, Flat Roof.

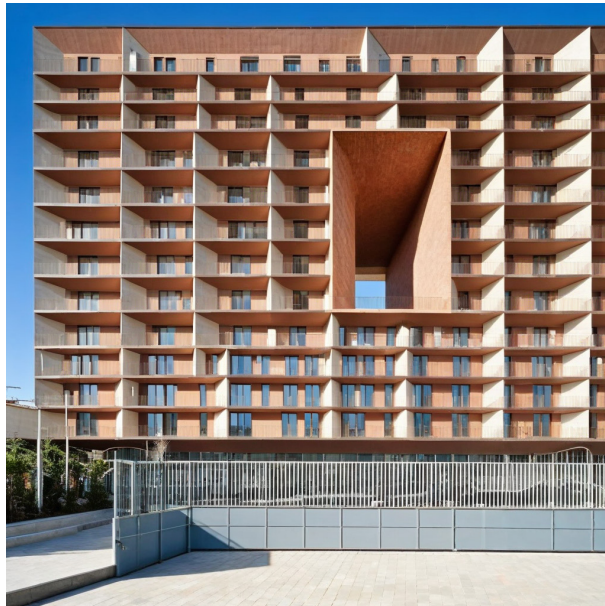
4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

297



3.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 2

PARTE TRE

298 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NOME MODELLO: AA-FLUX_1p_10im_GE

NUMERO IMMAGINI: 10

LABELING: Generico

PROMPT:

1.

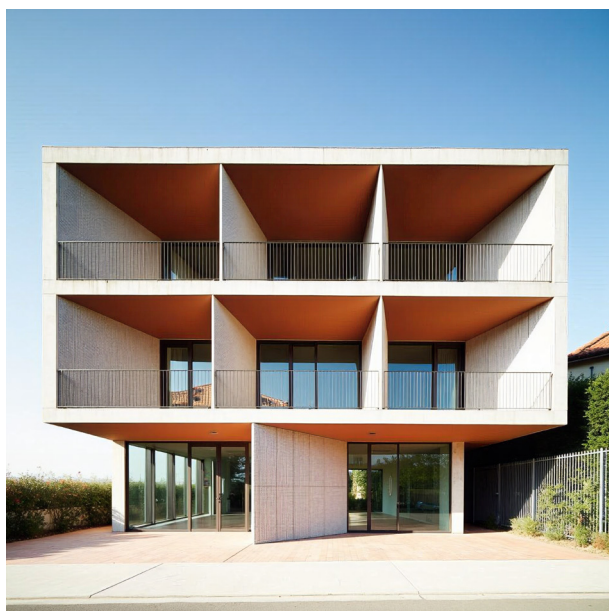
Arche4, Isolated Building
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor.

2.

Arche4, Isolated Building, Residence,
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed
Ground Floor,
Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big
Niches with Different Size.



1.



2.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 2

PARTE TRE

300

PROMPT:

3.

Arche4, Isolated Building, Residence, 9-story structure, Squared Shape, Homogeneous Shape, Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor, Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big Niches with Different Size, Metal Railing, Colored Concrete, Flat Roof.

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

301



3.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 2

PARTE TRE

302 CHECKPOINT: Epicrealism XL

LoRA: Attivato

NOME MODELLO: AA-SDXL_1p_10im_SA

NUMERO IMMAGINI: 10

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

1.

Arche4, Isolated Building
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor.

2.

Arche4, Isolated Building, Residence,
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed
Ground Floor,
Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big
Niches with Different Size.



1.



2.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 2

PARTE TRE

304

PROMPT:

3.

Arche4, Isolated Building, Residence, 9-story structure, Squared Shape, Homogeneous Shape, Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor, Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big Niches with Different Size, Metal Railing, Colored Concrete, Flat Roof.

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

305



3.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 2

PARTE TRE

306 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NOME MODELLO: AA-FLUX_1p_10im_SA

NUMERO IMMAGINI: 10

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

1.

Arche4, Isolated Building
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor.

2.

Arche4, Isolated Building, Residence,
Squared Shape, Homogeneous Shape,
Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed
Ground Floor,
Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big
Niches with Different Size.

307



1.



2.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 2

PARTE TRE

308

PROMPT:

3.

Arche4, Isolated Building, Residence, 9-story structure, Squared Shape, Homogeneous Shape, Single Technological System, Monolithic Perforated Facade, Glazed Ground Floor, Recessed Balcony with Sloped Wall, String Course Strips, Two Big Niches with Different Size, Metal Railing, Colored Concrete, Flat Roof.

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

309



3.



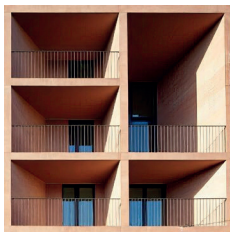
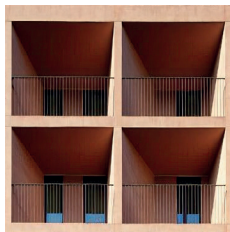
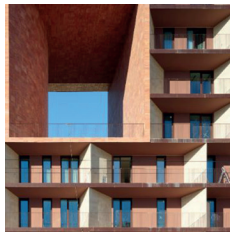
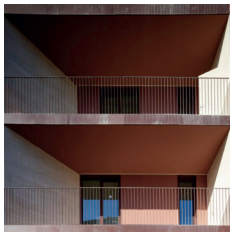
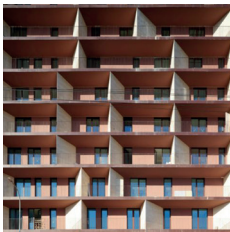
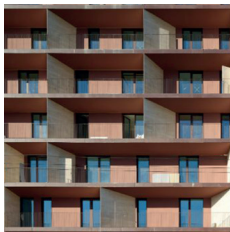
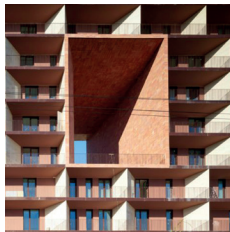
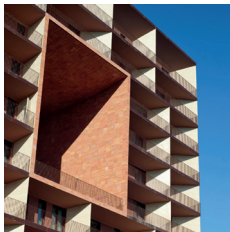
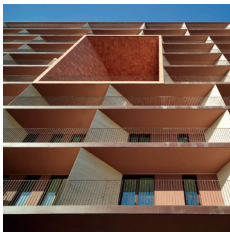
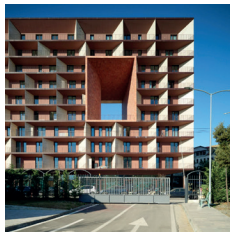
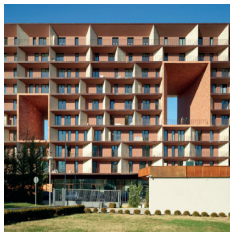
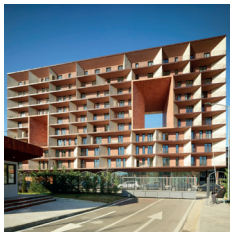
4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 3

PARTE TRE

310 DATASET: 20 immagini

311



ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 3

PARTE TRE

312 CHECKPOINT: Epicrealism XL

LoRA: Attivato

NOME MODELLO: AA-SDXL_1p_20im_SA

NUMERO IMMAGINI: 20

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

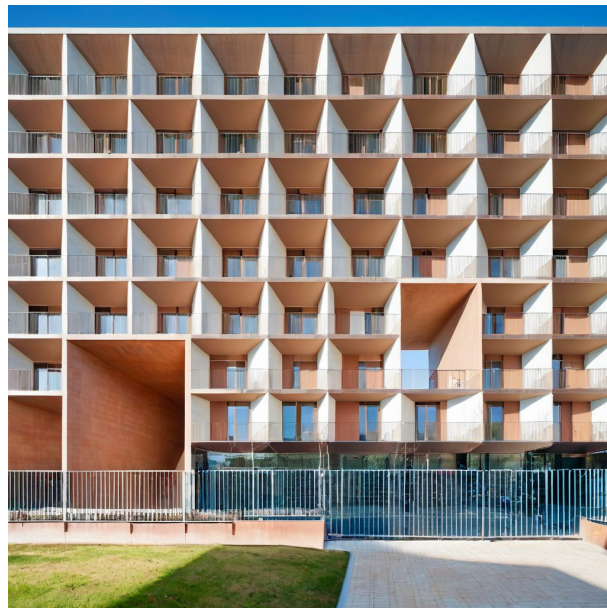
4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

313



4.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 3

PARTE TRE

314

PROMPT:

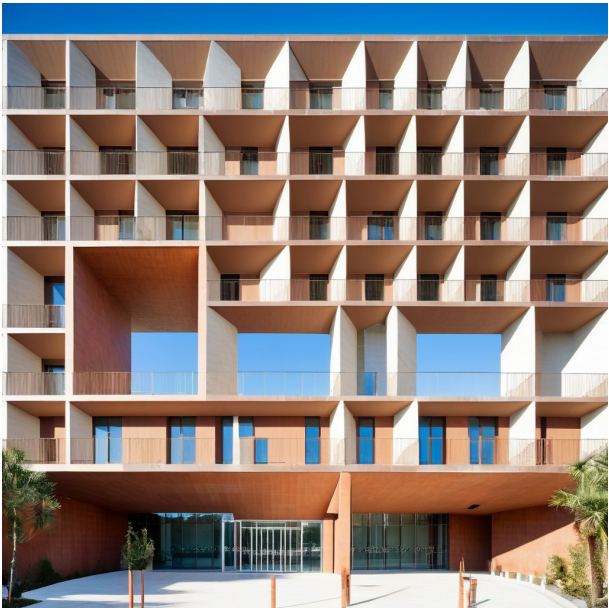
4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

315



4.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE

FASE 3

PARTE TRE

316 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NOME MODELLO: AA-FLUX_1p_20im_SA

NUMERO IMMAGINI: 20

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

317



4.



4.

ALTANA PARK VIEW RESIDENCE FASE 3

PARTE TRE

318

PROMPT:

4.

Arche4, Large Isolated Residential Building, 9-story structure, full-height, wide rectangular massing, frontal view, symmetrical elevation, Repetitive grid facade with deep recessed balconies and sloped partitions, Two massive rectangular niches of different sizes cutting through the facade, Monolithic concrete structure, colored pigmented concrete in warm earthy tones, Horizontal string course bands, glazed recessed ground floor, metal railings, flat roof, Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.



4.



4.

³²⁰ Questo primo sviluppo applicativo consente di riconoscere e validare l'efficacia del processo, poiché è possibile osservare come il contenuto del dataset di addestramento sia in grado di influenzare profondamente l'esito del processo generativo. Partendo da questa osservazione, se lo strumento dimostra di poter apprendere il linguaggio compositivo di un singolo riferimento, si presume che possa essere altrettanto capace di combinare più linguaggi derivanti da riferimenti diversi, aprendo così scenari di maggiore complessità. L'esito positivo di questa prima sperimentazione apre quindi la strada all'esplorazione della trasformazione del repertorio in dataset, rendendo possibile la costruzione di dataset specifici per ogni singolo progetto e consentendo di calibrare con maggiore precisione il processo generativo in funzione degli obiettivi progettuali di volta in volta perseguiti.

La selezione dei riferimenti da includere nei dataset di addestramento terrà conto della destinazione d'uso e del contesto specifico di ogni intervento, e poiché si tratta di concept di progetti sviluppati dallo studio Archea Associati, all'interno dei dataset verranno inclusi anche progetti dello studio, così da orientare il processo generativo verso un linguaggio coerente con l'identità e la ricerca architettonica dello studio.

Le tre fasi analizzate permettono inoltre di definire alcuni aspetti operativi che costituiranno la base metodologica dei prossimi processi generativi, tra cui la dimensione del dataset, che si attesta su un numero compreso tra le 20 e le 30 immagini organizzate in modo da alternare visioni d'insieme a immagini di dettaglio, garantendo così una rappresentazione equilibrata del linguaggio compositivo di riferimento. A questi criteri si aggiunge la scelta del modello, per cui si raccomanda l'utilizzo di "flux-dev", e la definizione del processo di labeling con cui vengono descritte le immagini del dataset, che deve avvenire in modo selettivo e mirato, mettendo in rilievo specifiche caratteristiche compositive piuttosto che restituire una descrizione esaustiva dell'immagine.

PARTE TRE

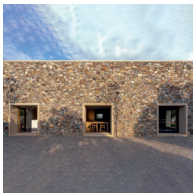
- ³²² Sviluppo di un concept per un complesso residenziale a Dubai.
L'approccio progettuale si basa sulla combinazione dei caratteri compositivi dell'architettura rurale del centro Italia con il repertorio formale della tradizione architettonica araba.

COMPLESSO 323 RESIDENZIALE DUBAI



PARTE TRE

324 DATASET: 30 immagini



PARTE TRE

326 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NUMERO IMMAGINI: 30

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

1.

Arche4, Residential building in tuscanry rural style and arab style, squared and homogenous shape inspired to arab tradition

Single technological system: monolithic perforated facade with stones cladding facade inspired to tuscanry tradition

Pitched roof with timber element and barrel clay system inspired to tuscanry rural tradition.



1.



1.

PROMPT:

2.

Arche4, Residential complex in tuscan rural style and arab style, squared and homogenous shape inspired to arab tradition

Single technological system: monolithic perforated facade with stones cladding facade inspired to tuscan tradition

Pitched roof with timber element and barrel clay system inspired to tuscan rural tradition

Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.



2.



2.

PROMPT:

3.

Arche4, residential complex composed of multiple buildings forming a coherent

architectural ensemble, with dominant Arab architectural influence complemented by Tuscan rural elements.

Geometric, smooth, and homogeneous forms inspired by Islamic geometry; arcades, horseshoe/pointed arches, deep niches, shaded porticoes, and riad-like courtyards across the ensemble.

Single technological system: monolithic perforated facades acting as mashrabiya screens, with carved arabesque patterns; natural stone cladding recalling Tuscan craftsmanship.

Tall, slender windows with stone framing and timber lattice artitions, producing intricate light-shadow play.

Pitched roofs with timber structure and barrel clay tiles as a subtle Tuscan accent, kept low-profile to preserve the Arab language.

Modern architectural design, sharp daylight shadows, warm Mediterranean-Arab palette, blue sky background, frontal wide-angle view capturing several buildings.



3.



3.

PROMPT:

4.

Arche4, Residential complex in tuscan rural style and arab style, smooth and homogenous shape inspired to arab tradition, 2-story structure Single technological system: monolithic perforated facade with stones cladding facade inspired to tuscan tradition, high windows with stone framing and random timber partitions, on big niche on the second floor and a porch in the ground floor Pitched roof with timber element and barrel clay system inspired to tuscan rural tradition Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

5.

Arche4, residential complex composed of multiple buildings forming a coherent architectural ensemble in tuscan rural style and arab style, smooth and homogenous shape inspired to arab tradition, 2-story structure Single technological system: monolithic perforated facade with stones cladding facade inspired to tuscan tradition, high windows with stone framing and random timber partitions, on big niche on the second floor and a porch in the ground floor Pitched roof with timber element and barrel clay system inspired to tuscan rural tradition Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

333



4.



5.

PROMPT:

5.

Arche4, residential complex composed of multiple buildings forming a coherent architectural ensemble in tuscan rural style and arab style, smooth and homogenous shape inspired to arab tradition, 2-story structure Single technological system: monolithic perforated facade with stones cladding facade inspired to tuscan tradition, high windows with stone framing and random timber partitions, on big niche on the second floor and a porch in the ground floor Pitched roof with timber element and barrel clay system inspired to tuscan rural tradition Modern architectural design, sharp daylight shadows, blue sky background, frontal view.

6.

Arche4, residential complex composed of multiple buildings forming a coherent architectural ensemble, blending Arab architectural tradition with Tuscan rural elements.

Smooth, harmonious, two-story structures inspired by Islamic geometry and Arab vernacular architecture.

Arches, large niches, shaded porches, and perforated stone facades with arabesque inspired patterns.

Unified technological system: monolithic facade with natural stone cladding recalling Tuscan craftsmanship.

Tall windows with stone framing, timber lattice partitions, creating play of light and shadow.

Pitched roofs with timber framework and barrel clay tiles, subtly referencing Tuscan countryside tradition.

Modern architectural design, sharp daylight contrast, crisp blue sky, frontal wideangle view capturing several buildings in the ensemble.

Atmosphere: timeless Mediterranean-Arab fusion, elegant, refined, with emphasis on curved forms, geometry, and ornamental details.

335



5.



6.

PROMPT:

6.

Arche4, residential complex composed of multiple buildings forming a coherent architectural ensemble, blending Arab architectural tradition with Tuscan rural elements.

Smooth, harmonious, two-story structures inspired by Islamic geometry and Arab vernacular architecture.

Arches, large niches, shaded porches, and perforated stone facades with arabesque-inspired patterns.

Unified technological system: monolithic facade with natural stone cladding recalling Tuscan craftsmanship.

Tall windows with stone framing, timber lattice partitions, creating play of light and shadow.

Pitched roofs with timber framework and barrel clay tiles, subtly referencing Tuscan countryside tradition.

Modern architectural design, sharp daylight contrast, crisp blue sky, frontal wideangle view capturing several buildings in the ensemble.

Atmosphere: timeless Mediterranean-Arab fusion, elegant, refined, with emphasis on curved forms, geometry, and ornamental details.

7.

Arche4, residential complex blending Tuscan rural style and Arab architectural tradition. Smooth, harmonious, two-story structure inspired by Arab geometry. Unified technological system: monolithic perforated facade clad in natural stone, Tuscan-inspired.

Tall windows with stone framing, irregular timber partitions. Large niche on the second floor, open porch on the ground floor.

Pitched roof with timber framework and barrel clay tiles, recalling Tuscan countryside vernacular.

Modern architectural design, sharp daylight contrast, crisp blue sky, frontal perspective view.

Atmosphere: timeless Mediterranean elegance, balanced proportions, architectural ensemble in harmony with light and material.

337



6.



7.

- ³³⁸ Sviluppo di un concept per una torre residenziale a Durazzo. Il progetto ha rispettato precisi vincoli dimensionali, gestiti attraverso una costruzione accurata del prompt. La stessa strategia ha permesso di esplorare soluzioni alternative, tra cui una configurazione composta da due torri appoggiate su un basamento comune.

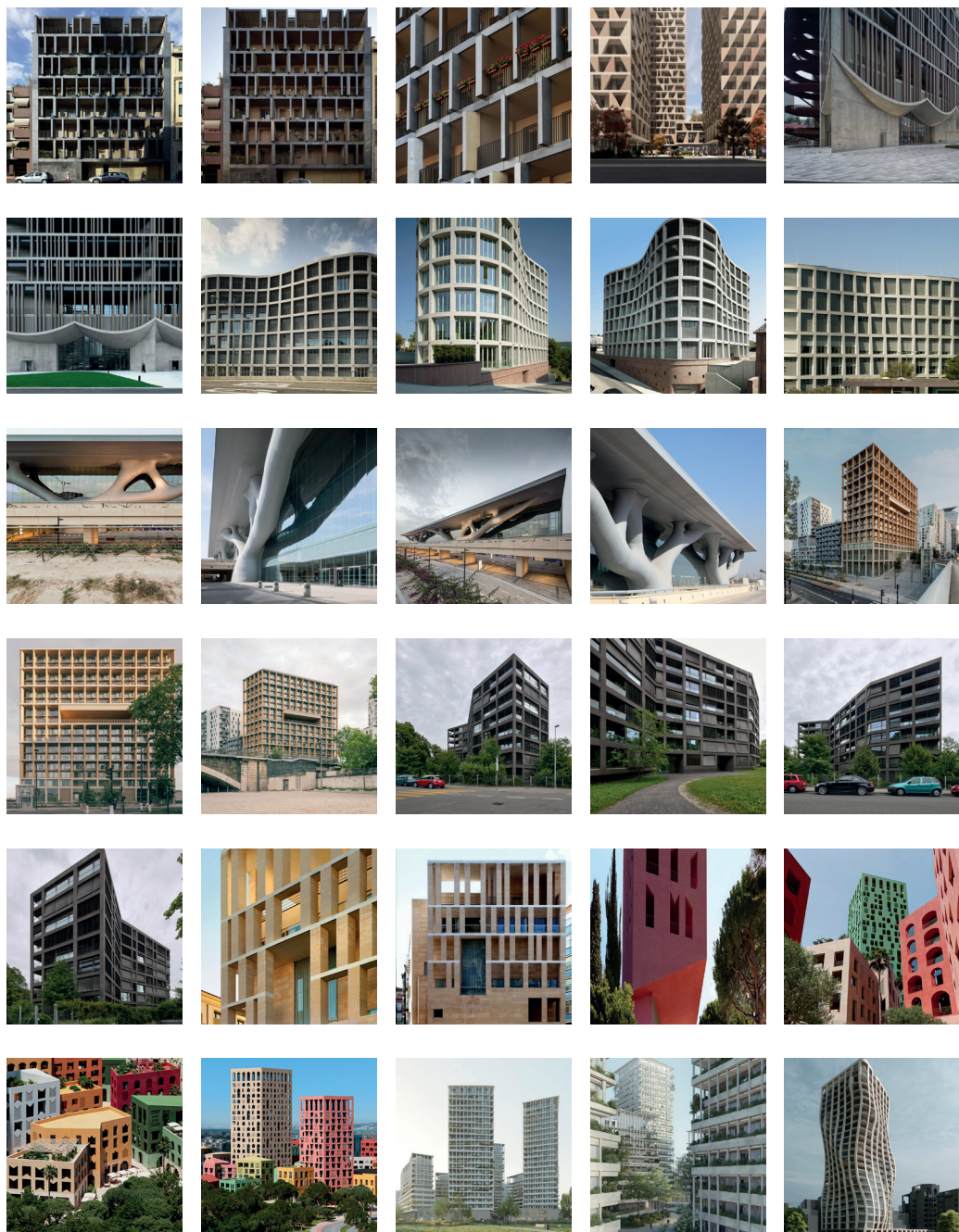
TORRE

339 RESIDENZIALE DURAZZO



PARTE TRE

340 DATASET: 30 immagini



342 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NUMERO IMMAGINI: 30

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

1.

