

H2O



ATENEODI SCIENZE
LETTERE
ARTI
BERGAMO

COLLANA

Atti dell'Ateneo
di Scienze Lettere Arti
di Bergamo

VOLUME

LXXXVII

ISBN

978-88-947439-8-2

ISSN

1724-2347

EDIZIONI

Ateneo di Scienze
Lettere e Arti
di Bergamo, 2025

**COMITATO
DI REDAZIONE**

Lorenzo Mascheretti
Maria Mencaroni Zoppetti
Valentina Raimondo
Monica Resmini
Laura Serra Perani

**SEGRETERIA
DI REDAZIONE**

Laura Billa,
Nazzarina Invernizzi

STAMPA

maggio 2025
n. 100 copie

**GRAPHIC
+ TYPE DESIGN**

Emiliano Cibir
[blumilk.net]

TYPE

denim b.

CARTA

ECOcarta
usomano riciclata,
120 / 300 g

VII **PREMESSA**

H20

11 **LA POESIA DELL'ACQUA**

— ERMINIO
GENNARO

23 **L'ACQUA
E IL TERRITORIO
BERGAMASCO
NEL PATRIMONIO
LIBRARIO DELL'ATENEO
DI SCIENZE LETTERE
E ARTI DI BERGAMO**

— NAZZARINA
INVERNIZZI,
LAURA BRUNI

33 **LE TERME DI BERGAMO**

— MARIATERESA
PESENTI

53 **BERGAMO. IL SISTEMA
DI DISTRIBUZIONE
DELLE ACQUE IN ETÀ
ROMANA: LE CISTERNE
NEL MONASTERO
DI S. GRATA**

— MARIA
FORTUNATI

61 **L'ACQUA IN DUE
ANTICHE ISCRIZIONI
BERGOMENSI**

— MARINA
VAVASSORI

69 **L'USO DELL'ACQUA
A SCOPO IRRIGUO
NELLA PIANURA
BERGAMASCA
TRA ALTO MEDIOEVO
ED ETÀ COMUNALE
(SECOLI IX-XII)**

— RICCARDO
CAPRONI

85 **LAPIDEM HUNC NEMO
AMOVERE AUDEAT.
L'USO DELLE ACQUE
DEL BREMBO A METÀ
CINQUECENTO**

— MARINO
PAGANINI

117 **ACQUA, MINIERE
E LAVORAZIONE
DEL FERRO
NELLA VAL DI SCALVE
D'ETÀ MODERNA**

— MATTEO
DI TULLIO

129 **ACQUE MINERALI
E TERMALISMO
IN BERGAMASCA.
NOTE STORICHE**

— GIOVANNI
CAVADINI

135 **L'ACQUA UTILE.
STORIE DI VITA
E LAVORO LUNGO
I CORSI D'ACQUA
DI ALZANO LOMBARDO**

— MARIANGELA
CARLESSI

171 **L'ACQUA È MUSICA
IL DILUVIO
UNIVERSALE DI
GAETANO DONIZETTI**

— PAOLA
PALERMO

185 **ACQUA IMMAGINATA
E NARRATA**

— GIUSI
QUARENGHI

193 **L'ACQUA E IL CORPO:
TRA DOGMI
E PREGIUDIZI**

— LAURA BRUNI
COLOMBI

- 205 *ABBONDANTISSIME,
INDEFICIENTI ET
PERPETUE AQUE
DENTRO DI QUESTA
FORTEZZA*
— MONICA
RESMINI
-
- AI. L'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE
OPPORTUNITÀ
E RISCHI
-
- 213 *INTRODUZIONE*
— FRANCESCA
MAGGIONI
- 215 *INTELLIGENZA
ARTIFICIALE:
SUPPORTO
O OSTACOLO
ALLA CREATIVITÀ?*
— MIRKO
MAZZOLENI
- 223 *LE AFFASCINANTI
MA PERICOLOSE
METAFORE
DELL'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE*
— MARIO
VERDICCHIO
- 237 *LE NUOVE
FRONTIERE
DEL RILIEVO 3D:
LA RIVOLUZIONE
SILENTE
DELL'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE*
— ALESSIO
CARDACI
- 247 *EMOZIONI
IN RELAZIONE.
STRUTTURE
EPISTEMOLOGICHE
ED ETICHE
PER LE ECOLOGIE
SOCIALI MISTE
UMANO-ROBOT*
— LUISA
DAMIANO,
— PAUL
DUMOUCHEL
- 271 *IMMAGINI CHE
NON INDICANO.
NOTE SULLA
FOTOGRAFIA
AL TEMPO DELL'IA*
— GIUSEPPE
PREVITALI
-
- BORSA DI STUDIO
LUIGI E SANDRO
ANGELINI
-
- 279 *UNA TRACCIA
BIOGRAFICA
SUGLI ANNI DELLA
FORMAZIONE
E SULL'ATTIVITÀ
PROFESSIONALE
DI OTTONE TERZI
(1897-1943)*
— ELEONORA
CAGGIATI
-
- VITA
DELL'ATENEO
-
- 293 *RELAZIONE*
301 *ORGANICO*
311 *PUBBLICAZIONI*

LE NUOVE
FRONTIERE
DEL RILIEVO 3D:
LA RIVOLUZIONE
SILENTE
DELL'INTELLIGENZA
ARTIFICIALE

L'Intelligenza Artificiale (IA) è un campo di studio interdisciplinare che include sia le dottrine umanistiche che quelle tecnico-scientifiche quali la filosofia, la psicologia, la matematica, l'informatica e l'ingegneria. Le sue radici possono essere rintracciate nei primi tentativi di comprendere il funzionamento del pensiero umano e di costruire semplici 'macchine' capaci di eseguire compiti com-

plici. Le prime speculazioni sull'Intelligenza Artificiale affondano nelle riflessioni filosofiche dell'antichità; i pensatori greci, tra i primi, si interrogarono sulla natura del concepire e dell'intendere della mente. Aristotele enunciò il concetto di ragionamento concatenato (o *sillogismo*), un processo logico che da una premessa giunge ad una conclusione per mezzo di enunciati brevi e sequenziali, influenzando profondamente l'evoluzione successiva della logica formale e, per estensione, dell'Intelligenza Artificiale¹. Fu tuttavia solo con l'età del Lumi, tra il XVII e il XVIII secolo, che lo sviluppo delle dottrine umanistiche e scientifiche portarono alla creazione di apparecchiature capaci di eseguire calcoli articolati. Un periodo caratterizzato da significativi cambiamenti culturali e sociali, segnato dall'emergere della scienza moderna come disciplina basata sull'osservazione empirica e sulla sperimentazione; un contesto storico di innovazione meccanica e tecnologica in cui figure come Wilhelm Schickard, Blaise Pascal e Gottfried Wilhelm von Leibniz immaginarono i primi dispositivi per effettuare operazioni aritmetiche, precursori dei PC moderni.

Wilhelm Schickard – pastore luterano, matematico e astronomo tedesco (1592 - 1635) – è considerato il padre del 'computo meccanizzato' per aver costruito nel 1623 un 'orologio' per la datazione astronomica basato su un sistema di ruote dentate, simili a quelle di un orologio, che muovendosi potevano eseguire addizioni e sottrazioni fino a sei cifre. Il prototipo venne distrutto in un incendio e ne venne persa traccia sino alla scoperta, negli anni '60 del secolo scorso, di una lettera inviata a Keplero contenente una descrizione dettagliata e alcuni disegni illustrativi. Blaise Pascal – matematico, fisico, filosofo e scrittore francese (1623 - 1662) – è l'inventore de *la pascaline*, un'addizionatrice ad ingranaggi realizzata nel 1642 quando aveva