Arche4, Tower building,
Homogeneous shape, Folded surface,
Single technological system: Monolithic perforated face,
Horizontal scanning, Vertical partition.

2.

Arche4, Tower building,
Homogeneous shape,
Single technological system: Monolithic perforated face,
Horizontal scanning, Vertical partition, Niches, Flat roof,
Multi color concrete element.

343



1.



2.

PROMPT:

3.

Arche4, Two-tower building with precise proportions.

Main tower: 35 stories, Slender height:width $\approx 4:1$.

Companion tower: 10 stories, compact $\approx 1.3:1$.

Homogeneous shape, Folded surface,

Single technological system: Monolithic perforated face,

Horizontal scanning, Vertical partition, Niches, Flat roof,

Pigmented concrete façade with a warm, Ceramic-inspired palette.



3.



3.

PROMPT:

4.

Arche4, Two-tower building with precise proportions.

Main tower: 35 stories, Slender height:width $\approx 4:1$.

Companion tower: 10 stories, compact $\approx 1.3:1$.

Homogeneous shape, Folded surface

Single technological system: Monolithic perforated face,

Hig windows with different shape, Hig windows asymmetrically
aranged, Niches,

Pigmented concrete façade with a warm, Ceramic-inspired palette.

347



4.



4.

PROMPT:

4.

Arche4, Two-tower building with precise proportions.

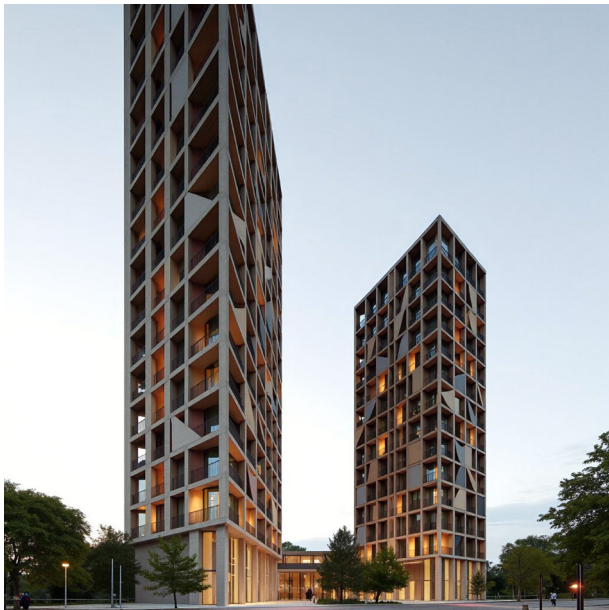
Main tower: 35 stories, slender height:width $\approx 4:1$.

Companion tower: 10 stories, compact $\approx 1.3:1$.

Homogeneous shape, Folded surface

Single technological system: Monolithic perforated face,

Hig windows with different shape, Hig windows asymmetrically aranged, Niches, Pigmented concrete façade with a warm, Ceramic-inspired palette.



4.



4.

PROMPT:

5.

Arche4, Single high-rise tower with precise proportions.

35 stories, Slender height:width $\approx$ 4:1

Homogeneous shape, Folded surface

Single technological system: Monolithic perforated face,

Horizontal scanning, Vertical partition, Niches, Flat roof,

Pigmented concrete façade with a warm, Ceramic-inspired palette.

351



5.



5.

PROMPT:

6.

Arche4, Single high-rise tower with precise proportions.

35 stories, Slender height:width $\approx$ 4:1

Homogeneous shape, Folded surface

Single technological system: Monolithic perforated face,

Horizontal scanning, Vertical partition asymmetrical arranged, Multi

color vertical partitions, Niches with metal railing, Flat roof,

Pigmented concrete façade with a warm, Ceramic-inspired palette.



6.



6.

PROMPT:

7.

Arche4, Single high-rise tower with precise proportions.

35 stories, Slender height:width $\approx$ 4:1.

Homogeneous shape with a fold surface, Pleated surfaces hinging around a vertical crease, Single technological system: monolithic perforated facade, Horizontal banding, Dynamic vertical partition, Staggered mullions with variable spacing and depth, Subtle out-of-plane offsets, Niches aligned along the fold, Flat roof, Pigmented concrete facade with a warm, Ceramic-inspired palette, Emphasizing light-shadow relief on folds and verticals.

8.

Arche4, Single high-rise tower with precise proportions.

35 stories, Slender height:width $\approx$ 4:1

Homogeneous shape, Folded surface

Single technological system: Monolithic perforated face,

Hig windows with different shape, Hig windows asymmetrically aranged, Niches, Pigmented concrete façade with a warm, Ceramic-inspired palette.

355



7.



8.

PARTE TRE

- ³⁵⁶ Sviluppo di un concept per una Sport Hall a Bengasi. Il processo ha attraversato tre fasi distinte, ciascuna caratterizzata da un dataset specifico e calibrato sulle esigenze proprie di ogni stadio progettuale.

SPORT

357 HALL BENGASI



PARTE TRE

358 DATASET 1: 20 immagini

360 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NUMERO IMMAGINI: 20

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

1.

Arche4, Sport Hall,

Squared and articulated shape, Contemporary building made of overlapping and horizontally shifted rectangular volumes, The second volume projects out significantly more than the others, Single technological system: Glazed Façade with Cladding System Flat roof with plants, Tree and a metal railing.

Modern architectural design, Sharp daylight shadows, Frontal view.

2.

Arche4, Contemporary Sports Hall with a squared and articulated massing. Three overlapping and horizontally shifted rectangular volumes, Clearly stacked with the second volume projecting out significantly more than the others, Creating a strong cantilever. The building has fully glazed façades with an external horizontal brise-soleil cladding system, no stone materials.

Flat roof with greenery, Plants and a sleek metal railing.

Minimalist and modern architectural design, Sharp daylight shadows, Frontal elevation view.

361



1.



2.

PROMPT:

2.

Arche4, Contemporary Sports Hall with a squared and articulated massing. Three overlapping and horizontally shifted rectangular volumes, Clearly stacked with the second volume projecting out significantly more than the others, Creating a strong cantilever. The building has fully glazed façades with an external horizontal brise-soleil cladding system, no stone materials. Flat roof with greenery, Plants and a sleek metal railing. Minimalist and modern architectural design, Sharp daylight shadows, Frontal elevation view.

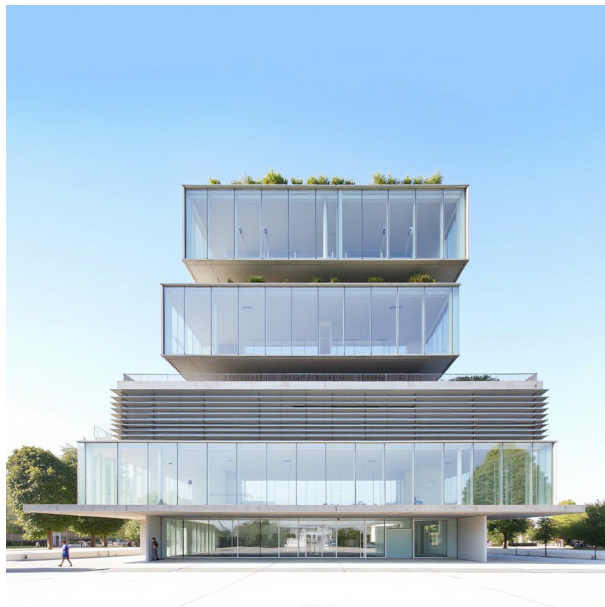
3.

Arche4, Two-story sports hall with three offset, Horizontally layered volumes and an articulated squared shape each upper volume projecting and cantilevered over the one below, Deliberately non-aligned to create staggered overhangs. Single technological system with continuous glazed façades and steel cladding. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.

363



2.



3.

PROMPT:

3.

Arche4, Two-story sports hall with three offset, Horizontally layered volumes and an articulated squared shape each upper volume projecting and cantilevered over the one below, Deliberately non-aligned to create staggered overhangs.

Single technological system with continuous glazed façades and steel cladding. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.

365



3.



3.

PROMPT:

3.

Arche4, Two-story sports hall with three offset, Horizontally layered volumes and an articulated squared shape each upper volume projecting and cantilevered over the one below, Deliberately non-aligned to create staggered overhangs.

Single technological system with continuous glazed façades and steel cladding. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.



3.

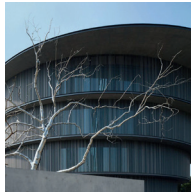
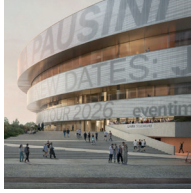


3.

PARTE TRE

368 DATASET 2: 15 immagini

369



PARTE TRE

370 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NUMERO IMMAGINI: 15

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

4.

Arche4, Two-story sports hall with articulated smooth shape, Upper floor cantilevered over the lower one.

Single Technological system with continuous glazed facades and warm earth-toned steel cladding featuring arabesque decorative pattern. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.



4.



4.

PROMPT:

4.

Arche4, Two-story sports hall with articulated smooth shape, Upper floor cantilevered over the lower one.

Single Technological system with continuous glazed facades and warm earth-toned steel cladding featuring arabesque decorative pattern. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.



4.



4.

PROMPT:

5.

Arche4, Two-story sports hall with fluid, Horizontally layered and curved shape, Featuring a dynamic composition with the upper volume gently offset and cantilevered over the lower one.

Single technological system with continuous glazed façades alternating with lighttoned concrete and warm metallic cladding featuring subtle arabesque decorative patterns.

Flat roof, Contemporary architectural design with smooth horizontal lines, Elegant proportions, and high-quality rendering.

375



5.



5.

PROMPT:

5.

Arche4, Two-story sports hall with fluid, Horizontally layered and curved shape, Featuring a dynamic composition with the upper volume gently offset and cantilevered over the lower one.

Single technological system with continuous glazed façades alternating with lighttoned concrete and warm metallic cladding featuring subtle arabesque decorative patterns.

Flat roof, Contemporary architectural design with smooth horizontal lines, Elegant proportions, and high-quality rendering.



5.

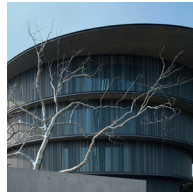
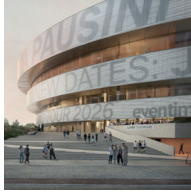


5.

PARTE TRE

378 DATASET 3: 15 immagini

379



PARTE TRE

380 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NUMERO IMMAGINI: 15

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

4.

Arche4, Two-story sports hall with articulated smooth shape, Upper floor cantilevered over the lower one.

Single Technological system with continuous glazed facades and warm earth-toned steel cladding featuring arabesque decorative pattern. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.



4.



4.

PROMPT:

4.

Arche4, Two-story sports hall with articulated smooth shape, Upper floor cantilevered over the lower one.

Single Technological system with continuous glazed facades and warm earth-toned steel cladding featuring arabesque decorative pattern. Flat roof, Contemporary architectural design, Elegant proportions, High-quality rendering.



4.



4.

PROMPT:

5.

Arche4, Two-story sports hall with fluid, Horizontally layered and curved shape, Featuring a dynamic composition with the upper volume gently offset and cantilevered over the lower one.

Single technological system with continuous glazed façades alternating with lighttoned concrete and warm metallic cladding featuring subtle arabesque decorative patterns.

Flat roof, Contemporary architectural design with smooth horizontal lines, Elegantproportions, and high-quality rendering.



5.



5.

PROMPT:

5.

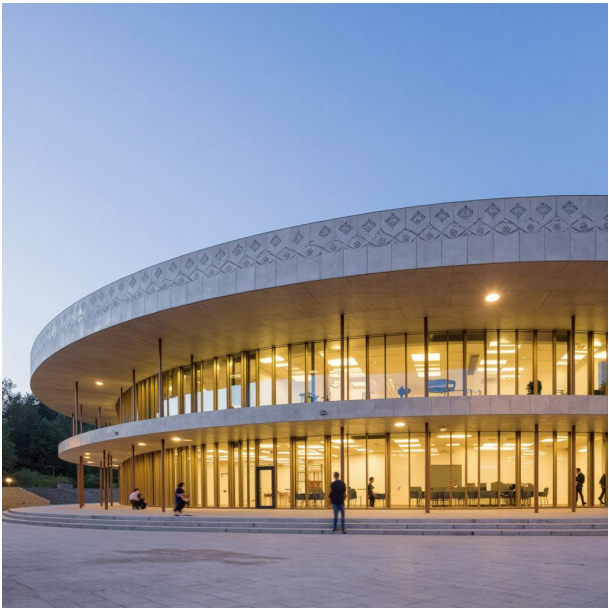
Arche4, Two-story sports hall with fluid, Horizontally layered and curved shape, Featuring a dynamic composition with the upper volume gently offset and cantilevered over the lower one.

Single technological system with continuous glazed façades alternating with lighttoned concrete and warm metallic cladding featuring subtle arabesque decorative patterns.

Flat roof, Contemporary architectural design with smooth horizontal lines, Elegantproportions, and high-quality rendering.



5.



5.

PARTE TRE

- ³⁸⁸ Sviluppo di un concept per una struttura ricettiva nel Nord Europa. Il dataset combina riferimenti stilistici appartenenti al repertorio dello studio Archea con architetture lignee realizzate in contesti montani.

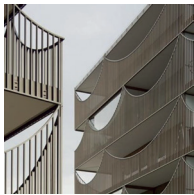
STRUTTURA

389 **RICETTIVA** NORD EUROPA



PARTE TRE

390 DATASET: 25 immagini



392 CHECKPOINT: Flux - dev

LoRA: Attivato

NUMERO IMMAGINI: 25

LABELING: Standard Archea

PROMPT:

1.

Arche4, Residential Complex, 4–5 irregularly arranged buildings with distinct shapes, Viewpoint showing multiple buildings in the same frame, Homogeneous and smooth overall composition, Monolithic perforated façades with niches and timber cladding, Cantilevered roof planes, Contemporary architectural style, Soft natural lighting.

2.

Arche4, Residential Complex, 4–5 irregularly arranged buildings with distinct shapes, Viewpoint showing multiple buildings in the same frame, Homogeneous and smooth overall composition, monolithic perforated façades with niches and timber cladding, Dynamic angular pitched roofs with exposed timber structure and deep overhangs, Contemporary architectural style, Soft natural lighting.



1.



2.

PROMPT:

2.

Arche4, Residential Complex, 4–5 irregularly arranged buildings with distinct shapes, Viewpoint showing multiple buildings in the same frame, Homogeneous and smooth overall composition, monolithic perforated façades with niches and timber cladding, Dynamic angular pitched roofs with exposed timber structure and deep overhangs, Contemporary architectural style, Soft natural lighting.



2.



2.

PROMPT:

3.

A residential complex designed by Arche4, Located in a Nordic landscape, Composed of 4–5 medium-scale buildings gently arranged along a soft, Curved and interconnected layout.

The composition emphasizes the dialogue between architecture and nature with fluid geometries that follow the natural topography and embrace shared outdoor spaces. Each building features a harmonious, Smooth and organically curved form with monolithic façades punctuated by deep niches and vertical timber cladding inspired by Nordic craftsmanship.

The roofs are softly pitched and flowing, Shaped with expressive wooden structures and generous overhangs that enhance rhythm and lightness.

The overall atmosphere conveys a sense of contemporary elegance and warmth with soft natural lighting highlighting the fluid forms, Natural materials and the surrounding greenery.

397



3.



3.

398 PROMPT:

4.

A residential complex designed by Arche4, Located in a Nordic landscape, Composed of 4–5 large-scale buildings of 7–8 stories, Gently arranged along a soft, Curved and interconnected layout. The composition emphasizes the dialogue between architecture and nature with fluid geometries that follow the natural topography and embrace shared outdoor spaces. Each building features a harmonious, Smooth and organically curved form with tall monolithic façades punctuated by deep niches and vertical timber cladding inspired by Nordic craftsmanship. The roofs are softly pitched and flowing, Shaped with expressive wooden structures and generous overhangs that enhance rhythm and lightness. The overall atmosphere conveys a sense of contemporary elegance and warmth with soft natural lighting highlighting the fluid forms, Natural materials and the surrounding greenery.

5.

A residential complex designed by Arche4, Located in a Nordic landscape, composed of 4–5 large-scale buildings of 7–8 stories, Gently arranged along a soft, Curved and interconnected layout. The composition emphasizes the dialogue between architecture and nature, with fluid geometries that follow the natural topography and embrace shared outdoor spaces. Each building features a harmonious, smooth and organically curved form with tall façades combining exposed timber frameworks and light concrete panels inspired by the geometric rhythm of traditional half-timbered structures. This hybrid cladding system blends the warmth of wood with the solidity of concrete creating a contemporary reinterpretation of vernacular patterns. The roofs are softly pitched and flowing, shaped with expressive wooden structures and generous overhangs that enhance rhythm and lightness. The overall atmosphere conveys a sense of contemporary Nordic elegance, where soft natural lighting accentuates the interplay of textures, Materials and the surrounding landscape.



4.



5.

PROMPT:

6.

A residential complex designed by Arche4, Located in a Nordic landscape, Composed of 4–5 large-scale buildings of 7–8 stories, gently arranged along a soft, curved and interconnected layout. The composition emphasizes the dialogue between architecture and nature, with fluid geometries that follow the natural topography and embrace shared outdoor spaces. Each building features a harmonious, smooth and organically curved form with tall façades defined by a light timber lattice structure interwoven with generous glazed surfaces and slender concrete frames, inspired by the geometric rhythm of traditional half-timbered constructions. This refined cladding system creates a sense of transparency and depth, allowing natural light to permeate the interiors while maintaining the tactile warmth of wood and the clarity of glass. The roofs are softly pitched and flowing, Shaped with expressive wooden structures and generous overhangs that enhance rhythm and lightness. The overall atmosphere conveys a sense of contemporary Nordic elegance, where soft natural lighting highlights the interplay between the transparent façades, the delicate wooden framework, and the surrounding landscape.



6.



6.

PROMPT:

7.

A residential complex designed by Arche4, Located in a Nordic landscape, Composed of 4–5 large-scale buildings of 7–8 stories, Gently arranged along a soft, Curved and interconnected layout. The composition emphasizes the dialogue between architecture and nature with fluid geometries that follow the natural topography and embrace shared outdoor spaces.

Each building features a harmonious, smooth, and organically curved form, with tall monolithic façades in light-toned concrete punctuated by large glazed openings and slender metal frames, with timber limited to subtle warm accents.

The roofs are softly pitched and flowing, shaped with slender metal structures and generous overhangs that enhance rhythm and lightness.

The overall atmosphere conveys a sense of contemporary elegance and warmth with soft natural lighting highlighting the fluid forms, Matte concrete surfaces, Refined metal details, Expansive glazing and the surrounding greenery.

403



7.



7.

PARTE TRE

3.2.4

405

OLTRE LA GENERAZIONE DI IMMAGINI

PARTE TRE

Il panorama degli strumenti di intelligenza artificiale a disposizione degli architetti si articola in tre grandi macro-categorie che, pur condividendo la stessa matrice tecnologica, rispondono a esigenze progettuali profondamente diverse e all'interno del processo creativo operano su piani distinti. La prima, quella della generazione di immagini, è stata oggetto di un'analisi approfondita nei capitoli precedenti, dove si è dimostrato come i modelli di diffusione latente abbiano raggiunto un livello di maturità tecnica tale da renderli strumenti operativamente rilevanti nelle fasi di concept e visualizzazione. Le altre due categorie, ovvero l'acquisizione e l'elaborazione di informazioni attraverso i modelli linguistici di grandi dimensioni e la modellazione tridimensionale assistita dall'AI, rappresentano invece un ambito applicato più limitato e in parte inesplorato, caratterizzato da potenzialità straordinarie ma anche da limitazioni significative che ne condizionano l'adozione concreta nella pratica professionale. Completare il quadro con un'analisi di questi due ambiti è necessario non solo per restituire una visione organica dello stato dell'arte, ma anche per comprendere in quale direzione si sta muovendo l'evoluzione tecnologica e quali trasformazioni possiamo aspettarci nel prossimo futuro.

⁴⁰⁸ Il primo di questi due ambiti riguarda i modelli linguistici di grandi dimensioni, comunemente noti con l'acronimo LLM che sta per Large Language Models, una famiglia di sistemi di intelligenza artificiale addestrati su quantità enormi di testo proveniente da fonti eterogenee che li rende capaci di comprendere e generare linguaggio naturale. Dal punto di vista tecnico, questi modelli si basano sull'architettura transformer,¹ che ha rivoluzionato il campo dell'elaborazione del linguaggio naturale introducendo il meccanismo di auto-attenzione capace di modellare efficientemente le dipendenze a lungo raggio tra le parole di un testo. La trasformazione più profonda che questi strumenti stanno introducendo nella pratica architettonica riguarda la democratizzazione dell'accesso alla conoscenza specialistica, un processo che sta ridefinendo radicalmente il rapporto tra il progettista e le informazioni di cui ha bisogno per svolgere il proprio lavoro. Prima dell'avvento degli LLM, ottenere risposte precise su argomenti tecnici specialistici richiedeva necessariamente di interpellare ingegneri strutturisti o impiantisti, o la consultazione di articolate normative. Oggi un architetto può formulare domande complesse in linguaggio naturale e ricevere risposte relative al problema specifico che si sta affrontando. Questa capacità non elimina la necessità di competenze specialistiche né sostituisce il giudizio professionale, ma abbassa significativamente la soglia di accesso a informazioni che in precedenza richiedevano l'intermediazione di esperti di settore, consentendo agli architetti di muoversi con maggiore autonomia e consapevolezza in territori disciplinari confinanti con il proprio.

Le applicazioni concrete di questa capacità in ambito architettonico sono molteplici e spaziano attraverso fasi diverse del processo progettuale. Sul fronte normativo, gli LLM si rivelano strumenti particolarmente utili per navigare il complesso sistema di regolamenti edilizi, norme tecniche e disposizioni di legge che governano l'attività costruttiva. Sul versante strutturale, questi

409 modelli sono in grado di fornire informazioni preliminari utili nelle primissime fasi di definizione di un progetto, quando è necessario ragionare sull'ordine di grandezza delle sezioni strutturali, sulla fattibilità di determinate soluzioni tipologiche o sull'impatto di scelte compositive sulla distribuzione dei carichi, permettendo all'architetto di impostare il dialogo con il progettista strutturale con una base di conoscenza che rende il confronto più produttivo e consapevole. Analogamente, in ambito impiantistico, gli LLM possono fornire orientamenti preliminari sulle tipologie di sistemi più adatte a determinate destinazioni d'uso o condizioni climatiche, sui requisiti spaziali tipici di diverse soluzioni impiantistiche e sulle principali implicazioni progettuali che derivano da scelte tecnologiche specifiche.

Tuttavia, l'utilizzo di LLM generici nell'ambito di ricerche che richiedono precisione tecnica e aggiornamento normativo costante presenta limitazioni significative. Il problema più rilevante riguarda la cosiddetta "data cutoff",² ovvero il fatto che questi modelli hanno una conoscenza ferma a una data specifica oltre la quale non possono accedere a informazioni nuove, il che li rende potenzialmente obsoleti in contesti normativi in rapida evoluzione. A questo si aggiunge il fenomeno delle "allucinazioni", un comportamento che in ambito tecnico-normativo può avere conseguenze problematiche se le informazioni fornite vengono accettate acriticamente senza verifica. La soluzione tecnologica più promettente per superare queste limitazioni è rappresentata dai sistemi RAG,³ un'architettura ibrida che combina le capacità generative e di ragionamento degli LLM con un meccanismo di recupero di informazioni da una base documentale specifica, aggiornata e verificata. Il funzionamento di un sistema RAG si articola in due fasi distinte. Nella prima, la domanda dell'utente viene utilizzata per interrogare un database vettoriale contenente i documenti scelti con l'intento di recuperare i frammenti più semanticamente rilevanti rispetto alla domanda posta; nella seconda,

⁴¹⁰ questi frammenti vengono inseriti nel contesto della richiesta inviata all'LLM, che li utilizza come base informativa privilegiata per formulare la propria risposta, riducendo drasticamente la probabilità di allucinazioni e garantendo che le informazioni fornite siano ancorate a fonti specifiche e tracciabili. Per un architetto, costruire un sistema RAG personalizzato su un corpus documentale composto dalla normativa edilizia aggiornata, dai capitoli tecnici di riferimento, dalla documentazione dei prodotti comunemente utilizzati e dall'archivio dei progetti realizzati significherebbe disporre di un assistente informativo straordinariamente preciso, in grado di rispondere a domande tecniche complesse con riferimenti puntuali e verificabili che trasformano lo strumento da oracolo generico a consulente specializzato.

Il secondo grande ambito che merita un'analisi approfondita in questa panoramica riguarda la modellazione tridimensionale assistita dall'intelligenza artificiale, un settore che si trova in una fase di sviluppo tecnologico molto meno matura rispetto alla generazione di immagini bidimensionali o la generazione di testo. Questa disparità non è casuale ma deriva da ragioni strutturali legate alla complessità intrinsecamente maggiore della rappresentazione e della generazione di geometrie tridimensionali rispetto a quella di immagini o testo.

La prima tipologia di strumenti in questo ambito è rappresentata dai modelli text-to-3D, sistemi che si propongono di generare modelli tridimensionali a partire da descrizioni testuali seguendo una logica analoga a quella dei modelli text-to-image. Il funzionamento di questi strumenti è stato esplorato insieme all'architetto George Guida, il cui contributo è riportato nel capitolo successivo. Per quanto il processo generativo possa apparire efficace, la qualità geometrica dei modelli prodotti, è generalmente inadeguata per applicazioni che richiedono precisione metrica, consistenza topologica o possibilità di editing successivo, caratteristiche che sono invece irrinunciabili nella pratica architettonica professionale dove i modelli tridimensionali non sono

411 semplici rappresentazioni visive ma strumenti di lavoro che devono poter essere modificati, quotati e analizzati.

La seconda tipologia di strumenti che sta emergendo con crescente interesse nel panorama della modellazione 3D assistita dall'AI si articola attorno al protocollo MCP, acronimo di Model Context Protocol,⁴ un'architettura aperta sviluppata da Anthropic che definisce un modo standardizzato per connettere i modelli linguistici di grandi dimensioni a strumenti e servizi esterni, trasformandoli da sistemi chiusi in agenti capaci di interagire con l'ambiente esterno al modello. Il principio alla base è semplice. Invece di chiedere all'LLM di generare direttamente un modello tridimensionale, compito che richiederebbe capacità generative che i modelli linguistici non possiedono in forma nativa, si sfrutta la capacità di ragionamento e pianificazione dell'LLM per tradurre intenzioni progettuali espresse in linguaggio naturale in sequenze di operazioni che vengono eseguite direttamente all'interno di software professionali di modellazione, come Rhinoceros 3D o Grasshopper, attraverso connessioni stabilite tramite il protocollo MCP. Il sistema consente anche di eseguire operazioni complesse che richiederebbero altrimenti una conoscenza approfondita degli strumenti di scripting parametrico come RhinoScript o Python, abbassando la soglia di accesso a funzionalità avanzate dei software di modellazione che in precedenza erano accessibili solo agli utenti con competenze di programmazione. Tuttavia, anche in questo caso le limitazioni applicative attuali sono significative. Il sistema funziona in modo affidabile per operazioni geometriche relativamente semplici e ben definite, ma tende a produrre risultati imprevedibili o erronei quando le istruzioni in linguaggio naturale sono ambigue, quando le operazioni richieste implicano una comprensione del contesto geometrico complessivo del modello o quando il processo richiede un numero molto elevato di passaggi interdipendenti.

Guardando al panorama complessivo che emerge dall'analisi di queste tre macro-categorie, emerge con chiarezza che l'intelligenza

⁴¹² artificiale non si sta affermando come un singolo strumento universale capace di sostituire i metodi di lavoro tradizionali, ma piuttosto come un insieme articolato di tecnologie complementari che intervengono in punti diversi del processo progettuale con modalità e con gradi di maturità profondamente differenti tra loro. La generazione di immagini ha raggiunto un livello di sviluppo tale da essere già oggi concretamente integrata nei flussi di lavoro di molti studi, i modelli linguistici stanno trasformando le modalità di accesso alle informazioni specialistiche con implicazioni significative per la democratizzazione della conoscenza tecnica, mentre la modellazione 3D assistita dall'AI si trova ancora in una fase di sviluppo in cui le potenzialità intraviste non hanno ancora trovato una traduzione operativa pienamente convincente. La traiettoria evolutiva di queste tecnologie ci suggerisce però che nel prossimo futuro l'integrazione tra questi strumenti sarà probabilmente molto più fluida e complementare di quanto non lo sia oggi, configurando uno scenario in cui l'intelligenza artificiale accompagnerà il progettista attraverso l'intera durata del processo progettuale, dalla prima formulazione dell'idea fino alla produzione degli elaborati esecutivi, non come entità autonoma ma come interlocutore digitale in grado di amplificare capacità ed efficienza.

413 NOTE

- 1 Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). *Attention is All You Need*. *Advances in Neural Information Processing Systems* (NeurIPS), 30, 5998–6008. Arxiv;
- 2 Cheng, J., Deas, O., Yu, L., Patil, S., Klein, D., & Garg, S. (2024). *Dated Data: Tracing Knowledge Cutoffs in Large Language Models*. Arxiv;
- 3 Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). *Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks*. *Advances in Neural Information Processing Systems* (NeurIPS), 33. Arxiv;
- 4 AA.VV., Anthropic. (2024). *Model Context Protocol*.

PARTE TRE

INTERVISTA

⁴¹⁵ GEORGE GUIDA

STRUTTURE LATENTI: TRA MODELLI GENERATIVI E DESIGN CON- TEMPORANEO

INTRO

La fulminea ascesa di modelli generativi capaci di creare testi e immagini ha rivelato le immense potenzialità legate all'utilizzo dell'intelligenza artificiale nel processo creativo di designer e architetti. La ricerca avanza inarrestabile, ponendo le fondamenta per una nuova generazione di modelli capaci di trasformare input testuali o grafici in oggetti tridimensionali, pronti a rivoluzionare i paradigmi progettuali esistenti.

BIO

Ricercatore allo Harvard Laboratory for Design Technologies, è co-fondatore di ArchiTAG e xFigura. Esperto di IA in architettura, integra tecnologia e design, con progetti globali e accademici.

418 **FG:** I modelli generativi 3D si basano su un processo che prende il nome di “ML Representation”, una particolare forma di rappresentazione che può essere ottenuta attraverso diverse tecniche. Può spiegarci il suo funzionamento?

GG: I modelli generativi 3D adottano diversi approcci per creare oggetti tridimensionali con l’IA. A differenza di testo e immagini, che dispongono di dataset abbondanti e ben definiti, l’addestramento per la generazione 3D presenta maggiori sfide. In architettura, i dataset 3D sono frammentati tra vari formati (mesh, nurbs, superfici ecc.) e difficili da centralizzare a causa di problemi di proprietà intellettuale. Inoltre, la loro elaborazione richiede potenza computazionale elevata. Per affrontare queste sfide, sono emersi nuovi approcci che ho esplorato come ricercatore alla Harvard Graduate School of Design. Tra questi, tecniche basate su modelli linguistici (LLM) o processi “multiview”, che utilizzano immagini 2D per generare oggetti 3D. Un esempio è il “Gaussian Splatting”, popolare nel 2023. Simile alla fotogrammetria, sfrutta l’IA per produrre risultati di alta qualità, ora applicabili in architettura per ricostruzioni digitali o concept innovativi.

FG: Che cosa è un Gaussian Splat e come avviene il suo processo di addestramento?

GG: Un Gaussian Splat è una tecnica innovativa per rappresentare oggetti 3D tramite funzioni gaussiane, che sovrapponendosi ricreano superfici complesse. Questa metodologia si è evoluta dai Neural Radiance Fields (NeRF), offrendo maggiore efficienza e risultati visivi più raffinati, ed è particolarmente utile per l’architettura e il design.

Il processo di addestramento consiste nell’ottimizzare la posizione, la dimensione e l’intensità delle gaussiane per adattarle ai dati di riferimento, come immagini o nuvole di punti. Nel mio studio di architettura, ArchiTAG, abbiamo integrato questa tecnologia in un workflow avanzato che combina l’uso di Unity e l’API di Google Maps. Questo ci consente di scansionare digitalmente un sito, modificarlo con prompt testuali e processori di immagini, e visualizzare i risultati in tempo reale.

FG: Il progresso tecnologico sta portando alla proliferazione di numerose applicazioni in grado di ricoprire un ruolo rilevante nel processo compositivo. L’implementazione e il perfezionamento di questi prodotti delineano un sistema in cui l’architetto sembra ricoprire un ruolo sempre più marginale. Qual è il suo parere a riguardo?

GG: Io descrivo sempre l’intelligenza artificiale come “augmented imagination”. L’IA può arricchire i workflow creativi se usata

419 come supporto e non scorciatoia. Questo crea spazio per curare i risultati generativi, ottimizzandoli per decisioni informate e basate su criteri progettuali. È cruciale mantenere un ruolo attivo e critico nell'uso di questi strumenti. Come diceva Marshall McLuhan, "dobbiamo modellare gli strumenti che a loro volta modellano noi". Gli architetti devono essere coinvolti nello sviluppo di queste tecnologie, specialmente ora che il codice è più accessibile.

Questo principio guida anche xFigura, una startup di ideazione generativa che lanceremo nel gennaio 2025. Combinerà i migliori modelli di IA in uno spazio collaborativo, aiutando architetti e designer a sfruttare queste tecnologie senza perdere la loro identità creativa.

FG: Lei è anche uno dei primi architetti che sta affrontando la tematica della regolamentazione dell'uso dell'AI in architettura. Qual è il suo parere?

GG: Con l'uso crescente dell'IA in architettura, è fondamentale mantenere il nostro ruolo decisionale e il dovere di garantire la qualità dei progetti per il pubblico. Serve una chiara definizione di cosa significhi "IA responsabile" per la nostra professione. L'Unione Europea ha adottato misure decise con l'AI Act e la Product Liability Directive. L'Italia, che si posiziona terza al mondo

per infrastrutture di supercomputing, ha l'opportunità di guidare questa discussione, anziché seguirla. Collaboro con NCARB negli Stati Uniti e RIBA nel Regno Unito su questo tema. Non credo che l'IA in architettura debba essere regolata subito, ma è essenziale stabilire un quadro generale per decisioni informate ed etiche. L'IA, oggi vista come strumento per automatizzare compiti come verifiche e revisioni, potrebbe evolvere in un agente collaborativo. Dobbiamo garantire salvaguardie per un uso sicuro e responsabile.

PARTE TRE

CONCLUSIONI

I risultati di questa ricerca devono essere letti come una fotografia del presente, un'istantanea valida al momento in cui viene scattata, inevitabilmente destinata a evolversi insieme agli strumenti che ne costituiscono l'oggetto. La rapidità con cui il campo dell'intelligenza artificiale generativa si sta trasformando ed evolvendo impone questa premessa come condizione metodologica fondamentale, non come limite, ma come sua caratteristica costitutiva. Chiarito questo, è possibile raccogliere le fila di un percorso che ha cercato di leggere un fenomeno tecnologico attraverso la lente della disciplina architettonica, riconoscendo in esso qualcosa di già noto e al tempo stesso radicalmente inedito. Ogni volta che le tecnologie digitali hanno attraversato la soglia del processo progettuale ne hanno ridefinito le forme di autorialità. Questo è successo sia con i sistemi parametrici e la loro logica algoritmica capace di generare morfologie altrimenti inaccessibili, che con l'architettura computazionale, che ha trasformato il progettista in autore di regole piuttosto che di forme, spostando il luogo della decisione creativa a monte dell'esito formale. Con le AI generative questa traiettoria compie un salto qualitativo che non riguarda soltanto la potenza degli strumenti, ma la natura stessa dei processi che li governano.

⁴²⁴ Per la prima volta il progettista si trova a lavorare con un sistema che non risponde in modo deterministico alle sue istruzioni, ma le interpreta, le ricombina e le traduce in esiti formali attraverso meccanismi probabilistici che introducono nel processo una componente irriducibile di imprevedibilità. È questa caratteristica a spostare il centro del dibattito sull'autorialità verso una questione più urgente e meno esplorata, quella della responsabilità, perché quando l'esito non è completamente prevedibile, la domanda non è più soltanto chi ha deciso la forma, ma chi risponde di essa. È proprio per descrivere questa traslazione, e per dotare la disciplina di uno strumento concettuale adeguato a leggerla, che la ricerca ha introdotto il concetto di imitazione latente, un dispositivo teorico costruito attorno alla constatazione che esiste una profonda similitudine strutturale tra il modo in cui un architetto progetta, attingendo al proprio repertorio visivo sedimentato attraverso anni di osservazione, studio e pratica, e il modo in cui un modello a diffusione latente genera immagini, esplorando uno spazio di rappresentazioni statisticamente apprese durante l'addestramento per produrre configurazioni coerenti con ciò che gli viene richiesto. In entrambi i casi il processo è fondato su un archivio, in entrambi i casi quell'archivio è fatto principalmente di immagini, e in entrambi i casi il risultato non è la replica di ciò che l'archivio contiene ma qualcosa di nuovo che da esso emerge. Questa similitudine costituisce il fondamento razionale che giustifica l'integrazione di questi strumenti nel processo compositivo e la ragione per cui il dialogo tra architetto e AI generativa può essere letto come qualcosa di spontaneo, una collaborazione inedita caratterizzata da meccanismi operativi radicalmente diversi. Sono però le differenze a definire il perimetro critico entro cui questa ricerca si è mossa. Il processo generativo è probabilistico, il che significa che a istruzioni identiche possono corrispondere esiti diversi; è parzialmente opaco, il che significa che la catena causale che conduce dall'input all'output non è sempre ricostruibile né interpretabile; il

425 comportamento del modello è intrinsecamente legato ai dataset su cui è stato addestrato, il che significa che ogni scelta compiuta nella fase di costruzione di quell'archivio si trasferisce, in modo spesso invisibile, negli esiti formali che il modello produce. Queste tre condizioni non sono difetti tecnici destinati a essere corretti con i futuri aggiornamenti degli strumenti, ma caratteristiche strutturali di una certa classe di sistemi generativi, e l'architetto che le ignora accetta di non esercitare la propria responsabilità progettuale ma di delegarla. La classificazione dei dataset in chiusi, aperti e collettivi non è un esercizio tassonomico fine a sé stesso, ma uno strumento per articolare i diversi gradi di controllo e responsabilità che il progettista può esercitare a seconda dello strumento che sceglie di adottare, perché dietro ogni tipologia di dataset si cela una diversa distribuzione del potere di determinare ciò che il modello è in grado di vedere, di imitare e quindi di produrre. Le AI costruite su dataset chiusi, gestiti da soggetti privati che ne controllano la composizione e i criteri di selezione, offrono accessibilità e una certa familiarità d'uso che abbassano la soglia di ingresso e rendono questi strumenti disponibili anche a chi non possiede competenze tecniche avanzate, ma espongono l'architetto a bias strutturali non espliciti, a un rischio concreto di omologazione formale determinato dalla tendenza del modello a replicare le configurazioni più frequenti nel dataset, e a una dipendenza da scelte compiute altrove, in fasi del processo in cui la voce del progettista è del tutto assente. Questa condizione solleva interrogativi che travalicano la dimensione disciplinare e toccano il tema più ampio della sovranità digitale, ovvero la questione di chi controlla le infrastrutture attraverso cui si produce conoscenza e, per estensione, forma architettonica. Le AI open source, al contrario, richiedono la capacità di costruire e gestire un proprio stack tecnico, una competenza che non appartiene alla formazione tradizionale del progettista e che implica un investimento significativo in termini di apprendimento e di risorse, ma aprono in cambio la possibilità di trasformare il repertorio

⁴²⁶ personale dell'architetto in dataset, di addestrare il modello su di esso attraverso tecniche di fine tuning e di generare così esiti inediti ma coerenti con le proprie intenzioni progettuali, restituendo al progettista un controllo sull'identità formale del processo che i sistemi chiusi non consentono. Le AI collettive, infine, rese possibili da architetture decentralizzate come la blockchain, portano questa logica a una scala condivisa e prefigurano un modello alternativo di produzione della conoscenza in cui la costruzione del dataset non è affidata a un soggetto singolo ma distribuita tra una comunità, ciascuno riconoscibile e retribuito in proporzione al proprio apporto, aprendo così la strada a strumenti generativi che siano non soltanto più trasparenti nei propri presupposti, ma anche più equi nelle proprie implicazioni etiche e legali. La ricerca non stabilisce quale tipologia di strumento sia giusta o sbagliata in senso assoluto, perché la risposta dipende dal contesto, dalle intenzioni del progettista e dal grado di responsabilità che egli è disposto ad assumere, ma diffonde la consapevolezza critica necessaria per riconoscere le implicazioni che si celano dietro ciascuna scelta, perché scegliere uno strumento non è mai un atto neutro, ma è una scelta progettuale che anticipa e in parte determina la natura dell'esito, e come tale deve essere trattato. A questa consapevolezza si affianca la necessità di sviluppare nuove competenze, che operano su due livelli distinti ma profondamente complementari. Un livello generale, trasversale a qualsiasi strumento, che riguarda la capacità di delimitare con precisione lo spazio delle possibilità generative attraverso la costruzione di contesti efficaci, e di riscoprire il linguaggio come dispositivo compositivo, riconoscendo che la capacità di articolare con precisione un'intenzione progettuale in forma testuale è diventata una competenza tanto importante quanto quella di saperla rappresentare graficamente. Un livello specifico, legato invece a strumenti e pratiche determinate, che comprende la capacità di trasformare il proprio repertorio in dataset etichettato e strutturato, di comprendere i criteri con cui questo

⁴²⁷ materiale viene interpretato dal modello durante l'addestramento, e di utilizzare tecniche di fine tuning per orientare il processo generativo verso esiti formalmente coerenti con la propria identità progettuale, trasformando così l'archivio personale dell'architetto in un materiale a servizio di un agente generativo. L'introduzione del concetto di imitazione latente, intesa non come formula teorica ma come comprensione operativa del modo in cui questi strumenti costruiscono rappresentazioni e del ruolo che i dataset svolgono in ogni fase di questo processo, è la condizione per comprendere le modalità con cui l'architetto possa mantenere il controllo sull'esito compositivo. Non si tratta di resistere all'innovazione né di consegnarsi acriticamente ad essa, ma di abitare questo spazio ibrido costruito dagli strumenti del proprio tempo, riconoscendo in essi non la fine dell'autorialità ma la sua continua e necessaria reinvenzione.

CONCLUSIONI

8 INTERVISTE

INTERVISTA

431

BRUNO

ZAMBORLIN

HYPERSURFACES

432

BIO

Bruno Zamborlin, PhD, è un rinomato ricercatore nel campo dell'intelligenza artificiale, imprenditore e artista, riconosciuto per aver rivoluzionato l'interazione uomo-computer attraverso le sue startup: Mogeas, HyperSurfaces e HyperSentience. Il suo lavoro si concentra sulla trasformazione di oggetti e superfici di ogni materiale e forma in entità interattive e intelligenti tramite sensori di vibrazione. Con base tra Londra e Milano, Bruno Zamborlin è un frequente relatore presso TED e ricercatore onorario presso la Goldsmiths University Of London. Le sue opere sono state esposte in sedi quali la Biennale di Venezia e il Museo Victoria & Albert di Londra.