1 Cfr. Margaret A. Boden, *L'intelligenza artificiale*, Milano 2019.

solo diciannove anni. Progettata per aiutare il padre, magistrato tributario, per i calcoli delle imposte, era in grado di eseguire rapidamente le addizioni ma molto laboriosa nelle sottrazioni perché impiegava il metodo del complemento a dieci. La prima macchina in grado di eseguire moltiplicazioni e divisioni è stata la c.d. *stepped reckoner* di Gottfried Wilhelm von Leibniz – filosofo, matematico e scienziato tedesco (1646 - 1716) – realizzata nel 1673; era un congegno caratterizzato da un particolare cilindro a gradini che manteneva memoria della cifra immessa anche dopo l'operazione e, quindi, in grado di ripetere più somme (cioè prodotti aritmetici) in modo automatico e senza l'intervento dell'operatore. Il primo computer programmabile è stato ideato da Charles Babbage – matematico, filosofo, scienziato e proto informatico britannico (1791 - 1871) – nel 1823 per far fronte all'alto numero di errori di calcolo degli umani; benché mai costruito era in grado di eseguire ogni genere di calcolo, non solo algebrico, perché concepito con una unità centrale di elaborazione (*mill*) connessa ad una memoria (*store*) in grado di eseguire dei comandi in sequenza (una iniziale idea di algoritmo) 'comunicati' al dispositivo attraverso schede perforate. Questi apparecchi, sebbene possono apparire oggi limitate ed elementari, sono la testimonianza di un enorme progresso culturale-tecnologico ma soprattutto hanno dimostrato la possibilità di meccanizzare operazioni matematiche complesse².

L'AI come disciplina moderna iniziò a prendere forma tra gli anni '40 e '50 del XX secolo con la Rivoluzione Digitale. Alan Turing – matematico e crittografo inglese (1912 - 1954) – noto per aver progettato nella Seconda Guerra Mondiale il 'Colossus', il celebre decifratore automatico del codice segreto nazista Enigma, nell'articolo *Computing machinery and intelligence* pubblicato sulla rivista *Mind* nel 1950 dimostrò la 'capacità di pensare di una macchina' attraverso una sequenza di semplici azioni logiche. Il termine *Artificial Intelligence* fu coniato nel 1956 durante una conferenza al Dartmouth College organizzata da John McCarthy, Marvin Minsky, Nathaniel Rochester e Claude Shannon, che la definirono la disciplina dove ogni aspetto dell'apprendimento, o qualsiasi altra caratteristica dell'intelligenza, possa essere descritto in modo così preciso da poter essere simulato da una macchina che sarà in grado di risolvere tipi di problemi attualmente riservati agli esseri umani e, quindi, migliorare se stessa³.

I decenni successivi videro uno sviluppo rapido dei linguaggi di programmazione e delle applicazioni mirate a emulare vari aspetti dell'ingegno umano; è soprattutto negli ultimi decenni, che l'AI ha registrato notevoli progressi

2 Ernst Martin, *The calculating machines (Die Rechenmaschinen): their history and development* (traduzione di Peggy A. Kidwell e Michael R. Williams), Los Angeles 1992: <https://archive.org/details/calculatingmachioomart/page/n9/mode/2up> (ultima consultazione: Maggio 2025).

3 Cfr. Lupo Ledger, *Intelligenza Artificiale: basi, storia, applicazioni, impatti e futuro dell'intelligenza artificiale la tecnologia che sta rivoluzionando il mondo*, Milano 2024.

grazie all'aumento della capacità computazionale dei *personal computer*, alla disponibilità di enormi quantità di dati e ai progressi negli algoritmi di comprensione automatica. Oggi, l'Intelligenza Artificiale è profondamente integrata nella vita quotidiana, con applicazioni che spaziano dai motori di ricerca, agli assistenti virtuali, ai sistemi di auto progettazione autonomi; nonostante i significativi progressi compiuti essa è tuttora un ambito di studio in grande parte sconosciuto, ma dinamico e in costante evoluzione con molteplici sfide ancora aperte.