434 **FG:** Ci parli di HyperSurfaces: come funziona la tecnologia che ne sta alla base e quali sono le premesse che hanno portato alla sua nascita?

BZ: Mi interessava la possibilità di rendere gli spazi e le superfici in grado di rispondere a ciò che accade intorno a loro, di adattarsi, e anche di farci rallentare, di aiutarci a creare connessioni tra noi e l'ambiente, nonché tra noi ed altre persone e con noi stessi. In questo senso, è una tecnologia che va controcorrente: non cerca di ottimizzare i nostri tempi, renderci più produttivi e stressati, ma piuttosto di farci assaporare quello che è già intorno a noi. Il funzionamento della tecnologia combina sensori di vibrazione con algoritmi speciali. In questo modo, qualunque superficie può diventare un'entità sensibile, capace di riconoscere e rispondere a qualsiasi interazione fisica, dalla carezza più leggera a un passo, o anche a eventi atmosferici come una goccia di pioggia o una folata di vento. Queste interazioni vengono poi trasformate in suono, luce e dati. Questo rappresenta per me un punto di incontro tra tecnologia e arte. È un modo per dare voce agli spazi e agli oggetti che ci circondano, trasformando luoghi e superfici in esperienze sensoriali condivise.

FG: Il suo lavoro di ricerca è profondamente legato all'interazione uomo-computer, potrebbe illustrare la sua visione

sullo stato attuale di questa tematica?

BZ: Credo che la tecnologia debba servire a migliorare la nostra vita e il nostro rapporto con gli altri, piuttosto che renderci semplicemente più "produttivi". L'ultimo decennio è stato dominato da touchscreen e social media, con conseguenze devastanti sulla salute mentale di molte persone.

Ora stiamo assistendo a un fenomeno ancora più accentuato, con tecnologie sempre più integrate e pervasive, che vanno ben oltre i tradizionali schermi tattili.

Assistenti onnipresenti che completano i ragionamenti per noi, in auto e case sempre più automatizzate, indossando dispositivi che monitorano la nostra salute costantemente. Queste innovazioni rendono la tecnologia più accessibile e intuitiva, ma anche molto più invasiva. Ci sentiamo spinti a essere sempre più rapidi e a eliminare ogni tempo morto, il che ha compromesso la nostra capacità di concentrarci e il nostro senso d'identità e quello di collettività. Nel mio lavoro e nella mia arte cerco di offrire un approccio diverso, mostrando che la tecnologia può essere un ponte che ci avvicina di più al mondo e alle persone che ci circondano.

FG: Operando su oggetti fisici e spazi reali, HyperSurfaces è profondamente legato al design e all'architettura. Che tipo di sinergia potrebbe nascere con queste discipline e quali

435 sono i progetti più significativi realizzati fino ad ora?

BZ: Collaborando con architetti e designer, è possibile concepire spazi che offrano la possibilità di creare esperienze sensoriali diverse, che promuovano una maggiore connessione tra le persone e l'ambiente che li circonda.

Per la Biennale di Venezia 2023, insieme allo studio di architettura Orizzontale abbiamo rivitalizzato il giardino semi-abbandonato del castello di Belmonte Calabro (denominato Belmondo) introducendo anche una serie di arredi sonori interattivi. Questi arredi, dotati di HyperSurfaces, catturano le vibrazioni prodotte dai visitatori e dall'ambiente circostante, trasformandole in una composizione musicale unica ed interattiva a cui i visitatori del Padiglione Italia hanno potuto contribuire attivamente.

È stato un esperimento di rigenerazione urbana e sociale che ha utilizzato strumenti digitali per incoraggiare un ascolto attivo verso i luoghi e tra le persone. Allo stesso tempo, queste esplorazioni ci fanno riflettere sulla quantità di dati generati dalle tecnologie che ora ci circondano in modo ubiquo.

8 INTERVISTE

INTERVISTA

437

FILIPPO ROSATI

UMANESIMO ARTIFICIALE

BIO

Filippo Rosati è il Fondatore e Direttore artistico di Umanesimo Artificiale.

Dopo una laurea in marketing e strategia (MSc) presso l'Università Bocconi di Milano con double degree presso la Copenhagen Business School, ha lavorato in consulenza e in agenzie creative in Europa e in Asia. Dal 2017, anno in cui fonda Umanesimo Artificiale di cui è Presidente, si occupa di arte, scienza, tecnologia mediando tra le discipline ed esplorando le intersezioni tra arte, design, robotica, biologia, hacking, con un approccio sperimentale alla ricerca artistica e scientifica.

440 **FG:** Potrebbe raccontarci in che modo è nato il progetto Umanesimo Artificiale spiegandoci, a partire dal significato del nome, le motivazioni che l'hanno spinto a avviare questa iniziativa e gli obiettivi che si è posto di raggiungere?

FR: Umanesimo Artificiale nasce sei anni fa, quando sono tornato a Fano, nelle Marche, mia città natale, per avviare un'attività imprenditoriale nel campo dell'intelligenza artificiale, dopo tredici anni di esperienze tra Europa e Asia. All'inizio la startup si occupava di creare prodotti business, ma il mio interesse per l'intelligenza artificiale e le nuove tecnologie "esponenziali" andava oltre il semplice software aziendale. Mi piaceva affrontare la tematica da un punto di vista più visionario e speculativo. Così ho deciso di creare un'associazione culturale, Umanesimo Artificiale (che è tuttora una non-profit, anche se stiamo parallelamente aprendo uno studio), identificando in una domanda di ricerca quella che era la mia curiosità: "Cosa significa essere umani nell'era delle intelligenze artificiali?". La tecnologia ha sempre accompagnato e spesso accelerato il progresso umano, ma mai come ora ha raggiunto una capacità di auto-apprendimento tale da avvicinarsi sempre di più al modo di pensare umano, facendo proprie competenze un tempo impensabili per un computer. Ancor più impensabile, era che un computer potesse

svolgere queste attività meglio di quanto possa farlo un essere umano. Questo ci spinge a ridefinire chi siamo come individui e, come tali, chi siamo all'interno della società. Questo percorso deve partire da un processo di introspezione, in cui il canale artistico può svolgere un ruolo molto importante.

FG: Dopo essersi formato professionalmente all'estero, ha deciso di avviare questo progetto in Italia, integrando profondamente il suo lavoro nel contesto locale.

Qual è stata la sua impressione al momento del ritorno e come descriverebbe il contesto culturale italiano in relazione alle tematiche legate al suo ambito di ricerca?

FR: Umanesimo Artificiale è nata perché nella zona (Fano, Romagna e Regione Marche) non c'era nessuna realtà che affrontasse questi temi, soprattutto da un punto di vista artistico. È nata da un'esigenza concreta e – come dico spesso – ha senso proprio perché è a Fano, una cittadina di 60.000 abitanti. Anche se collaboriamo con diverse realtà in Italia e in Europa, è in luoghi come Fano che è importante parlare di intelligenza artificiale, cyborg art, e proporre eventi di arte, scienza, tecnologia per riflettere sull'impatto delle nuove tecnologie sulla società, affinché non siano temi relegati solo alle grandi città, già sature di questi discorsi.

441 Mi piace anche ricordare che Fano a cavallo tra gli anni '90 e 2000 ha ospitato Il Violino e La Selce, un festival con direttore artistico Franco Battiato, che ha ospitato artisti come Ryoji Ikeda, Pan Sonic, Coil, Bjork (in esclusiva nazionale), Steve Reich, Lou Reed e altri. Culturalmente Fano è sempre stata attiva e ricettiva, fin dai tempi dell'Antica Roma. Fano infatti è stata una colonia romana ed è la città che ospitò Vitruvio che la citò anche nel suo De Architectura.

Quello che abbiamo trovato è curiosità da parte del pubblico, anche se talvolta con un po' di "timore reverenziale" verso queste tematiche che per alcuni sono sensibili. In questo, però, credo l'arte può aiutare ad avvicinare un pubblico sempre più ampio. Per quanto riguarda le istituzioni, preferisco sorvolare, ma non essersi istituzionalizzati ci permette di rimanere indipendenti e di dire/fare quello che più ci piace. Magari qualcosa cambierà in futuro, un po' ci spero, e magari può aiutare il fatto che Pesaro 2024 Capitale Italiana della Cultura quest'anno ci abbia affidato la curatela di un programma di dossier all'interno del ricco programma di eventi della capitale della cultura.

FG: Umanesimo Artificiale appare come un laboratorio multidisciplinare in costante crescita. Potrebbe fornirci una panoramica sull'evoluzione del progetto descrivendo le attività e le iniziative promosse negli ultimi

anni?

FR: I primi eventi sono stati performativi, con i Nonotak e Robert Henke (Monolake) al Teatro della Fortuna e Caterina Barbieri alla ex Chiesa San Francesco, una spettacolare chiesa a cielo aperto in centro a Fano. Fin da subito abbiamo iniziato a fare anche workshop su livecoding, processing, touchDesigner e laboratori per bambini su pensiero computazionale e scratch. L'evoluzione è stata poi verso progetti di ricerca, sia su commissione sia interni di ricerca personale. Oggi abbiamo il Transmedia Research Institute che sperimenta nuovi formati di ricerca e formazione. Stiamo lanciando uno studio, Operating system, per portare avanti progetti che come associazione culturale non riusciamo a portare avanti. Rimane sempre l'associazione culturale Umanesimo Artificiale per progetti più trasversali.

Tutto cresce e si modifica in modo organico, in base alla curiosità personale e alle connessioni e collaborazioni che nascono. Negli ultimi anni, la domanda "che cosa significa essere umani nell'era delle intelligenze artificiali" ci ha portato a investigare tecnologie che si avvicinano sempre di più al corpo umano, arrivando anche a perforarlo.

Quindi implantables: impianti transcranici come il cyborg Neil Harbisson o impianti neurali come ad esempio Neuralink di Elon Musk; ingestibles come Stomach Sculpture

442 di Stelarc o nanorobot ingeribili; wearable technology: e-skin, second skin in biomateriali e tutta la ricerca di Luca Pagan su embedded technology. Per arrivare infine alla tecnologia intorno al corpo intesa con il concetto di scomposizione e moltiplicazione del corpo nelle reti.

FG: Le premesse culturali del suo lavoro permettono di analizzare l'applicazione della tecnologia in maniera trasversale, da ambiti culturali ed espressivi fino alle scienze applicate. In relazione alla sua esperienza, quale forma d'arte riesce a metabolizzare e a reinterpretare al meglio le possibilità introdotte dall'integrazione del tecnologico?

FR: Non provenendo da un background artistico "classico" ma più scientifico e tecnologico, ed essendo interessato tanto all'output finale quanto al processo sperimentale che lo ha generato, mi sono sentito fin da subito a mio agio nel territorio di mezzo tra arte, scienza e tecnologia. Nel mio passato da consulente ho lavorato a progetti che coinvolgevano l'MIT Media Lab e i suoi professori, visitandolo varie volte. L'MIT Media Lab è una fonte di forte ispirazione per Umanesimo Artificiale.

C'è un termine bellissimo che usa il Media Lab del MIT di Boston per questo tipo di approccio: "antidisciplinarietà", definita come l'insieme di spazi bianchi tra le varie discipline, con un

proprio linguaggio, framework e metodologie.

Quando rispondo a domande su cosa facciamo oppure a che progetti lavoriamo, rispondo sempre che indipendentemente dai progetti – tanti e molto diversi l'uno dall'altro – ciò che caratterizza Umanesimo Artificiale è l'approccio antidisciplinare con il quale affrontiamo ogni singolo progetto. Questo è quello che ci viene riconosciuto, è quello che il nostro pubblico e i nostri partner si aspettano, ed è quello che ricerchiamo nei nostri collaboratori.

Lavoriamo a progetti in cui la parte artistica e quella scientifica iniziano insieme, al giorno zero, allo stesso livello e procedono parallelamente influenzandosi a vicenda. È un modo più complesso rispetto ad abbellire un esperimento scientifico o coinvolgere uno scienziato a giochi fatti per rendere più credibile un progetto artistico, ma dà i suoi frutti.

INTERVISTA

⁴⁴³ JOÃO ENXUTO
E ERICA LOVE

CRYPTO COFFER: UN'INDAGINE SULL'AUTONO- MIA E IL VALORE DELL'ARTE

BIO

João Enxuto ed Erica Love collaborano a progetti che esaminano le dinamiche di valore e lavoro nelle economie creative. Enxuto ha conseguito un MFA in Fotografia presso il RISD, mentre Love ha ottenuto due lauree presso la Brown University in Economia e Arti Visive, oltre a un MFA presso la UCLA. Insieme, sono stati borsisti al Whitney Museum Independent Study Program e hanno ricevuto una borsa di studio dalla New York Foundation for the Arts (2023 e 2017) e un Creative Capital Andy Warhol Foundation Arts Writers Grant. Hanno tenuto conferenze ed esposto le loro opere presso il Whitney Museum of Art, il New Museum, l'Anthology Film Archives, il Carriage Trade, il Walker Art Center, il Centre Pompidou, l'Edith-Russ-Haus, il Louisiana Museum in Danimarca, il Museo Tamayo e in altre sedi internazionali. I testi di Enxuto e Love sono stati pubblicati da Verso Books, MIT Press, Sternberg Press, Mousse Magazine, Art in America, Walker Artist Op-Eds, Wired Magazine, X-TRA Contemporary Art Quarterly e altrove. Hanno insegnato presso la Cooper Union, la New York University, il City College di New York, il New Centre for Research and Practice e la Maumaus di Lisbona. Fanno parte del Board of Advisors di Weird Economies e sono borsisti presso la Berlin University of the Arts (UdK).

446 **FG:** La vostra opera Crypto Coffer ha come oggetto una delle blockchain più famose del mondo, Ethereum. Per poter comprendere al meglio l'opera è necessario conoscere alcune informazioni tecniche. Potreste spiegarci che cos'è Ethereum e come funziona?

JE,EL: Ethereum è una rete blockchain decentralizzata attiva dal 2015 che permette la creazione e l'esecuzione di smart contract, contratti auto-eseguibili con i termini scritti direttamente nel codice. La sua criptovaluta nativa, Ether (ETH), viene impiegata per pagare le transazioni e i servizi computazionali all'interno della rete. A differenza della blockchain di Bitcoin, la blockchain di Ethereum è progettata per essere programmabile, offrendo agli sviluppatori la possibilità di creare applicazioni decentralizzate (DApp) che operano senza necessità di un controllo centralizzato. Nel settembre 2022, Ethereum ha completato la transizione da un sistema di consenso basato sul "proof-of-work" (PoW) a uno "proof-of-stake" (PoS). Questo aggiornamento, noto come Ethereum 2.0, è stato introdotto per migliorare la scalabilità e ridurre il consumo energetico fino al 99%.

FG: Che cos'è Crypto Coffer e qual è il suo significato?

JE,EL: La nostra pratica collaborativa ha sempre esaminato le dinamiche politiche delle economie creative. Attraverso il nostro lavoro abbiamo cercato di andare oltre l'indagine critica per immaginare cosa potrebbe significare una vera autonomia per artisti e lavoratori dell'arte. Crypto Coffer, e la serie di cui fa parte, si basa sulla creazione di prototipi che generano attivamente valore derivato mentre partecipano al processo creativo. La serie include (nell'ordine in cui sono stati creati) The Mining Museum, Crypto Coffer e Final Miner: tutte e tre le sculture computazionali mettono in relazione il consumo energetico del mining di criptovalute basato sul proof-of-work con l'eccesso di lavoro creativo non retribuito. Ogni scultura è uno strumento site-specific per reindirizzare valore (simbolico e materiale) nel campo artistico.

Le dimensioni di Crypto Coffer rispettano le normative internazionali per il bagaglio a mano negli aerei. All'arrivo in una destinazione espositiva, una fiera d'arte, un panel o un simposio, il Crypto Coffer viene facilmente assemblato e utilizzato per verificare il proof of work. I token Ethereum generati in sincronia con un'attività lavorativa vengono conservati nel nostro portafoglio virtuale (coffer). Le istituzioni ospitanti devono solo fornire una presa elettrica e una connessione Wifi stabile.

447 **FG:** Come detto in precedenza, nel settembre 2022 Ethereum è stato oggetto di un aggiornamento che ha definitivamente rimosso il meccanismo di concesso “proof of work” (PoW) a favore del “proof of stake” (PoS). Questo cambiamento ha reso il vostro strumento obsoleto, trasformandolo in un manufatto di archeologia digitale. Potreste parlarci di questo evento e del nuovo valore che la vostra opera ha acquisito?

JE,EL: La terza iterazione della serie, Final Miner, è stata installata poco prima che avvenisse “The Merge”, ovvero il momento in cui, a seguito di un aggiornamento della rete, i protocolli di proof-of-work di Ethereum sono passati a un sistema di proof-of-stake. Final Miner è una custodia per computer in acrilico nero che esegue il mining di ETH. Questa scultura è stata installata e attivata alla fine di agosto 2022 proprio per eseguire verifiche di proof-of-work nelle ultime settimane in cui il processo è stato attivo. Il display del computer visualizza la scrittura dei blocchi su un registro decentralizzato, permettendo di monitorare in tempo reale il processo di proof-of-work. Le criptovalute ottenute come premio sono state trasferite direttamente al nostro portafoglio virtuale, questo perché Final Miner è stato concepito come un sistema in grado di offrirvi un sostegno finanziario per il periodo in cui l'opera è rimasta esposta presso il Banner Repeater, uno spazio gestito da artisti situato

su una piattaforma del sistema ferroviario Overground di Londra. Il mining è terminato il 15 settembre 2022 con l'interruzione del protocollo proof-of-work (PoW). Il nuovo sistema proof-of-stake (PoS) è composto da una serie di validatori, che per poter partecipare devono mettere in “stake”, e quindi possedere, 32 token ETH (attualmente \$88,000 USD), condizione che genera perplessità sull'esclusività di questo processo. Infatti, sebbene il tanto atteso passaggio al PoS promette di ridurre le emissioni di carbonio emesse dalla rete ETH, limita le ricompense per la validazione a coloro che sono già in possesso di una grande quantità di criptovalute, escludendo di fatto chiunque altro dalla possibilità di beneficiare di questo meccanismo. Final Miner è l'ultimo di una trilogia di sculture per il mining di criptovalute che abbiamo realizzato a partire dal 2018. Da quando è avvenuto “The Merge”, Final Miner è diventato un oggetto inerte su uno scaffale di Banner Repeater. Il display del computer, che trasmetteva una sequenza di hash per il mining è spento, e la custodia in acrilico nero funge da urna per le componenti hardware. Ora che l'opera non svolge più la sua funzione originale, il suo valore si è trasformato da pratico a puramente simbolico. Pertanto, resta da determinare se l'obsolescenza funzionale di Final Miner avrà un impatto positivo o negativo sul suo valore di mercato.

448 **FG:** Crypto Coffer è un mezzo con il quale poter indagare il sistema di valori che caratterizza l'attività artistica. Qual è secondo voi lo stato attuale di questa economia?

JE,EL: Nella nostra carriera artistica, abbiamo identificato un paradosso: le nuove tecnologie digitali hanno amplificato il potere di mercato della speculazione e delle reti di reputazione nel settore artistico, senza però creare un'infrastruttura capace di contrastare la crescente disuguaglianza tra i produttori culturali. In realtà, si è rivelato che internet, pur avendo un effetto di massa, non è riuscito a democratizzare il mondo dell'arte. Per questo motivo, stiamo orientando il nostro lavoro futuro verso la risoluzione di problemi strutturali nel campo dell'arte, come l'opacità e la scarsità. Tecnologie recenti come la blockchain e l'intelligenza artificiale offrono numerose possibilità, ma introducono anche nuove complessità. L'adozione di tecnologie potenzialmente emancipatorie è spesso guidata dai cicli di hype e dalla volatilità dei mercati.

Mentre stavamo lavorando alla nostra serie di sculture per il mining proof-of-work, il mercato dell'arte stava interagendo con le criptovalute principalmente attraverso i "non-fungible tokens" (NFT). Sebbene il fenomeno degli NFT abbia temporaneamente consentito a pochi individui di guadagnare ingenti quantità di criptovalute, questi nuovi mercati tendevano a

premiare la novità e la speculazione, eludendo i criteri estetici consolidati. Alla fine, la bolla degli NFT non è riuscita a sfruttare appieno il potenziale trasformativo della blockchain, ma ha piuttosto rafforzato l'eccezionalismo economico dell'arte contemporanea. Gli NFT erano collezionabili perché progettati per codificare singolarità e scarsità, caratteristiche che non rappresentano vantaggi, ma piuttosto difetti, per un'economia dell'arte giusta ed equa. Il nostro impegno con Ethereum riguardava i mezzi di produzione: il mining, non la coniazione. Le nostre tre sculture di mining operavano entro i limiti imposti dai protocolli tecnologici e dall'orizzonte dell'obsolescenza. Mentre la rete Ethereum continua a espandersi sotto il sistema proof-of-stake, il mercato dell'arte contemporanea cerca disperatamente il prossimo strumento speculativo per evitare di scivolare ulteriormente nella recessione.

INTERVISTA

449 ILA COLOMBO

ESPANDERE L'ARCHITETTURA DEL POSSIBILE

BIO

Ila Colombo è una pluripremiata artista e direttrice creativa con oltre un decennio di esperienza nel mondo all'avanguardia del Design, dell'Arte, dell'Architettura e della Tecnologia. La sua prospettiva unica combina il calcolo spaziale, la stampa 3D, installazioni di design-arte e opere concettuali, spingendo i confini dell'innovazione nel design. Con una passione per pratiche sostenibili, design algoritmico e biomorfico, Ila ha lasciato il segno presso lo studio di design del celebre designer britannico Ross Lovegrove, offrendo pensiero creativo, sviluppo craft-tech e direzione artistica per progetti legati a oggetti commerciali, opere sperimentali speculative, iterazioni AI, collaborazioni con brand e mostre internazionali.

La sua attuale ricerca sugli impatti pratici e filosofici dell'AI generativa nelle industrie creative coinvolge aspetti legati ai flussi di lavoro multi-modal, formazione dei team, educazione degli studenti e considerazioni etiche. Ila è co-fondatrice di DEOND, una pratica multidisciplinare con sede a Dubai che si occupa di AI, ricerca e sviluppo (R&D) e produzione additiva (3DPA), fondendo creatività umana e computazione avanzata con fabbricazione digitale. Ila Colombo è membro del RIBA e membro designato del Program Advisory Board per l'Architettura presso l'American University di Dubai (AUD). Recentemente ha contribuito al report di riferimento "AI for Creative Industries" della Dubai Future Foundation e del Centre for the Fourth Industrial Revolution, evidenziando principi fondamentali, intuizioni e linee guida per l'uso della tecnologia.

452 **FG:** Nel suo lavoro emerge un interesse particolare per l'intelligenza artificiale come mezzo per costruire un nuovo rapporto tra natura e architettura. Potrebbe parlarci di questo suo approccio citando alcuni lavori realizzati?

IC: Sì, la mia ricerca esplora il potenziale trasformativo dell'intelligenza artificiale come mediatore tra sistemi naturali e progettazione architettonica, cercando di decodificare e sfruttare la profonda intelligenza biologica che ci circonda. Questa intersezione rappresenta non solo un progresso tecnologico, ma un cambiamento fondamentale nel modo in cui comprendiamo e traduciamo la saggezza intrinseca della natura in ambienti costruiti. Al centro del mio lavoro c'è la consapevolezza che i sistemi naturali possiedono reti di comunicazione sofisticate e strategie adattive che si sono evolute nel corso di milioni di anni. Grazie alle capacità analitiche dell'IA, ora possiamo decodificare questi modelli prima impercettibili, dai sottili dialoghi chimici tra flora e fauna alle complesse proprietà strutturali dei materiali organici. Questa lente tecnologica ci consente di osservare e imparare dall'intelligenza della natura a scale e velocità senza precedenti. Ci sono alcune aree chiave di interesse: in primo luogo, l'applicazione dell'apprendimento automatico per analizzare i modelli di comunicazione interspecie, rivelando principi di progettazione che

possono informare soluzioni architettoniche più reattive e integrate. In secondo luogo, l'uso dell'intelligenza artificiale nella scienza dei materiali, dove possiamo sia comprendere i materiali naturali esistenti a un livello più profondo sia generare nuove composizioni bio-ispirate che combinano prestazioni e sostenibilità.

Tuttavia, questo progresso tecnologico porta con sé le sue considerazioni ecologiche. Le significative risorse computazionali richieste per i sistemi di intelligenza artificiale, in particolare in termini di consumo di acqua per il raffreddamento e di richieste di energia, presentano un paradosso che richiede la nostra attenzione. È interessante notare che ritengo che questa sfida rappresenti di per sé un'opportunità: indirizzando le capacità di risoluzione dei problemi dell'intelligenza artificiale verso l'ottimizzazione del proprio impatto ambientale, possiamo lavorare verso approcci computazionali più sostenibili.

FG: Di recente ha partecipato allo sviluppo del report "Artificial Intelligence in Creative Industries", prodotto dalla Dubai Future Foundation, che delinea linee guida per lo sviluppo, la regolamentazione e l'uso dell'intelligenza artificiale. Quali implicazioni vede in queste direttive per il futuro delle industrie creative e per il nostro rapporto con la tecnologia?

453 **IC:** Il mio contributo al report della Dubai Future Foundation su “Intelligenza artificiale nelle industrie creative” rappresenta un momento critico nel nostro dialogo collettivo sul futuro della pratica creativa. Il lavoro pionieristico della Fondazione si distingue in un panorama in cui poche istituzioni si stanno impegnando con le profonde implicazioni dell'intelligenza artificiale generativa a un livello così fondamentale. Il loro impegno nel promuovere un discorso sostanziale su queste tecnologie trasformative crea un quadro essenziale per comprendere e dare forma all'evoluzione delle industrie creative. La velocità senza precedenti del progresso dell'intelligenza artificiale ci pone in un affascinante punto di svolta in cui la natura stessa della pratica creativa viene ridefinita. Sebbene non possiamo prevedere con precisione i contorni delle carriere creative nemmeno tra cinque anni, la nostra attuale analisi di modelli e sfide emergenti ci consente di sviluppare interventi ponderati e linee guida per i futuri professionisti. In quest'ottica, il rapporto non costituisce semplicemente un insieme di linee guida, ma un documento vivo che riconosce la relazione dinamica tra creatività umana e sviluppo tecnologico. Una delle sfide più avvincenti che emergono dalla mia ricerca e dalle mie osservazioni è quella che definisco “passività algoritmica”, un cambiamento sottile ma significativo nei modelli di

coinvolgimento creativo sia a livello educativo che professionale. Nel nostro ecosistema saturo di contenuti, l'efficienza seducente delle soluzioni generate dall'intelligenza artificiale può portare a una forma di pensiero creativo abbreviato, in cui i professionisti possono ricorrere a generazioni “abbastanza buone” anziché impegnarsi nell'esplorazione profonda e iterativa che caratterizza il lavoro veramente innovativo. Questa tendenza si manifesta in tutte le discipline, dal discorso scritto alla concettualizzazione architettonica, riducendo potenzialmente la ricca complessità dell'espressione creativa umana. L'emergere di un'economia creativa post-scarità, in cui le capacità generative si avvicinano allo zero marginal cost, presenta sia opportunità straordinarie che sfide profonde. La vera preoccupazione non è la democratizzazione degli strumenti creativi, ma piuttosto la potenziale atrofia di ciò che rende la creatività umana unicamente preziosa: la nostra capacità di interpretazione sfumata, risonanza emotiva e comprensione contestuale. Ecco perché sostengo quella che chiamo “unicità coltivata”, una pratica che abbraccia il progresso tecnologico mantenendo al contempo un impegno incrollabile per un profondo coinvolgimento umano e la creazione di significato. La strada da seguire, credo, sta nello sviluppo di quella che potrebbe essere definita “creatività ibrida”, un approccio che sintetizza l'intuizione umana

8 INTERVISTE

454 con le capacità dell'IA attraverso flussi di lavoro ponderati e multimodali. Questo framework incoraggia i professionisti a sfruttare l'IA non come sostituto della creatività umana, ma come estensione delle nostre capacità cognitive, consentendo un'esplorazione più approfondita e un'articolazione più sfumata della visione creativa.

FG: In collaborazione con lo studio Deond, da lei fondato, ha partecipato alla progettazione di un'installazione per la Dubai Design Week. Potrebbe raccontarci di questo progetto e di come l'intelligenza artificiale sia stata utilizzata nel processo creativo e progettuale?

IC: L'installazione HUG per la Dubai Design Week rappresenta un'affascinante convergenza di intuizione umana e aumento tecnologico, dove i confini tra processi di progettazione organici e digitali diventano deliberatamente fluidi. La concezione del progetto è emersa da un'ideazione creativa puramente umana per la sua struttura architettonica, dimostrando il valore duraturo del pensiero progettuale tradizionale nel dare forma alle esperienze spaziali. Dove l'intelligenza artificiale è entrata nel processo creativo è stato nella visualizzazione e nell'esplorazione concettuale della narrazione interna dell'installazione: l'Holistic Unified

Garment. Questo pezzo speculativo esamina la relazione in evoluzione tra biologia umana e tecnologia adattiva, immaginando un futuro in cui i sistemi indossabili trascendono la mera funzionalità per diventare estensioni semi-autonome del nostro sé biologico.

Il processo di visualizzazione assistito dall'intelligenza artificiale ci ha permesso di sondare più a fondo questo territorio concettuale, rendendo tangibili le possibilità astratte dei materiali bioreattivi e dei sistemi adattivi intelligenti. Questa esplorazione riflette la mia più ampia indagine artistica sulla sintesi dei sistemi biologici con l'anatomia umana e le tecnologie emergenti. L'opera postula un futuro in cui i confini tradizionali tra natura, tecnologia e coscienza umana diventano sempre più permeabili, suggerendo nuovi paradigmi di integrazione ambientale e corporea. Il padiglione architettonico stesso è emerso da un diverso tipo di dialogo, tra progettazione computazionale e artigianato dei materiali.

Scegliendo il cartone, un materiale fondamentalmente analogico e planare, abbiamo deliberatamente creato una tensione tra complessità digitale e semplicità dei materiali. Il processo di progettazione parametrica ha spinto contro i vincoli intrinseci del materiale, creando un'interessante dialettica tra possibilità computazionale e limitazione fisica. Questa tensione si è infine

455 risolta in ciò a cui aspiriamo in DEOND “artigianato digitale definitivo”, dove il lavoro manuale umano, guidato da framework computazionali, trasforma materiali di base in forme complesse ispirate alla natura. Il risultato è stata una sintesi inaspettata di processi digitali e analogici, in cui la forma finale faceva riferimento a strutture naturali, pur mantenendo la propria identità architettonica unica. Questo approccio esemplifica quella che ritengo sia una direzione cruciale nel design contemporaneo: l'integrazione ponderata di metodi computazionali avanzati con l'artigianato tradizionale, creando opere che onorano sia l'innovazione tecnologica sia l'intelligenza tattile umana.

EG: Negli ultimi anni ha partecipato a numerose conferenze ed esposizioni internazionali, confrontandosi con esperti del settore in diverse parti del mondo. Qual è la sua visione sullo stato attuale del rapporto tra architettura e intelligenza artificiale? E quali sviluppi ritiene possano emergere nel prossimo futuro in questo campo?

IC: Attraverso il mio impegno con esperti e professionisti globali su numerose piattaforme internazionali, ho osservato un'evoluzione affascinante nella relazione tra architettura e intelligenza artificiale, che sfida la semplice categorizzazione e

rivela invece un ricco arazzo di approcci e metodologie individualizzati. Ciò che emerge non è un'adozione monolitica della tecnologia, ma piuttosto un ecosistema diversificato di framework e flussi di lavoro personali, ognuno dei quali riflette interpretazioni uniche del ruolo dell'IA nella pratica architettonica. Questa eterogeneità negli approcci di implementazione rappresenta un profondo cambiamento rispetto alle metodologie standardizzate tradizionali. Stiamo assistendo all'emergere di quella che potrebbe essere definita “personalizzazione computazionale”, in cui i professionisti sviluppano relazioni altamente individualizzate con i sistemi di intelligenza artificiale, realizzando flussi di lavoro su misura che si allineano alle loro specifiche filosofie di progettazione e ai requisiti di progetto. Una tendenza significativa che si sta materializzando nel settore si concentra sulle applicazioni predittive e preventive, in cui l'intelligenza artificiale funge da potente strumento per la modellazione di scenari e l'ottimizzazione spaziale. Questi sistemi vanno oltre la semplice pianificazione dello spazio per comprendere sofisticate simulazioni post-occupazione, consentendo una comprensione più sfumata di come gli ambienti costruiti si evolvono e si comportano nel tempo.

Tuttavia, ritengo che abbiamo appena scalfito la superficie del potenziale dell'intelligenza artificiale, in particolare

8 INTERVISTE

456 per quanto riguarda l'impatto ambientale dell'architettura. Una delle opportunità più urgenti risiede nell'applicazione dell'intelligenza artificiale ai principi dell'economia circolare e alla gestione dei rifiuti nell'edilizia. La cruda realtà che oltre il 30% dei materiali da costruzione finisce come rifiuto, unita al traguardo sconcertante raggiunto nel 2020 in cui la massa antropica ha superato la biomassa globale, richiede un intervento tecnologico urgente. L'intelligenza artificiale potrebbe rivoluzionare il nostro approccio alla gestione del ciclo di vita dei materiali, alla previsione dei rifiuti e ai principi di progettazione circolare.

Nella professione è emersa un'affascinante dicotomia tra quella che definisco "architettura digitale nativa", ovvero progetti che esistono principalmente nel regno virtuale, e la "pratica aumentata dalla realtà", in cui l'IA funge da strumento per affrontare sfide ambientali e sociali tangibili. Sebbene attualmente ci sia un'attenzione significativa sull'applicazione dell'IA per l'ottimizzazione del capitale e la pianificazione dello spazio basata sul ROI, la vedo come una fase di transizione. La generazione emergente di architetti sembra pronta a reindirizzare questi potenti strumenti verso applicazioni più sostenibili e socialmente consapevoli.

Guardando al prossimo futuro, prevedo

diversi sviluppi chiave: in primo luogo, l'integrazione dell'IA con dati biometrici e ambientali consentirà probabilmente un'architettura più reattiva e adattabile. In secondo luogo, potremmo assistere all'emergere di sistemi di "intelligenza ibrida" che combinano l'intuizione umana con l'apprendimento automatico per affrontare complesse sfide urbane. Infine, mi aspetto uno spostamento verso quello che potrebbe essere chiamato "calcolo rigenerativo", in cui gli strumenti di IA sono specificamente progettati per supportare e migliorare il ripristino ecologico attraverso l'architettura. Questa evoluzione presenta sia opportunità straordinarie che profonde responsabilità per la nostra professione.

La chiave non sta nell'adozione su vasta scala della tecnologia, ma nell'integrazione ponderata che amplifica la capacità dell'architettura di affrontare le urgenti sfide globali mantenendo al contempo il suo ruolo fondamentale di disciplina incentrata sull'uomo.

INTERVISTA

⁴⁵⁷ MARCO CANINI

SCALABILITÀ E POTENZA: I CONFINI DEL DEEP LEARNING

BIO

Marco Canini è professore associato di informatica presso la KAUST. Ha conseguito il dottorato di ricerca in informatica e ingegneria presso l'Università di Genova nel 2009 dopo aver trascorso l'ultimo anno come studente ospite presso l'Università di Cambridge. È stato ricercatore post-dottorato presso l'EPFL e ricercatore senior presso Deutsche Telekom Innovation Labs e TU Berlin. Prima di entrare a far parte della KAUST, è stato professore associato presso la UCLouvain. Ha ricoperto posizioni anche presso Intel, Microsoft e Google.

460 **FG:** Il processo di Deep Learning si fonda su tre fattori: potenza computazionale, numero di parametri e dimensione del dataset. Potrebbe spiegarci che cosa sono e a cosa servono?

MC: I modelli di deep learning si basano su un processo di addestramento iterativo, in cui le loro capacità migliorano gradualmente attraverso cicli ripetuti di aggiornamento. Nella fase iniziale, il modello viene avviato con parametri casuali, risultando inizialmente poco efficace. Successivamente, viene esposto a dati specifici, selezionati in base all'attività che deve svolgere. Questi dati sono accompagnati da descrizioni che fungono da "soluzioni", aiutando il modello a comprendere e apprendere il compito da eseguire.

Chiaramente, per poter eseguire i calcoli richiesti dal processo di addestramento, più grande è il modello, e quindi maggiore è il numero di parametri, più elevato sarà il carico computazionale richiesto. Tuttavia, un numero maggiore di parametri consente di estrarre correlazioni più complesse e apprendere dettagli più sottili. Anche la dimensione del set di dati di addestramento è cruciale: dati più voluminosi migliorano la capacità di apprendimento del modello, aumentando l'accuratezza delle predizioni e la qualità complessiva.

In generale, possiamo affermare che nel deep learning, un incremento della potenza

di calcolo, del numero di parametri e della quantità di dati porta a un miglioramento significativo delle prestazioni del modello.

FG: Che cos'è la Legge di Moore e in che modo ha influenzato lo sviluppo e la scalabilità del Deep Learning?

MC: La legge di Moore prende il nome da Gordon Moore, cofondatore e CEO di Intel, che osservò empiricamente come il numero di transistor nei circuiti digitali raddoppiasse approssimativamente ogni due anni. Da una semplice osservazione dei trend storici, emerse una legge che proiettava questa tendenza nel futuro, prevedendo che il miglioramento tecnologico avrebbe permesso all'industria dei semiconduttori di continuare a incrementare le prestazioni dei circuiti aumentando il numero di transistor.

Questa legge ha avuto un impatto significativo sullo sviluppo e la scalabilità del deep learning. Sebbene molti degli sviluppi iniziali nel campo del deep learning risalgano agli anni Settanta con le prime reti neurali, i recenti successi sono stati resi possibili grazie alla disponibilità di grandi quantità di dati e all'incremento della potenza computazionale. Questo aumento di potenza è stato possibile proprio grazie ai progressi tecnologici supportati dalla legge di Moore.

In passato, eseguire calcoli complessi era estremamente costoso, ma oggi, grazie

461 alle GPU, si possono raggiungere livelli di potenza computazionale misurabili in teraflop (un teraflop corrisponde a mille miliardi di operazioni su numeri reali al secondo). Questo ha trasformato radicalmente il panorama moderno, permettendo elaborazioni che una volta erano impensabili.

EG: Una soluzione al problema della scalabilità è il “Distributed Deep Learning”. Quali sono le sue caratteristiche?

MC: Nonostante le previsioni descritte dalla legge di Moore, l'attuale crescita della tecnologia si basa principalmente sulla parallelizzazione dei calcoli su risorse estese, piuttosto che sull'incremento della velocità di calcolo su singoli processori. Tuttavia, uno dei trend che ha subito un rallentamento riguarda la crescita della capacità di memoria e della larghezza di banda per l'accesso alla memoria. Ad esempio, nelle GPU recenti, la quantità di memoria disponibile non sta crescendo allo stesso ritmo con cui cresce la potenza computazionale. Questo rappresenta un problema, poiché i modelli di deep learning richiedono un numero sempre maggiore di parametri per essere efficaci. Quando la memoria di una singola GPU non è più sufficiente, l'addestramento diventa distribuito, utilizzando molte GPU in parallelo per suddividere il carico computazionale. Questo approccio fa parte del distributed

deep learning, che affronta il problema della scalabilità distribuendo il carico computazionale su più GPU. In teoria, ciò consente una crescita lineare della capacità di calcolo e della velocità di addestramento con l'aumento del numero di GPU, riducendo proporzionalmente il tempo necessario per completare l'addestramento. Tuttavia, nella pratica, la scalabilità non è completamente lineare a causa di vari limiti tecnologici. Nonostante queste difficoltà, sono stati compiuti notevoli progressi per rendere il calcolo parallelo sempre più efficiente. A questo ha contribuito l'avvento dei modelli Transformer, utilizzati nei Large Language Models (LLM), che richiedono decine o centinaia di miliardi di parametri, per cui è diventato necessario utilizzare centinaia o migliaia di GPU in parallelo per l'addestramento.

Sebbene ci siano stati grandi miglioramenti, la ricerca continua, coinvolgendo aziende, università e ricercatori di tutto il mondo per rendere queste procedure sempre più efficienti.

EG: Recentemente sono stati pubblicati studi che evidenziano come lo sviluppo dell'intelligenza artificiale basata su reti neurali abbia raggiunto un livello tale da rendere sempre più complesso migliorare l'efficienza dei modelli. È davvero così?

462 **MC:** Sì, è stato dimostrato che, in particolare per i LLM, esiste una forte correlazione tra la potenza computazionale, il numero di parametri e la dimensione dei dataset. L'aumento di questi fattori porta a un miglioramento della qualità dei modelli, ma in modo esponenziale. Ciò significa che per ottenere anche solo un incremento modesto della qualità, è necessario un aumento significativo di tutti questi fattori. Di conseguenza, migliorare l'efficienza dei modelli sta diventando sempre più complesso, poiché i guadagni marginali richiedono enormi investimenti in termini di potenza computazionale, parametri e dimensione dei dataset.

Attualmente, l'addestramento di modelli di grandi dimensioni può costare decine di milioni di dollari, limitando la possibilità di esplorare nuovi approcci o di migliorare significativamente le procedure esistenti. Spesso, si preferisce replicare ricette già collaudate piuttosto che sperimentare soluzioni innovative, data l'elevata complessità e i costi associati.

Questa situazione rende più difficile introdurre nuovi metodi, nonostante l'ampia ricerca e innovazione in corso. Gran parte di questa innovazione è guidata da grandi aziende, che dispongono delle risorse necessarie, mentre l'accademia, pur avendo talento, è limitata dai costi elevati. Inoltre, molte delle conoscenze sviluppate rimangono proprietarie, a causa di

interessi commerciali. Tuttavia, iniziative come i modelli open source, ad esempio LLaMA di Meta, rappresentano un importante contributo alla comunità, promuovendo la condivisione del sapere.

INTERVISTA

⁴⁶³ JOSÉ ANTONIO
CARRILLO

RIPENSARE
L'ESTETICA DEL
PROGETTO
ATTRAVERSO
MODELLI
NATURALI E
INTELLIGENZA
ARTIFICIALE

BIO

José Antonio Carrillo Andrada è architetto, computational food designer e professore associato di architettura presso l'American University di Dubai (AUD). In qualità di ricercatore, José sta svolgendo un dottorato di ricerca in intelligenza artificiale, design computazionale e fabbricazione digitale, con un focus sull'intersezione tra architettura e gastronomia. Fa parte del comitato editoriale della rivista scientifica UOU Scientific Journal of Architecture ed è stato curatore del suo quarto numero, "Gastroecture". Collabora con scienziati, chef e brand in progetti multi-scalari che spaziano da interventi architettonici e interior design a esperienze gastronomiche e innovazione alimentare. In ambito accademico, ha fondato e dirige dal 2018 @archEatable, un progetto interdisciplinare dedicato all'insegnamento di tecniche di design e fabbricazione adattate dall'architettura alla gastronomia. Ha condotto numerosi workshop e corsi di formazione su Rhinoceros, Grasshopper e Computational Food Design. Come relatore, ha partecipato a conferenze e forum internazionali tra cui Foodture Barcelona, GastroInnova Canarias, Food Design Festival Madrid, eFood e PA Parametric Academy. I suoi lavori sono stati esposti in fiere internazionali di architettura e arte, tra cui la Biennale di Architettura di Venezia, Art Dubai e il Sikka Art and Design Festival.