L'APPLICAZIONE DELL'AI ALLA SCIENZA DEL DISEGNO E AL RILIEVO 3D

L'applicazione dell'Intelligenza Artificiale alla Scienza del Disegno e alle tecnologie di Rilievo 3D si attua attraverso la pianificazione autonoma di attività (una sequenza 'intelligente' di operazioni semplici) finalizzate a generare una copia digitale del mondo reale.

Il Rilievo è una branca della disciplina del Disegno che riguarda la misurazione e la rappresentazione dell'architettura e del paesaggio finalizzata alla documentazione, alla conoscenza alla conservazione e alla valorizzazione del patrimonio costruito.

Il rilievo contemporaneo si basa su tecniche di *Digital Photogrammetry* che consentono l'acquisizione di dati metrici e materici attraverso l'impiego di immagini fotografiche tradizionali o addizionate a mappe di profondità. Il termine è oggi interpretato in senso molto più ampio rispetto al passato annoverando le restituzioni sia da sensori passivi (camere fotografiche) che attivi (Lidar o Terrestrial Laser Scanner); entrambi le categorie di trasduttori infatti catturano immagini, 2D le camere e 2.5D i sistemi *laser scanning*⁴. La ricostruzione fotogrammetrica è vincolata alla risoluzione del problema geometrico della proiettività, cioè la determinazione della corrispondenza biunivoca tra lo spazio tridimensionale del mondo reale e lo spazio bidimensionale della figurazione catturata; questa relazione è governata da precise

4 Il rilievo integrato si è affermato come un approccio multidisciplinare che unisce strumenti e tecnologie differenti per ottenere una documentazione completa e accurata del patrimonio costruito; esso combina tradizionale di misurazione 'diretta' con tecniche come la fotogrammetria digitale, il 3D *laser scanning*, termografia e analisi multi-spettrale e i sistemi topografici terrestri e satellitari GNSS. Questa sinergia consente di superare le limitazioni intrinseche di ciascuna metodologia, creando un quadro complessivo molto più accurato e dettagliato. L'integrazione tecnologica non solo aumenta la precisione del rilievo ma migliora anche la comprensione dell'organismo architettonico nel suo contesto storico-costruttivo, offrendo un supporto decisivo per decisioni di progetto e intervento conservativo. Cfr. Alessio Cardaci & Antonella Versaci, *Rilievo e Restauro: un binomio imprescindibile*, Roma 2018; Alessio Cardaci, *Riflessioni sull'uso del disegno di rilievo: strumento strategico di indagine e monitoraggio della trasformazione sostenibile del paesaggio*, in Alessio Cardaci, Emanuele Garda (a cura di), *De-Pavimentiamoci: prove di riconciliazione tra costruito e naturalità*, Roma 2024, pp. 17-34.