466 **FG:** Può spiegare cos'è la biomimetica?

JAC: La "biomimicry" può essere definita come un processo progettuale fondato sull'emulazione di strategie e strutture presenti in natura, applicate alla risoluzione di problematiche umane. Questo approccio invita progettisti e ingegneri a considerare la natura non solo come fonte d'ispirazione formale, ma come modello, misura e mentore per lo sviluppo di soluzioni in equilibrio con l'ambiente.

Ho avuto modo di sperimentare direttamente questa metodologia nella progettazione della "Wheat Ear Staircase", un progetto nato da una sfida spaziale specifica. Il contesto era un attico di due piani, caratterizzato da un foro nel solaio di dimensioni ridotte (1,90 x 1,90 metri), inizialmente destinato ad accogliere una scala a chiocciola. Tuttavia, i committenti desideravano preservare la continuità visiva tra la cucina e il soggiorno, evitando qualsiasi elemento che potesse compromettere la percezione spaziale. Si rendeva quindi necessario ideare una scala a rampa unica, sviluppata lungo la parete, che risultasse il più possibile discreta e integrata nello spazio disponibile.

La soluzione a questa peculiare esigenza progettuale è emersa dall'osservazione della struttura delle spighe di grano. L'inclinazione dei glumi ha suggerito l'angolazione dei gradini, mentre la disposizione sovrapposta

dei chicchi ha ispirato una configurazione compatta e funzionale. Attraverso un'analisi geometrica iterativa, ho aumentato progressivamente l'angolo dei gradini di 6 gradi, fino a ottenere una profondità confortevole di 28 centimetri nella zona centrale. Il parapetto, ispirato alle ariste delle spighe, oltre a conferire un richiamo visivo alla morfologia naturale, ha contribuito a rafforzare la percezione di stabilità dell'intero sistema, nonostante la sua conformazione non convenzionale.

Il progetto è stato selezionato come finalista alla BIOMIMICRY Design Competition, organizzata da ELEVEN Magazine nel 2017. Quando parlo di ambienti estremi mi riferisco sia allo spazio che a luoghi presenti sulla Terra, come le aree marittime o le regioni polari, io stesso prima di dedicarmi a questo progetto ho lavorato a lungo nel settore marittimo nel ramo della robotica subacquea e della ricerca.

Per quanto riguarda l'ambito dei viaggi spaziali sono sempre stato attratto da una parte del dibattito comune, quella che si domanda se le missioni spaziali debbano prevedere la presenza di robot o di esseri umani. Io penso che i robot siano degli ottimi strumenti, estremamente efficienti per svolgere determinati compiti, ma per un certo tipo di attività che richiedono creatività e ragionamento, l'essere umano non può essere sostituito. Tuttavia, la sua presenza

467 nello spazio dipende dalla disponibilità di infrastrutture adeguate.

Spartan Space è nata con l'intento di portare avanti progetti e ricerche avviati da anni, che rischiavano di essere abbandonati a causa delle difficoltà economiche introdotte dalla pandemia. Attualmente, l'obiettivo principale dell'azienda è sviluppare un habitat per la missione Artemis. Crediamo che sia fondamentale che l'Europa contribuisca non solo alle attività in orbita, ma anche a quelle sulla superficie lunare. L'Europa è il continente degli esploratori, abbiamo un'eredità culturale rappresentata dall'esplorazione del nuovo mondo, che ci impone di non poter ignorare il fatto che tra due o tre anni vedremo degli astronauti americani sulla superficie lunare, i cittadini europei che con le tasse contribuiscono alla ricerca e allo sviluppo inizieranno a porsi delle domande sul perché gli europei non sono coinvolti in questa operazione.

FG: Uno dei tuoi progetti recenti è la mostra "The Art of Taste". Puoi parlarcene?

JAC: La mostra "The Art of Taste" combina architettura, biologia, intelligenza artificiale e gastronomia. Presentata al Sikka Art and Design Festival 2024 di Dubai, ha messo in scena la fusione tra design computazionale e arte culinaria, evidenziando come la tecnologia possa rivoluzionare l'esperienza

gastronomica. L'evento includeva installazioni interattive e oggetti commestibili, offrendo ai visitatori un percorso multisensoriale che ripensava il futuro dell'arte culinaria attraverso l'AI-driven design. Il progetto ha proposto un approccio integrato che univa le proprietà biologiche di cinque muffe commestibili — *Aspergillus oryzae*, *Aspergillus sojae*, *Aspergillus luchuensis*, *Aspergillus luchuensis* var. *awamori* e *Penicillium roqueforti* — a metodologie e processi avanzati di design.

Le proprietà gustative e tattili di questi organismi hanno informato la creazione di artefatti culinari generati con AI, comprendenti posate, stoviglie, elementi commestibili, arredi e configurazioni spaziali, tutti pensati per potenziare l'esperienza sensoriale del cibo. Le superfici dei manufatti, irregolari e tattili, fondevano pattern strutturali e texture delle muffe stesse. L'obiettivo principale era ridefinire l'esperienza gastronomica attraverso un design bio-ispirato come base per futuri sistemi alimentari "phygital" (fisici-digitali). Le configurazioni spaziali proposte sono state testate, nella fase preliminare alla prototipazione, con simulazioni in realtà virtuale immersiva. Le fasi successive del progetto riguardano la fabbricazione digitale, attraverso un flusso di lavoro che combina la modellazione 3D di immagini generate tramite intelligenza artificiale con strumenti di progettazione parametrica. L'obiettivo finale è di realizzare un'esperienza gastronomica

468 multisensoriale completamente integrata, in grado di combinare il fisico e il digitale (phygital).

FG: Che ruolo hanno intelligenza artificiale e design computazionale nella tua ricerca che combina natura e gastronomia?

JAC: Da un lato, utilizzo l'intelligenza artificiale per analizzare pattern e processi biologici complessi, che ispirano progetti culinari innovativi in grado di imitare forme e funzioni naturali. Dall'altro, gli strumenti di design computazionale e fabbricazione digitale mi permettono di realizzare strutture alimentari complesse, estetiche e funzionali. Nel progetto "The Taste of Textures", ad esempio, l'AI ha supportato la fase concettuale e generativa, traducendo sensazioni gustative in texture complesse, dando vita ad un'esperienza di bioarte culinaria multisensoriale. In questo processo, l'intelligenza artificiale, in particolare le tecnologie generative e i modelli di diffusione latente, non sostituiscono la creatività umana ma ricoprono il ruolo di co-autori. Nel caso di "The Art of Taste", il flusso di lavoro è iniziato con l'analisi delle caratteristiche di biomateriali — pattern di crescita, proprietà strutturali ed estetiche — che l'AI ha poi tradotto in concetti progettuali per oggetti commestibili. Questa integrazione tra "biomimicry" e "food design" richiede efficienza, sostenibilità e

coinvolgimento sensoriale. Oltre alla fase ideativa, l'AI ha un ruolo chiave anche nella modellazione predittiva e nell'ottimizzazione dei comportamenti dei materiali, riducendo la dipendenza dalla sperimentazione empirica. Utilizzo algoritmi di machine learning per prevedere proprietà come la biodegradabilità e la compatibilità biologica, in linea con i principi di efficienza propri dei sistemi naturali. Pionieri come Frei Otto e Antoni Gaudí applicavano la "biomimicry" con modellazione manuale; oggi gli strumenti computazionali permettono di estendere questi principi a sistemi alimentari innovativi, sostenibili e performativi. L'unione di natura, creatività computazionale e scienza dei materiali apre nuove possibilità per progettare esperienze gastronomiche ispirate a processi biologici e ottimizzate da flussi AI-driven.

FG: In che modo questo approccio può influenzare l'architettura contemporanea, e che ruolo ha l'intelligenza artificiale in questa trasformazione?

JAC: Tradizionalmente, l'architettura si è fondata sull'osservazione empirica e su processi di modellazione iterativa. Oggi, l'intelligenza artificiale introduce nuove possibilità, permettendo di analizzare, ottimizzare e realizzare strutture complesse con una rapidità e una precisione senza precedenti. I processi generativi "AI-driven" agevolano la visualizzazione, la

469 simulazione e l'ottimizzazione, mentre i metodi di design computazionale facilitano le iterazioni in tempo reale, assicurando una risposta dinamica dell'architettura alle condizioni ambientali, in modo analogo ai sistemi biologici. L'integrazione tra AI e progettazione computazionale colma il divario tra flussi digitali e fabbricazione sostenibile, promuovendo principi di progettazione adattivi e rigenerativi.

Gli algoritmi di machine learning possono prevedere il comportamento dei materiali — capacità portante, tassi di degradazione, biocompatibilità — riducendo la necessità di prototipazione fisica. Tecniche come l'ottimizzazione topologica e la modellazione parametrica "AI-driven" migliorano l'efficienza strutturale e riducono gli sprechi. Oltre a prendere parte allo studio della forma e al comportamento dei materiali, l'AI ricopre un ruolo fondamentale nell'architettura reattiva e adattiva. Un esempio sono gli edifici intelligenti dotati di sensori e di sistemi in grado di analizzare in tempo reale i dati raccolti, attraverso i quali è possibile regolare il microclima interno, illuminazione e il consumo di energia, imitando i comportamenti adattivi degli ecosistemi naturali. Ciò si inserisce nel discorso emergente su design biofilico e rigenerativo, dove l'architettura non è più una costruzione statica, ma un sistema vivente in evoluzione.

Sebbene alcuni percepiscano l'intelligenza

artificiale come una minaccia alla creatività umana, il suo ruolo nell'architettura contemporanea può essere più correttamente descritto come un'estensione e un potenziamento dell'ingegno umano. Essa offre un cambiamento di paradigma: dai processi progettuali lineari e deterministici verso un approccio iterativo, esplorativo e in sintonia con i principi naturali. In questo senso, l'AI non è semplicemente uno strumento, ma un catalizzatore per la trasformazione dell'architettura in una disciplina più sostenibile, intelligente e integrata ecologicamente.

8 INTERVISTE

INTERVISTA

⁴⁷¹ PETER WEISS

I NUOVI LIMITI DELL'ABITARE

BIO

Peter Weiss (nato nel 1976) è un ingegnere tedesco con un dottorato in robotica spaziale. Ha studiato mecatronica presso l'Università di Scienze Applicate di Monaco e l'EPF di Parigi. Ha lavorato nel campo della robotica spaziale presso il Centro Aerospaziale Tedesco (DLR) e il Massachusetts Institute of Technology (MIT). Successivamente, si è occupato di robotica subacquea presso Cybernetix a Marsiglia. Peter ha completato la sua dissertazione di dottorato sulle sonde lunari presso l'Università Politecnica di Hong Kong.

In seguito, ha lavorato presso COMEX, gestendo la divisione spaziale dell'azienda. È stato responsabile di vari progetti legati ai voli spaziali umani e ha guidato il team di subacquei incaricati dell'addestramento subacqueo per astronauti europei. Ha partecipato alla costruzione dell'habitat SHEE e ha preso parte a diverse missioni di simulazione, tra cui APOLLO 11 UNDER THE SEA, MOONWALK, MOONDIVE e NEEMO23.

Nel 2021, Peter ha fondato la propria azienda, SPARTAN SPACE, specializzata in habitat per ambienti estremi. SPARTAN SPACE è coinvolta nello sviluppo di diversi habitat spaziali e subacquei, come i Moduli Europei di GATEWAY, EUROHAB e BOB.

Peter ha ricevuto il premio Apophis Mission Design e la Medaglia Francese per la Sicurezza Interna per aver fornito supporto psicologico alle famiglie delle vittime dell'incidente Germanwings come membro della Croce Rossa Francese. Vive con la sua famiglia a Marsiglia, nel sud della Francia, da 20 anni.

474 **FG:** Cos'è Spartan Space e cosa ha ispirato la sua creazione?

PW: Spartan Space è un'azienda francese specializzata nella progettazione e costruzione di sistemi abitativi per ambienti estremi, con l'obiettivo di sviluppare tecnologie che permettano alle persone di vivere e lavorare in questo tipo di condizioni.

Quando parlo di ambienti estremi mi riferisco sia allo spazio che a luoghi presenti sulla Terra, come le aree marittime o le regioni polari, io stesso prima di dedicarmi a questo progetto ho lavorato a lungo nel settore marittimo nel ramo della robotica subacquea e della ricerca.

Per quanto riguarda l'ambito dei viaggi spaziali sono sempre stato attratto da una parte del dibattito comune, quella che si domanda se le missioni spaziali debbano prevedere la presenza di robot o di esseri umani. Io penso che i robot siano degli ottimi strumenti, estremamente efficienti per svolgere determinati compiti, ma per un certo tipo di attività che richiedono creatività e ragionamento, l'essere umano non può essere sostituito. Tuttavia, la sua presenza nello spazio dipende dalla disponibilità di infrastrutture adeguate.

Spartan Space è nata con l'intento di portare avanti progetti e ricerche avviati da anni, che rischiavano di essere abbandonati a causa delle difficoltà economiche introdotte

dalla pandemia. Attualmente, l'obiettivo principale dell'azienda è sviluppare un habitat per la missione Artemis. Crediamo che sia fondamentale che l'Europa contribuisca non solo alle attività in orbita, ma anche a quelle sulla superficie lunare. L'Europa è il continente degli esploratori, abbiamo un'eredità culturale rappresentata dall'esplorazione del nuovo mondo, che ci impone di non poter ignorare il fatto che tra due o tre anni vedremo degli astronauti americani sulla superficie lunare, i cittadini europei che con le tasse contribuiscono alla ricerca e allo sviluppo inizieranno a porsi delle domande sul perché gli europei non sono coinvolti in questa operazione. gradini, mentre la disposizione sovrapposta.

FG: Potrebbe spiegare meglio il legame tra Stati Uniti ed Europa?

PW: È importante sottolineare che la nostra azienda non si pone come competitor di SpaceX o Blue Origin, ma come un attore complementare al loro lavoro. Gli Stati Uniti sono già a uno stadio avanzato della missione Artemis, e il nostro obiettivo è contribuire con ciò che ancora manca. Per l'Europa non avrebbe senso concentrarsi sulla costruzione di razzi o infrastrutture per il decollo e l'atterraggio, ambiti in cui le aziende americane eccellono. Il nostro valore aggiunto sta nel fornire soluzioni per rendere abitabili

475 questi ambienti estremi.

Un altro elemento distintivo rispetto alle principali aziende americane è il nostro approccio collaborativo. Noi non operiamo in modo isolato, ma sviluppiamo i nostri progetti in sinergia con diversi partner, sfruttando infrastrutture ed esperienze già esistenti. Poiché l'obiettivo degli Stati Uniti è stabilire una presenza permanente sulla Luna attraverso la creazione di un campo base, un aspetto cruciale riguarda la catena di approvvigionamento necessaria al mantenimento dell'infrastruttura lunare. Tuttavia, attualmente gli americani sono concentrati sulla corsa a raggiungere il suolo lunare prima di Cina e altre potenze rivali, trascurando ciò che serve per garantire una presenza stabile e duratura. Ed è proprio qui che l'Europa può ritagliarsi un ruolo strategico. Le unità abitative sono solo un esempio di ciò che l'Europa potrebbe offrire. Oltre ad esse, ci sono altre componenti necessarie a garantire la fruibilità del suolo lunare, come le infrastrutture per la produzione di energia o i mezzi da utilizzare per potersi muovere su quel tipo di superficie. Le aziende europee sono oggi in grado di offrire soluzioni a questi problemi, ma devono essere veloci, altrimenti qualcun altro lo farà al posto loro. Noi abbiamo sia le risorse economiche che intellettuali, quello che manca al momento è la volontà politica.

FG: Lei è specializzato in "Habitat e sistemi di supporto alla vita". Quali sono le sfide e le fasi principali della progettazione e dello sviluppo di queste infrastrutture?

PW: Stiamo sviluppando un concept di habitat lunare chiamato Eurohab, progettato come "habitat secondario". Ciò significa che può essere collocato in un punto strategico che può essere raggiunto senza la presenza di esseri umani a bordo. Il suo scopo principale è estendere il raggio d'azione degli astronauti, i cui movimenti devono rimanere entro una distanza di sicurezza che consenta il rientro alla base in caso di emergenza. Eurohab funge quindi da rifugio di emergenza, permettendo missioni più lontane e prolungate. Questa funzione richiede un design essenziale, incentrato esclusivamente sulle funzionalità di base necessarie alla sopravvivenza. Pur collaborando con architetti, la progettazione segue criteri tecnici piuttosto che estetici. Un esempio è l'assenza di finestre, eliminate per ridurre il peso e ottimizzare la configurazione strutturale. Per i sistemi di supporto vitale, stiamo sviluppando una soluzione riutilizzabile integrata con la gestione dell'energia, basata sulla nostra innovativa cella a combustione. La progettazione di componenti riutilizzabili, capaci di operare sulla Luna e rientrare sulla Terra, rappresenta un elemento distintivo del nostro approccio.

476 **FG:** Sebbene il vostro lavoro sia incentrato sull'esplorazione spaziale, molti dei vostri progetti sono stati concepiti anche per essere utilizzati in ambienti estremi sulla Terra. Potrebbe condividere alcuni esempi?

PW: Tra i nostri progetti c'è anche un prototipo di piccola stazione sottomarina. Esistono numerose analogie tra l'ambiente lunare e quello subacqueo, motivo per cui molte delle soluzioni sviluppate per Eurohab possono essere adattate anche a questo contesto. Un esempio significativo è rappresentato dai sistemi di supporto vitale, che in entrambi i casi affrontano le stesse sfide. Per questo motivo, il nostro approccio mira a creare sinergie tra i due ambiti, favorendo il trasferimento di tecnologie da uno scenario all'altro.

Le soluzioni attualmente in fase di sviluppo consentono solo soggiorni di breve durata, anche a causa delle dimensioni ridotte delle strutture. Tuttavia, il nostro obiettivo è prolungare la permanenza, trasformando queste installazioni in vere e proprie stazioni di ricerca.

FG: Nel vostro processo di progettazione, la simulazione delle prestazioni e l'ingegnerizzazione dei componenti svolgono un ruolo fondamentale. Potrebbe illustrarci questi processi e spiegare se utilizzate algoritmi di apprendimento automatico o altre

forme di intelligenza artificiale?

PW: Prima di tutto, vorrei precisare che non amo particolarmente la teoria e la burocrazia, preferisco costruire prototipi in modo rapido ed efficace. Questo perché, per quanto un progetto possa sembrare perfetto sulla carta o sullo schermo di un computer, solo quando lo si realizza fisicamente emergono le vere sfide e difficoltà da affrontare.

Ovviamente, la progettazione, l'ingegnerizzazione e la simulazione sono fasi essenziali, ma credo che in Europa ci sia un problema di approccio che ci porta a produrre innumerevoli report e simulazioni, ma alla fine costruiamo poco. Ci sono progetti che esistono da decenni solo sulla carta senza mai essere concretizzati, e personalmente non trovo questo metodo particolarmente efficace. Quando si sviluppano tecnologie di questo tipo, non basta considerare gli aspetti tecnici, ma anche quelli economici. Creare prototipi estremamente avanzati ma irrealizzabili a causa di costi proibitivi significa sconfinare nella fantascienza.

Detto ciò, anche noi investiamo tempo nella ricerca e nella progettazione, e l'intelligenza artificiale sta diventando sempre più presente in queste fasi.

Ad esempio, di recente abbiamo testato un modello generativo per progettare una tuta spaziale. Tuttavia, i risultati sono stati piuttosto

477 deludenti, al punto che il design finale è stato interamente frutto dell'intelletto umano. Questo esperimento ha confermato la mia convinzione che, pur essendo uno strumento estremamente potente, l'AI richieda comunque la supervisione dell'uomo. Può offrire ispirazione, ma non la soluzione. Nel campo dell'ingegnerizzazione, l'AI è particolarmente utile per identificare componenti standardizzati, come il miglior sensore di rilevamento della temperatura per un determinato contesto, ma non può sostituire il lavoro di un ingegnere. Un'applicazione particolarmente promettente riguarda la gestione degli habitat e della qualità dell'ambiente interno. Il nostro obiettivo è creare un'interazione dinamica tra l'essere umano e l'habitat, permettendo uno scambio di informazioni in tempo reale per ottimizzare le condizioni ambientali.

8 INTERVISTE

INTERVISTA

479 MAREK

SUCHOCKI

STANDARD, INTEROPERABI- LITÀ E INNOVA- ZIONE NEL SETTORE DELLE COSTRUZIONI

BIO

Lavoro in Autodesk da oltre 15 anni, dopo una carriera ventennale nell'industria. In qualità di ingegnere civile abilitato, ho una vasta esperienza nella consulenza per la costruzione e l'ingegneria. Inoltre, ho trascorso quattro anni nella ricerca accademica come ricercatore presso l'Università di Reading.

Prima di entrare in Autodesk, ho lavorato per quattro anni nel dipartimento IT di una società di ingegneria multidisciplinare, dove ero responsabile dei sistemi collaborativi, con l'obiettivo di promuovere l'adozione precoce del BIM all'interno dell'azienda.

Questo background diversificato mi ha fornito esperienza da varie prospettive del settore, incluso un periodo di sei mesi lavorando come committente. Attualmente, in Autodesk, il mio lavoro si concentra sull'interazione con associazioni di settore, come enti professionali quali il Royal Institute of British Architects (RIBA) e l'Institution of Civil Engineers, organizzazioni membri come FIDIC (Federazione Internazionale degli Ingegneri Consulenti), e organismi di normazione come buildingSMART e British Standards.

Inoltre, rappresento British Standards presso il CEN, il comitato europeo per la normazione, in gruppi di lavoro relativi agli Ambienti Comuni di Dati (CDE) e al BIM per le infrastrutture.

482 **FG:** La digitalizzazione del processo progettuale si fonda sulla definizione di standard condivisi, inclusi sistemi di classificazione e il formato IFC. Può spiegarci cos'è e che ruolo svolge in questo processo?

MS: L'Industry Foundation Classes (IFC) è un formato di scambio dati le cui origini risalgono agli anni '90. In quel periodo, un consorzio di aziende del settore software, guidato da Autodesk, avviò uno sforzo collaborativo per affrontare le sfide dello scambio di informazioni tra formati eterogenei, con particolare attenzione agli aspetti geometrici. Questa cooperazione strutturata portò alla formazione della Industry Alliance for Interoperability, che, attraverso una rapida espansione internazionale, si trasformò nella International Alliance for Interoperability (IAI). Questa configurazione multinazionale facilitò il coinvolgimento di esperti da vari contesti nazionali, che contribuirono sinergicamente allo sviluppo dell'IFC. Sebbene inizialmente concepito per applicazioni nel settore edilizio, il formato ha progressivamente esteso il proprio ambito di applicazione alle infrastrutture civili, inclusi ponti e strade — un settore al quale ho personalmente contribuito come uno dei primi ricercatori.

Uno degli errori più comuni riguardo all'IFC è la sua interpretazione riduttiva come semplice formato di archiviazione per modelli geometrici. Al contrario, l'IFC costituisce

un modello dati altamente strutturato, caratterizzato da una rappresentazione dettagliata degli elementi edilizi. La sua architettura gerarchica organizza l'ambiente in livelli progressivi: principalmente edificio, piano, spazio e zona. All'interno di queste categorie si trovano oggetti costruttivi come porte, finestre e pareti. Questa struttura standardizzata consente una rappresentazione coerente e universalmente applicabile. L'adozione dell'IFC è vantaggiosa perché consente ai fornitori di software di sviluppare strumenti compatibili, facilitando l'esportazione e la lettura delle informazioni tra diverse piattaforme, migliorando così l'interoperabilità. La principale sfida dell'IFC, e dei sistemi di classificazione in generale, è garantire una copertura sufficiente per descrivere tutti gli elementi che un ingegnere o un architetto potrebbe progettare. Tuttavia, proprio questa esigenza rappresenta anche il principale limite di tali standard, che spesso non riescono a soddisfare pienamente tutte le necessità dell'industria.

FG: Qual è la situazione dello standard e del suo utilizzo nel mondo?

MS: La classificazione è una questione particolarmente complessa all'interno del settore delle costruzioni. Il buildingSMART Data Dictionary (bSDD) è stato specificamente progettato per consentire l'uso simultaneo di

483 più sistemi di classificazione. È importante notare che, sebbene il bSDD non sia direttamente connesso al formato IFC, i due strumenti sono complementari.

Ad esempio, gli utenti di software come Autodesk Revit o Civil 3D possono accedere al bSDD tramite plugin dedicati, che permettono di assegnare classificazioni appropriate.

All'atto dell'esportazione del progetto in formato IFC, la classificazione selezionata viene mantenuta, consentendo agli utenti successivi di identificare correttamente i rispettivi elementi.

Va detto che la gestione della classificazione può essere affrontata con varie metodologie.

Autodesk, ad esempio, ha sviluppato un proprio kit di strumenti che consente l'applicazione di classificazioni locali ai modelli, disponibile già prima dell'introduzione del bSDD, poiché questa sfida era stata riconosciuta da circa vent'anni.

In molti contesti, in particolare nell'ingegneria civile, i professionisti prestano servizi per enti pubblici come ferrovie, utilities idriche o agenzie stradali. In questi settori, asset come ponti, strade e ferrovie sono progettati, costruiti e gestiti da oltre un secolo, e ciascuna organizzazione ha sviluppato e consolidato i propri sistemi di classificazione.

La flessibilità di servizi come il bSDD evita il rischio di imporre, ad esempio, un nuovo sistema standardizzato globale, che sarebbe impraticabile, considerando che le

aziende possiedono centinaia di database strutturati secondo i loro sistemi attuali. Nel contesto delle infrastrutture, dove gli asset possono essere gestiti per 50 o anche oltre 200 anni, imporre una classificazione unificata risulterebbe del tutto inadeguato e inaccettabile.

FG: Qual è lo stato attuale dell'adozione del BIM e della sua regolamentazione nei diversi paesi? Quali strategie potrebbero essere applicate a livello globale?

MS: Il Regno Unito ha svolto un ruolo pionieristico nel campo del Building Information Modeling (BIM), e ho avuto il privilegio di partecipare personalmente a un'iniziativa del governo britannico che ha portato alla pubblicazione di un'agenda strategica per l'implementazione industriale del BIM.

L'approccio adottato per questa iniziativa è stato caratterizzato da una flessibilità metodologica, evitando prescrizioni eccessive, ed era fondamentalmente basato sulla volontà del governo di promuovere l'adozione del BIM con l'obiettivo primario di ottimizzare la gestione delle informazioni sugli asset. In questo contesto operativo abbiamo sviluppato la serie di standard BS 1192, che in seguito si è evoluta — attraverso una proficua collaborazione con gli organismi internazionali di normazione — nello standard ISO 19650,

484 un processo nel quale ho mantenuto un coinvolgimento attivo.

Storicamente, la transizione dai processi basati sulla carta degli anni '80 e '90 agli scambi digitali ha generato criticità operative significative, disgregando i processi strutturati di gestione della qualità. Riconoscendo questo problema, nel Regno Unito, durante l'esecuzione di progetti infrastrutturali complessi come il Terminal 5 di Heathrow, abbiamo sperimentato flussi di lavoro e approcci di approvazione più raffinati, che sono poi diventati la base per la versione aggiornata della serie BS 1192 e hanno introdotto il concetto di ambiente comune di dati.

Ritornando al tema dell'implementazione del BIM, l'obiettivo strategico nel contesto britannico era quello di migliorare la qualità della gestione informativa, andando oltre il semplice miglioramento del coordinamento geometrico. Oggi molti paesi stanno adottando lo standard ISO 19650 con obiettivi simili, riconoscendone l'efficacia nel garantire una produzione informativa di alta qualità e nella riduzione degli errori evitabili.

A livello globale, si stanno compiendo progressi significativi in questo ambito. L'Europa mostra notevoli avanzamenti nell'adozione del BIM e dell'ISO 19650; Australia e Nuova Zelanda hanno seguito l'approccio britannico, con adattamenti locali. In Medio Oriente, l'implementazione è

rilevante, anche se esistono divari in termini di conoscenza o maturità BIM tra le aziende occidentali e quelle locali.

Nella regione Asia-Pacifico, Singapore dimostra un'adozione particolarmente avanzata, con un forte supporto da parte delle agenzie per le opere pubbliche. Gli Stati Uniti mostrano un'elevata maturità BIM, ma con un'implementazione frammentata degli standard, anche se con un crescente riconoscimento della loro importanza nel settore delle infrastrutture federali.

In America Latina, il Cile emerge come leader a livello globale, mentre in Africa, il Marocco guida l'adozione nella regione settentrionale. Il Sudafrica, pur disponendo di competenze consolidate, mostra un'implementazione non ancora omogenea ma in progressivo miglioramento.

FG: In che modo la migrazione del processo progettuale al cloud può aumentare l'efficienza e facilitare l'integrazione con l'intelligenza artificiale?

MS: Per la nostra azienda, il cloud rappresenta una trasformazione fondamentale in grado di modificare in modo sostanziale le metodologie operative.

Prendendo come esempio l'Industry Foundation Classes (IFC), il paradigma tradizionale si basava sullo scambio di file di grandi dimensioni, in cui la condivisione

485 di informazioni specifiche implicava necessariamente il trasferimento dell'intero pacchetto informativo. La tecnologia cloud introduce la possibilità di una condivisione granulare dei dati, in cui un progettista può scegliere di lavorare in modo collaborativo su un singolo elemento — ad esempio una finestra — senza dover condividere l'intero progetto edilizio, offrendo così un approccio più mirato ed efficiente.

L'intelligenza artificiale (AI) potenzia ulteriormente queste capacità, sfruttando la potenza computazionale distribuita del cloud. Storicamente, le capacità tecniche erano limitate dalla CPU e dalla memoria disponibili sul computer locale. Grazie al cloud computing e agli algoritmi di machine learning, possiamo ora eseguire operazioni con efficienza significativamente maggiore.

Nel considerare il potenziale dell'AI, richiamo spesso il principio di Pareto. Quando lavoravo come ricercatore negli anni '90, evidenziavamo che in genere i professionisti dedicavano l'80% del tempo ad attività di routine e solo il 20% a lavoro creativo e ad alto valore aggiunto. Oggi, il potenziale offerto dall'AI potrebbe invertire questi rapporti, consentendo ai progettisti di dedicare solo il 20% del tempo alle operazioni ripetitive e l'80% al lavoro creativo o strategico.

Un architetto, per esempio, potrebbe ridurre lo sforzo nella progettazione manuale e concentrarsi invece sulla creazione di

edifici più sostenibili, con minore impatto ambientale e una migliore esperienza per l'utente. Inoltre, grazie all'apprendimento dai progetti precedenti, l'automazione AI potrebbe identificare soluzioni progettuali ottimali secondo criteri specifici, consentendo al progettista di selezionare le opzioni più efficaci.

Questo scenario evolutivo è già in atto, e in Autodesk stiamo sviluppando strumenti per migliorare la produttività dei progettisti, in cui l'AI analizza come, ad esempio, un architetto utilizza il software rispetto ad altri professionisti, suggerendo l'esplorazione di funzionalità non ancora utilizzate per aumentare l'efficienza e migliorare l'esperienza complessiva.

Un esempio concreto è la piattaforma Autodesk Forma, che integra l'intelligenza artificiale per supportare i progettisti nell'ottimizzazione dei processi decisionali e operativi. Forma include strumenti potenziati da AI, preziosi ma facili da usare, per architetti e progettisti nella fase preliminare e nello sviluppo schematico. Le API aperte di Forma consentono inoltre a terze parti di integrare funzionalità aggiuntive.

Una preoccupazione comune tra gli architetti è il rischio di essere sostituiti dall'AI. La mia convinzione è che l'AI possa rappresentare una minaccia solo per chi sceglie di non adottarla. Il successo sarà di chi saprà adattarsi, mentre chi resiste al cambiamento

8 INTERVISTE

486 potrebbe incontrare difficoltà. Non prevedo la scomparsa di aziende o professionisti dal mercato, ma piuttosto una riduzione della loro quota di mercato o una concentrazione in nicchie specifiche. Coloro che abbracceranno l'AI saranno in grado di operare in modo più efficiente, ottenendo risultati migliori con maggiore coerenza.

FG: Considerazioni su privacy e sicurezza?

MS: La proprietà intellettuale ha un'importanza fondamentale, e la sua protezione rappresenta una priorità per noi. Abbiamo effettuato investimenti significativi nella nostra politica di fiducia, il cui approccio è descritto nel nostro Trust Center. Solo con il consenso esplicito possiamo impiegare i dati per l'addestramento dei nostri sistemi di intelligenza artificiale; i nostri set di dati di addestramento derivano tipicamente da modelli sintetici, escludendo l'uso di dati privati. Tuttavia, esiste la necessità di esplorare come i settori industriali potrebbero condividere modelli "buoni" e anonimizzati per il miglioramento dell'intelligenza artificiale. In assenza di tale collaborazione, il rischio è che numerose startup entusiaste sviluppino strumenti che non riflettano adeguatamente la realtà, con il potenziale di produrre risultati inaccurati.

Questo solleva un problema di affidabilità: possiamo fidarci delle risposte generate dall'AI? Esperienze comuni con strumenti come ChatGPT hanno evidenziato come risposte apparentemente plausibili possano essere basate su informazioni errate. È fondamentale evitare risultati fuorvianti o inaccurati, ed è per questo che la supervisione da parte di professionisti qualificati nella valutazione dei progetti generati dall'intelligenza artificiale rimarrà indispensabile.

Per consentire al settore di trarre pieno beneficio da questi strumenti, le aziende dovranno prendere in considerazione la possibilità di condividere dati e modelli. Questo processo richiederà tempo e richiederà anche lo sviluppo di modelli specifici per i contesti locali. Ad esempio, i sistemi di intelligenza artificiale potrebbero essere addestrati sull'architettura italiana o su settori specifici, in modo da garantire la conformità con le normative locali e gli standard del settore. L'intelligenza artificiale costituirà senza dubbio un elemento del panorama futuro, ma è essenziale affrontare questa tecnologia con cautela. Nonostante l'entusiasmo diffuso, rimangono questioni aperte sull'applicabilità pratica degli strumenti attualmente disponibili nei progetti reali.

FG: Qual è il suo punto di vista sull'uso di un abaco tecnico-progettuale proprietario

487 come dataset per algoritmi di machine learning nel settore AEC (Architettura, Ingegneria e Costruzioni)? Quali sono i principali vantaggi e le sfide di questo approccio, considerando il suo potenziale per un'integrazione futura con l'intelligenza artificiale?

MS: Se fossi un cliente, esplorerei requisiti contrattuali per cui i miei fornitori forniscano componenti progettuali per costruire una libreria standardizzata. Ripetere lo stesso progetto attraverso molteplici iterazioni di asset comuni rappresenta un'inefficienza evitabile.

Se i clienti si concentrassero sulla creazione di librerie di componenti standardizzati di "asset validati", da condividere con i fornitori coinvolti nelle fasi di progettazione, costruzione e produzione, si avrebbe maggiore fiducia che i progetti possano essere realizzati e che l'asset consegnato possa essere efficacemente mantenuto e gestito.

Un ulteriore valore di questa metodologia sarebbe la possibilità di addestrare l'intelligenza artificiale e gli algoritmi di machine learning sulle librerie approvate, rafforzando ulteriormente la standardizzazione.

Va riconosciuto che molti progettisti, in particolare nel campo dell'architettura, mostrano resistenza alla standardizzazione, preferendo l'espressione della propria creatività; dunque, il modo in cui tali librerie vengono sviluppate e utilizzate deve avvenire

in modo collaborativo.

Da un punto di vista operativo, affidabilità e coerenza sono attributi essenziali, poiché i costi di manutenzione sono sostanzialmente più elevati di quelli di progettazione.

Semplificare la gestione degli asset utilizzando elementi standard approvati all'interno di strutture come scuole, carceri, ospedali o catene alberghiere genera notevoli risparmi.

Ad esempio: per una catena di hotel, ha senso che ogni hotel adotti un sistema di chiusura differente? O sarebbe più efficiente implementare un meccanismo standardizzato?

Questo principio può essere esteso a molti elementi, dagli impianti sanitari alle installazioni tecnologiche.

8 INTERVISTE

BIBLIOGRAFIA

PARTE UNO

- 1) Aguera, B., Norvig, A., & Norvig, P. (2023, 10 Ottobre). "Artificial General Intelligence Is Already Here". Noema Magazine;
- 2) Alexander, C. (1964). *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, MA: Harvard University Press;
- 3) Alberts, D. S., & Papp, D. S. (1997) *The Information Age: An Anthology on Its Impact and Consequences*. CCRP Publication Series;
- 4) Anderson, C. (2000, 23 Giugno). "The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete". Wired;
- 5) Baudrillard, J. (1981). *Simulacres et Simulation*. Paris: Éditions Galilée;
- 6) Bell, D. (1973). *The Coming of Post-Industrial Society: A Venture in Social Forecasting*. New York: Basic Books;
- 7) Bostrom, N. (2021). *Superintelligenza*. Milano: Bollati Boringhieri;
- 8) Bratton, B. (2022). *A New Philosophy of Planetary Computation* Intervista di N. Gilman. Noema Magazine, The Berggruen Institute;
- 9) Bratton, B.H. (2015). *The Stack: On Software and Sovereignty*. Cambridge, London: The MIT Press;
- 10) Bridle, J. (2022). *Ways of Being: Animals, Plants and Machines: the Search for a Planetary Intelligence*. Allen Lane;
- 11) Cache, B. (1995). "Objectile." In *Earth Moves: The Furnishing of Territories*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 12) Campagna, F. (2023). *Cultura profetica*. Roma: Edizioni Tlon;
- 13) Campagna, F. (2021). *Magia e Tecnica, la costruzione della realtà*. Roma: Edizioni Tlon;
- 14) Cantwell Smith, B. (2019). *The Promise of Artificial Intelligence: Reckoning and Judgment*, MIT Press;

BIBLIOGRAFIA

- 492 15) Castells, M. (1996). *The Rise of the Network Society*. Oxford: Blackwell;
- 16) Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 17) Crawford, K., & Paglen, T. (2019). *Excavating AI: The politics of images in machine learning training sets*. *AI & Society*, 36(2);
- 18) Crawford, K. (2021). *Né artificiale né intelligente. Il lato oscuro dell'IA*. Il Mulino;
- 19) Cristianini, N. (2023). *La scorciatoia : come le macchine sono diventate intelligenti senza pensare in modo umano*. Bologna: Il Mulino;
- 20) Cybernetic Zoo. (s.d.). "1969–70 — SEEK — Nicholas Negroponte (American)". <https://cyberneticzoo.com/>;
- 21) De Balzac, H. (2009). *La ricerca dell'assoluto*, tradotto da A. Zanzotto. Milano: Garzanti;
- 22) Dua, D., & Graff, C. (2019). *UCI Machine Learning Repository*. University of California, Irvine, School of Information and Computer Sciences;
- 23) Du Sautoy, M. (2019). *Il codice della creatività; Il mistero del pensiero umano al tempo dell'intelligenza artificiale*. Milano: Rizzoli;
- 24) Edwards, P. N. (1996). *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 25) Fabrizi, M., & Lucarelli, F. (2021). *Database Network Interface, the Architecture of Information*. Parigi: Caryatide;
- 26) Fellbaum, C. (Ed.). (1998). *WordNet: An electronic lexical database*. MIT Press;
- 27) Floridi, L. (2011). *The Philosophy of Information*. Oxford: Oxford University Press;
- 28) Friedman, Y. (1975). *Toward a Scientific Architecture*. MIT Press;
- 29) Gebru, T., & Bender, E. M. (2021). *On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big?* Proceedings of FAccT;
- 30) Gitelman, L. (Cur.). (2013). *Raw Data Is Oxymoron*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press;
- 31) Goody, J. (1977). *The Domestication of the Savage Mind*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 32) Halpren, Orit. (2015). *Beautiful Data: A History of Vision and Reason Since 1945*. Duke Univ Pr;
- 33) Hammerbacher, J., & Segaran, T. (Cur.) (2009). *Beautiful Data. The Stories Behind Elegant Data Solutions*. O'Reilly Media;
- 34) Han, B.-C. (2014). *La società della trasparenza*. Milano: Nottetempo
- 35) Harari, Y.N. (2019). *21 lezioni per il XXI secolo*. Milano: Bompiani;
- 36) Harari, Y.N. (2017). *Sapiens; Da animali a dei*. Milano: Bompiani;
- 37) Harari, Y.N. (2018). *Homo deus; Breve storia del futuro*. Milano: Bompiani;
- 38) Harvey, D. (1993). *La crisi della modernità*. Milano: Il Saggiatore;
- 39) Hawkes, D. (1976). "Modelling the Environmental Performance of Built Forms." In L. March (a cura di), *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 40) Hawkins, J. (2022). *Mille cervelli in uno*. Milano: Il Saggiatore;
- 41) Heidegger, M. (1983). *L'abbandono*. Genova: Il Melangolo;
- 42) Hofstadter, D.R. (2000). *Gödel, Escher, Bach; Un'eterna ghirlanda brillante, una fuga*

- 493 *metaforica su menti e macchine nello spirito di Lewis Carroll*. Milano: Adelphi;
- 43) Jaque, A., Otero Verzier, M., & Pietroiusti, L. (2021). *More than human*. Het Nieuwe Institute;
- 44) Joler, V. (Cur.). (2024). *Black Box Cartography*. Krisis Publishing;
- 45) Legrenzi, P. (2001). *Prima lezione di scienze cognitive*. Bari: Universale Laterza;
- 46) Li, F. F. (2015). *ImageNet: crowdsourcing, benchmarking & other cool things*. CMU Machine Learning Lunch Seminar, 16(2);
- 47) Lynn, G. (1999). *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press;
- 48) Lynn, G. (1993). "The Folding in Architecture." *Architectural Design*, 63;
- 49) Machlup, F. (1962). *The Production and Distribution of Knowledge in the United States*. Princeton, NJ: Princeton University Press;
- 50) Martin, L. (1967). "Architects' Approach to Architecture." *Journal of the Royal Institute of British Architects*, 74;
- 51) Martin, J. L. (1958). "Oxford Conference on Architectural Education." *Journal of the Royal Institute of British Architects*, 65;
- 52) Martin, L., & March, L. (1972). *Urban Space and Structures*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 53) Massironi, M. (2000). *L'osteria dei Dadi Truccati*. Bologna: Il Mulino;
- 54) Metz, C. (2021). *Genius Makers: The Mavericks Who Brought AI to Google, Facebook, and the World*. New York: Dutton;
- 55) Migayrou, F. (2003). "The Orders of the Non-Standard." In B. Cache & P. Chemetov (a cura di), *Architectures Non Standard*. Paris: Centre Pompidou;
- 56) McCarthy, J., Minsky, M., Rochester, N., & Shannon, C. E. (1955). *A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*;
- 57) McCulloch, W. S., & Pitts, W. (1943). *A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity*. The Bulletin of Mathematical Biophysics, 5(4);
- 58) McLuhan, M. (1962). *The Gutenberg Galaxy. The Making of Typographic Man*. Toronto: University of Toronto Press;
- 59) Miller, G. A. (1995). *WordNet: a lexical database for English*. Communications of the ACM, 38(11);
- 60) Morozov, E. (2023). "The True Threat of Artificial Intelligence". The New York Times;
- 61) Noble, S. U. (2018). *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*. NYU Press;
- 62) Otlet, P. (1934). *Traité de Documentation*. Bruxelles: Editiones Mundaneum;
- 63) Pasquinelli, M. (2023). *The Eye of the Master: A Social History of Artificial Intelligence*. Verso Books;
- 64) Pask, G. (1969). "The Architectural Relevance of Cybernetics." *Architectural Design*, 39(9);
- 65) Pengfi, L., Jianyi, Y., Mohammad, A. I., & Shaolei, R. (2023). *Making AI Less Thirsty*;
- 66) Picon, A. (2010). *Digital Culture in Architecture; an Introduction for the Design Professions*. Berlino: Birkhauser;

BIBLIOGRAFIA

- 494 67) Raymond, E. S. (1999). *The Cathedral and the Bazaar*. O'Reilly Media;
- 68) Rocha, B. C. (2020). *Architecture Theory 1960–1980: Emergence of a Computational Perspective*. London: Routledge;
- 69) Rocha, J. M. (2015). *From World War II to Architecture Computing. Intervento a CAAD Futures 2015*;
- 70) Rosenblatt, F. (1958). *The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain*. Psychological Review, 65(6);
- 71) Sennett, R. (2008). *The Craftsman*. Yale University Press;
- 72) Space, Caviar, & Ghomashchi, S. (2022). *Dixit Algoritzmi*. Milano: Humboldt Books;
- 73) Spinelli, I., & Venuti, R. (1998). *Mnemosyne; L'atlante della memoria di Aby Warburg*. Siena: Artemide Edizioni;
- 74) Stripas, T. (2024). *La cultura algoritmica prima di internet*. Mimesis;
- 75) Tabor, P. (1976). "'Analysing Communication Patterns' and 'Analysing Route Patterns'." In L. March (a cura di), *The Architecture of Form*. Cambridge: Cambridge University Press;
- 76) Templeton, A., et Al. (2024, 21 Maggio). "Mapping the Mind of a Large Language Model". Antrophic;
- 77) Terzidis, S. (2006). *Algorithmic Architecture*. Oxford: Architectural Press;
- 78) Turing, A. M. (1950). *Computing Machinery and Intelligence*. Mind, 59;
- 79) Wiener, N. (1948). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 80) Wing, J. M. (2006). *Computational Thinking*. Communications of the ACM, 49(3);
- 81) Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power*. PublicAffairs;

PARTE DUE

- 1) AA.VV. (2023). "Withepaper of The Collective Intelligence Project". The Collective Intelligence Project;
- 2) AA.VV. (2023). "Riferimenti". *Stoà*, 7;
- 3) AA.VV. (2024, 24 Gennaio). "When Giants Collide: Exploring the Convergence of Crypto x AI". UETH;
- 4) Abloh, V. (2015). *Insert Complicated Title Here*. Sternberg Press;
- 5) Ajuzieogu, U. (2024). *The Economics of Foundation Models. Economics of AI*, Medium;
- 6) Alkaissi, H., & McFarlane, S. I. (2023). "Artificial Hallucinations in ChatGPT: Implications in Scientific writing". *Cureus* 15(2);
- 7) Androutsellis-Theotokis, S., & Spinellis, D. (2004). *A survey of peer-to-peer content distribution technologies*. ACM Computing Surveys, 36(4);
- 8) Appleton, M. et Al. (2024). *The Dark Forest Anthology of the Internet*. Berlino: Druckhaus Sportflieger;
- 9) Argan, G.C. (1970). *L'arte moderna*. Firenze: Sansoni;
- 10) Artificial Intelligence Commission (2024). *Our AI: Our ambition for France*;
- 11) Aris, C.M. (2016). *La variazione dell'identità, il tipo in architettura*. Torino: Cittàstudi edizioni;
- 12) Barik, S. (2023). *India is building its own 'sovereign AI.' What does it mean?* Indian Express;
- 13) Bedir, M., Groen, L., Kuijpers, M., Muñoz Sanz, V., & Otero Verzier, M. (2023). *Automated Landscape*. Rotterdam: Nieuwe Instituut;
- 14) Belardi, P. (2017). "EX AURA. Dalla copia alla realtà alla realtà della copia". In Luigini A. (Cur.) *Linesi descrivere. Sette seminari tra rappresentazione e formazione*. Melfi: Libria;
- 15) Bellini, A., & Kunak, G., (2023). *Artists' Survival Kit*. Roma: Nero Edition;

BIBLIOGRAFIA

- 496 16) Benjamin, W. (2014). *L'opera d'arte nell'epoca della sua riproducibilità tecnica*. Einaudi;
- 17) Bhumichai, D., Smiliotopoulos, C., Benton, R., Kambourakis, G., & Damopoulos, D. (2024). *The Convergence of Artificial Intelligence and Blockchain: The State of Play and the Road Ahead*. Information, 15(5);
- 18) Bommasani, R. et Al. (2021). *On Opportunities and Risks of Foundation Models*. Stanford University;
- 19) Boer, R. (2023). *Smooth City: Against Urban Perfection, Towards Collective Alternatives*. Rotterdam: Valiz;
- 20) Bourdieu, P. (2001). *La distinzione; Critica sociale del gusto*. Il Mulino;
- 21) Broussard, M. (2023). *More than a Glitch: Confronting Race, Gender and Ability Bias in Tech*. Cambridge,Massachusetts: The MIT Press;
- 22) Buchanan, B. G., & Shortliffe, E. H. (1984). *Rule-Based Expert Systems: The MYCIN Experiments of the Stanford Heuristic Programming Project*. Reading, MA: Addison-Wesley;
- 23) Buterin, V., Weiss, Y., & Posner, M. (2025). *The Trustless Manifesto*. Retrieved from. <https://trustlessness.eth.limo>;
- 24) Buterin, V. (2024, 30 Gennaio). "The Promise and Challenges of Crypto + AI Applications". Vitalik Buterin's website,
- 25) Carpo, M. (2024). "Every Dataset is a Canon." *AD* 94 (3);
- 26) Carpo, M. (2023) "Formal Analysis, Generative AI and the Eternal Return of Precedente". *Log* 58, Ottobre 2023;
- 27) Carpo, M., & Del Campo, M. (2022). *Neural Architecture: Design and Artificial Intelligence*. Applied Research and Design;
- 28) Carpo, M. (2025). "The Imitation Machine." In *Catalogo della Biennale Architettura 2025: Intelligens. Natural. Artificial. Collective*. Venezia: La Biennale di Venezia;
- 29) Chaillou, S. (2022). *Artificial Intelligence and Architecture: From Research to Practice*. Basel: Birkhäuser;
- 30) Chakrabarty, D. (2021). *The Climate of History in a Planetary Age*. Chicago: University of Chicago Press;
- 31) Chipperfield, D. (Cur.) (2012). *Common Ground, Biennale Architettura 2012*. Venezia: Marsilio Editori;
- 32) Darlington, J. (2020). *Fake Heritage: Why We Rebuild Monuments*. Yale University Press;
- 33) De Filippi, P., (2020, 20 Gennaio). *Blockchain Technology and Decentralized Governance: The Pitfalls of Trustless Dream*. Hal.
- 34) Deltron, J., & Macrez, F. (2018). "Authorship in the Age of Machine Learning and Artificial Intelligence". *The Oxford Handbook of Music Law and Policy*. Oxford: Oxford University Press;
- 35) Dieleman, S. (2020, 1 Settembre). "Musings on typicality". Sander AI;
- 36) Dieleman, S. (2022, 26 Maggio). "Guidance: a cheat code for diffusion models". Sander AI;
- 37) Falcinelli, R. (2014). *Critica portatile al visual design: da Gutenberg ai social network*. Einaudi, 2014;

- 497 38) Fleming, S. (2025). *What is digital sovereignty and how are countries approaching it?* World Economic Forum;
- 39) Foroohar, R. (2021). *Homecoming: The Path to Prosperity in a Post-Global World*. New York: Crown;
- 40) Galloway, A. R. (2004). *Protocol: How Control Exists After Decentralization*. Cambridge, MA: MIT Press;
- 41) Gardels, N. (2020, 7 Agosto). "From Globalization to a Planetary Mindset". Noema Magazine;
- 42) Gardels, N. (2021, 18 Giugno). "AI Is the Key to Planetary Self-Awareness". Noema Magazine;
- 43) Gilman, N., & Cervený, B. (2023, 12 Settembre). "Tomorrow's Democracy Is Open Source". Noema Magazine;
- 44) Gerosa, M., Hermansen, A., Lai, A. & Lawson, A. (2025). *The state of sovereign AI. Exploring the Role of Open Source Project and Global Collaboration in Global AI strategy*. The Linux Foundation;
- 45) Goertzel, B., & Montes, G. A. (2018). *Distributed, Decentralized, and Democratized Artificial Intelligence*;
- 46) Goertzel, B. (2021). *The General Theory of General Intelligence: A pragmatic Patternist*;
- 47) Goldsmith, K. (2019). *Ctrl C + Ctrl V, scrittura non creativa*. Nero Edition;
- 48) Goodman, N. (1968). *The languages of Art: an Approach of Theory of Symbol*. Indianapolis: The Bobbs- Merrill Company, Inc.;
- 49) Gupta, A., Hathwar, D., & Vijayakumar, A. (2020). "Introduction to AI Chatbots". *International Journal of Engineering Research and Technology*, 9(7);
- 50) Hofstadter, D.R. (2000). *Gödel, Escher, Bach; Un'eterna ghirlanda brillante, una fuga metaforica su menti e macchine nello spirito di Lewis Carroll*. Milano: Adelphi;
- 51) Huang, J., Kong, L., Chen, G., Wu, M., Liu, X., & Zeng, P. (2024). "Blockchain-Based Decentralized Storage Systems for Sustainable Data Self-Sovereignty". *Sustainability*, 16(17);
- 52) Huang, J., Johanes, M., Kim, F. C., Doumptioti, C., & Holz, G. C. (2021). "On GANs, NLP and Architecture: Combining Human and Machine Intelligences for the Generation and Evaluation of Meaningful Designs". *Technology | Architecture + Design*, 5(2); Taylor & Francis Group;
- 53) Levin, M. (2024, 17 Aprile). "The Space of Possible Minds". Noema Magazine;
- 54) Llull, R. (1305/1721-1742). *Introductoris artis demonstrativae*, in *Opera Omnia*, vol. III, p. I. Mainz;
- 55) Maas, W., Madrazo, F., Ravon, A., & Ibáñez López, D. (2017). "Copy paste: The badass architectural copy guide". The Why Factory Magazine;
- 56) Kalai, A.T. (2024). *Why Language Models Hallucinate*. ArXiv;
- 57) Marcus, H. (1991). *One-Dimensional Man*. Beacon Press;
- 58) Marsili, L. (2023, 27 Luglio). "From the Age of Empires to the Age of Humanity". Noema Magazine;

BIBLIOGRAFIA

- 498 59) Matuszek, C., et al. (2006). *An Introduction to the Syntax and Content of Cyc*. AAAI Spring Symposium;
- 60) Mulgan, G., & Siddarth, D. (2023, 29 Giugno). "The World Needs a Global AI Observatory". Noema Magazine;
- 61) Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system*. <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>;
- 62) Noble, S. U. (2018). *Algorithms of Oppression: How Search Engines Reinforce Racism*. New York University Press;
- 63) Olgiati, V. (2015). *The images of architects: 44 collections by unique architect*. Basilea: The name book;
- 64) Ossip, R. (2024, 1 Ottobre). "Hidden traces of humanity: what AI images reveal about our world". The Guardian;
- 65) Pesce, D., & Girgenti, G. (Cur.) (2017). *Aristotele: Poetica*. Milano: Bompiani;
- 66) Popper, K. R. (2010). *Logica della scoperta scientifica : il carattere autocorrettivo della scienza*. Torino: Einaudi;
- 67) Putz, D. (2020). *La construction logique de la forme*. Tallinn: Cosa Mentale;
- 68) Raymond, E. S. (2022). *La cattedrale e il bazaar : riflessioni di un rivoluzionario per caso su Linux e l'open source*. Milano: Apogeo;
- 69) Revello, R. (2022). *Gilbert Simondon: Immaginazione e invenzione (1965-1966)*. Mimesis Edizioni;
- 70) Russo, C. (2020). *The infinite machine, How an Army of Crypto-hackers Is Building the Next Internet with Ethereum*. HarperCollins Publishers Inc;
- 71) Schneider, N. (2002, 7 Giugno). "How We Can Encode Human Rights in the Blockchain". Noema Magazine;
- 72) Schneider, J. (2022). *Foundation models in brief: A historical, socio-technical focus*. ArXiv;
- 73) Seah, D. (2023). "Data is the New Gold: A Singapore Perspective on the Duty of Care Concerning a Dataset's Role in Contributing to Bias and AI Hallucinations." *Journal of Digital Assets*, 1(2);
- 74) Semi, G. (2023). *Breve manuale per una gentrificazione carina*. Milano: Mimesis;
- 75) Settis, S. (2004). *Il futuro del "classico"*. Torino: Einaudi;
- 76) Sloterdijk, P. (1998-2004). *Sfere (3 voll.)*. Milano: Raffaello Cortina Editore;
- 77) Soriano, F. (2019). *100 Hyperminimals*. Lampreave;
- 78) Spivak, G. C. (2003). *Morte di una disciplina*, tradotto da Gunella, L. Roma. Meltemi editore;
- 79) Srivastava, S. e Bullock, J. (2024). *AI, Global Governance, and Digital Sovereignty*. ArXiv;
- 80) Stalder, F., & Janša, J. F., *From Commons to NFTs*. Ljubljana: Aksioma – Institute for Contemporary Art Ljubljana;
- 81) Stallman, R. M. (2002). *Free Software, Free Society: Selected Essays of Richard M. Stallman*. Boston, MA: GNU Press;
- 82) Sudjic, D. (2007). *Architettura e potere: Come i ricchi e i potenti hanno dato forma al*

499 *mondo*. Milano: Rizzoli;

83) Vacchini, L. (2005). *Capolavori*. Milano: Electa;

84) Vickers, B., Allado - Mcdowell, K. (2020). *Atlas of Anomalous AI*. Ignota Books;

85) Vitruvius. (1999). *De architectura*. A cura di P. Gros. Paris: Les Belles Lettres;

86) Weber, S. (2004). *The Success of Open Source*. Cambridge, MA: Harvard University Press;

87) Werbach, K. (2018). *The blockchain and the new architecture of digital trust*. MIT Press;

88) Zhai, S., Yang, Y., Li, J., Qiu, C., & Zhao, J. (2022). "Blockchain and NFTs for Time-Bound Access and Monetization". *IEEE Access*, 10, 1-14;

89) Zheng, Z. (2017). "An Overview of Blockchain Technology: Architecture, Consensus, and Future Trends". *2017 IEEE International Congress on Big Data (BigData Congress)*, Honolulu, USA.

PARTE TRE

- 1) AA.VV., Anthropic. (2024). *Model Context Protocol*;
- 2) AA.VV. As, I., & Basu, P. (Cur.). (2021). *The Routledge Companion to Artificial Intelligence in Architecture*. Routledge Taylor & Francis Group;
- 3) AA.VV. Del campo, M. (Cur.). (2024). *Artificial Intelligence in Architettura*, 3(94). John Wiley & Sons Inc;
- 4) AA.VV. Del Campo, M., & Leach N. (Cur.) (2022). *Machine Hallucinations: Architecture and Artificial Intelligence*, 3(92). John Wiley & Sons Inc;
- 5) Aila, T., Laine, S., & Karras, T. (2021). *A Style-Based Generator Architecture for Generative Adversarial Network*. Taylor & Francis Group;
- 6) Alawadhi, M. (2020). *BIM Hyperreality. Data Synthesis Using BIM and Hyperrealistic Rendering for Deep Learning*. ACADIA 2020;
- 7) Anderson, C. (2000, 23 Giugno). "The End of Theory: The Data Deluge Makes the Scientific Method Obsolete". Wired;
- 8) Baletic, B. (1995). *Information Code of Mutant Forms*. eCAADe 1995: Multimedia and Architectural Disciplines;
- 9) Barron, J. T., Jain, A., Mildenhall, B., & Poole, B. (2023). *DreamFusion: Text to 3D Using 2D Diffusion*. UC Berkeley;
- 10) Battelle, J. (2005). *The Search: How Google and Its Rivals Rewrote the Rules of Business and Transformed Our Culture*. London: Penguin Books;
- 11) Burrow, A.L., & Woodbury, R.F. (2006). "Whither design space?, Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing". *AI EDAM*, 20(2);
- 12) Carlson, A., Del Campo, M., Manninger, S., Sanche, M., & Wang, L. J. (2019). *Machine Hallucination, an Examination of Architecture in a Posthuman Design Ecology*. Form & Force 2019;

- 501 13) Carpo, M. (2011). *The Alphabet and the Algorithm*. MIT Press;
- 14) Carpo, M. (2012). *The Digital Turn in Architecture 1992-2012*. Wiley;
- 15) Cheng, J., Deas, O., Yu, L., Patil, S., Klein, D., & Garg, S. (2024). Dated Data: Tracing Knowledge Cutoffs in Large Language Models. Arxiv;
- 16) Chen, J., Furukawa, Y., Tang, S., Wang, P., & Zhang, F. (2023). MVDiffusion: Enabling Holistic Multi-view Image Generation with Correspondence-Aware Diffusion. Arxiv;
- 17) Chen, J., & Stouffs, R. (2021). *From Exploration to Interpretation*. National University of Singapore;
- 18) Del Campo, M. (2021). Architecture, language and AI-language, attentional generative adversarial networks (AttnGAN) and architecture design;
- 19) Del Campo, M. (2024). *Diffusion in Architecture: Artificial Intelligence and Image Generators*. John Wiley & Sons Inc;
- 20) Deutsch, R. (2019). *Superusers: Design Technology Specialists and the Future of Practice*. Routledge;
- 21) Escobar, D., Guida, G., & Navarro, C. (2023). "3D Neural Synthesis. Gaining Control with Neural Radiance Fields". *Habits of the Anthropocene*. University of Colorado Denver;
- 22) Evans, R. (1997). *Translations from Drawing to Building and Other Essays*. London: Architectural Association Publications;
- 23) Figoli, F. A., Mattioli F. & Rampino L. (2022). *Artificial Intelligence in the Design Process. The Impact on Creativity and Team Collaboration*. Milano: Franco Angeli;
- 24) Gancitano, M., & Colamedici, A. (2018). *La società della performance*. Roma: Edizioni Tlon;
- 25) Gips, J., & Stiny, G. (1975). *Artificial Intelligence and Aesthetics*. University of California. Los Angeles;
- 26) Hu, E. J., Shen, Y., Wallis, P., Allen-Zhu, Z., Li, Y., Wang, S., Wang, L., & Chen, W. (2021). LoRA: Low-Rank Adaptation of Large Language Models;
- 27) Illiinsky, N. & Steele, J. (Cur.). (2010). *Beautiful Visualization. Looking at Data Through the Eyes of Experts*. O'Reilly Media;
- 28) Kohonen, T. (1990). "The Self-Organizing Map". *Proceedings of the IEEE*, 78(9);
- 29) Leach, N. (2022). *Architecture in the Age of Artificial Intelligence. An Introduction to AI for Architectures*. Bloomsbury Visual Arts;
- 30) Leone, M., & Santangelo, A. (Cur.). (2023). *Semiotica e intelligenza artificiale*. Roma: Aracne;
- 31) Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 33.Arxiv;
- 32) Lynn, G. (2013). *Archeology of the digital*. Berlino: Sternberg Press;
- 33) Ma, H., & Zheng, H. (2024). *Text Semantics to Image Generation: A Method of Building Facades Design Base on Stable Diffusion Model*. School of Design, Jiangnan University;
- 34) Manovich, L. (2018). *Ai Aesthetics*. Cambridge, MA: MIT Press;

BIBLIOGRAFIA

- 502 35) Meneguzzo, M. (2012). *Arte Programmata cinquant'anni dopo*. Il punto Johan & Levi;
- 36) Mitchell, W.J., & Stiny, G. (1978) "The Palladian Grammar". *Environment and Planning B*, 5. Sage Journal;
- 37) Nagy, D., et Al. (2017). *Project Discover: An Application of Generative Design for Architectural Space Planning*. SimAUD Conference;
- 38) Negroponte N., (1970). *The Architecture Machine*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press;
- 39) Negroponte N., (1975). *Soft Architecture Machine*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press;
- 40) Newton, D. (2019). "Generative Deep Learning in Architectural Design". *Technology, Architecture + Design*, 3(2);
- 41) Ochoa, K. S. (2024). "Can Artificial Intelligence Mark the Next Architectural Revolution?". *Decoding Cultural Heritage: A Critical Dissection and Taxonomy of Human Creativity Through Digital Tools*. Springer Nature;
- 42) Pestellini, I. (2020). "Data Architecture". e-flux;
- 43) Picon, A. (2010). *Digital Culture in Architecture; an Introduction for the Design Professions*. Berlino: Birkhauser;
- 44) Santos, Y., & Otero Verzier, M. (2021). *Dixit n°2: A Matter of Data*. Parigi: Editions Cosa Mentale;
- 45) Sutherland, I. E. (1963). *Sketchpad: A Man-Machine Graphical Communication System*. PhD Thesis, Massachusetts Institute of Technology;
- 46) Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). *Attention is All You Need*. *Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS)*, 30, 5998–6008. Arxiv;
- 47) Zabin, A., Gonzalez, V. A., Zou, Y., Amor, R. (2022). *Applications of machine learning to BIM: A systematic literature review*.
- 48) Zhang C. Zhang C., Zhang M., Kweon I.S., "Text-to-image Diffusion Models in Generative AI: A Survey". *Journal of Latex Class Files*, vol. 14, n.8, Agosto 2015.