leggi matematiche la cui elaborazione computazionale è lunga e complessa. Il digitale negli anni '90 del secolo scorso ha semplificato notevolmente il processo migliorando la rapidità, l'accuratezza e l'efficienza delle operazioni il cui controllo è sempre stato legato, sino a ieri, alla figura del rilevatore; l'uso di algoritmi di Intelligenza Artificiale consente oggi ai computer di eseguire autonomamente (e più rapidamente) compiti che normalmente avrebbero richiesto l'intervento dell'operatore, quindi di decidere la l'ottimale modalità di risoluzione del problema per giungere celermente alla soluzione. I sistemi AI infatti possono ragionare e prendere decisioni sulla base di indicazioni fornite da *dataset* ed evolversi nel tempo sulla base dell'esperienza acquisita. Un sottoinsieme significativo dell'AI è il *Machine Learning* (ML) che utilizza algoritmi statistici e matematici per incrementare le proprie prestazioni attraverso 'dati di addestramento', senza essere esplicitamente programmato per ogni singolo compito. Il *Deep Learning* (DL) rappresenta un'ulteriore specializzazione che si fonda su reti neurali profonde, così chiamate perché ispirate alla struttura e al funzionamento del cervello umano, che consentono alla macchina di imparare in modo autonomo (fig. 1). Il *Machine Learning* e il *Deep Learning* differiscono per la complessità della struttura logica, per la modalità di manipolazione dei dati ma, soprattutto, per la capacità di apprendimento, condizionato per gli algoritmi ML e autonomo per quelli DL. Gli algoritmi *Machine Learning* imparano addestrandosi con *dataset* forniti dal programmatore informatico mentre quelli *Deep Learning*, imitando il processo decisionale umano, comprendono in modo indipendente recuperando le dati necessari dall'ambiente in cui operano (in generale il l'universo del *World Wide Web*). I sistemi DL trattano le informazioni in modo più astratto, offrendo la possibilità di arrivare a soluzioni generative impreviste; ciò è dovuto al fatto che i 'dati di addestramento' sono scelti con una logica casuale e incontrollabile, diversamente dai *dataset* del ML selezionati dagli umani. Lo sviluppo tecnologico sta accelerando la creazione di sistemi hardware ottimizzati per le reti di DL, come le schede ©Nvidia *Instant NeRF*, favorendo una rapida evoluzione e rendendo il DL una componente essenziale dell'Intelligenza Artificiale moderna⁵.

Il flusso di lavoro del processamento *Digital Photogrammetry Reconstruction*, nonostante i progressi nell'Intelligenza Artificiale, segue ancora un iter tradizionale (fig. 2). Questa elaborazione inizia con la cattura delle immagini, prosegue con la lavorazione dei dati per creare un modello virtuale accurato, e si conclude con l'interrogazione e l'analisi dell'artefatto, oltre alla produzione di report e documentazioni dettagliate. Gli algoritmi

5 Cfr. Fabio Remondino et al., *A critical analysis of NeRF-based 3D Reconstruction*, in "Remote Sensing", 15, 2023 (14), pp 1-22; Bai Yonge, LikHang Wong, TszYin Twan, *Survey on Fundamental Deep Learning 3D Reconstruction Techniques*, in "ArXiv", 2024, pp. 1-10.

di *Deep Learning* stanno gradualmente integrandosi in vari sottoprocessi incrementando efficienza e precisione; una rivoluzione silente e silenziosa, spesso ignota agli utenti comuni dei software fotogrammetrici che non si rendono conto di ciò che accade ‘dentro il programma’ ma godono del miglioramento in termini di funzionalità, velocità e maggiori *tools*.

La fase iniziale del *workflow* fotogrammetrico, ovvero quella dedicata all’acquisizione *in situ* o remota, risulta ancora essere la più carente nell’impiego dell’AI. Le campagne fotografiche e le misurazioni strumentali necessitano ancora dell’uomo, soprattutto per la selezione delle stazioni e il posizionamento delle reti, in particolare nel contesto del *Close Range* terrestre. Tuttavia, stiamo assistendo a un cambiamento significativo nel campo del rilevamento aereo, dove i sistemi UAV stanno progressivamente integrando l’automazione per la definizione dei parametri di acquisizione e di volo. Questi processi sono ancora in fase sperimentale e, per ora, i risultati non sono comparabili con quelli ottenuti tramite i metodi tradizionali con operatore.

La seconda fase del *workflow* fotogrammetrico, quella relativa all’elaborazione delle immagini per la ricostruzione 3D, è stata ampiamente ‘colonizzata’ dagli algoritmi di *Deep Learning*, che operano sia sul trattamento dei dati 2D sia sui modelli 3D. Uno degli ambiti che ha beneficiato maggiormente di questa innovazione è quello dei *Photo Enhancer Tools*, gli strumenti per il trattamento delle immagini⁶. In particolare, grazie ad essi, è possibile agire al fine:

- Incremento della risoluzione delle immagini: le reti *Convolutional Neural Network* (CNN) sono utilizzate per la super-risoluzione, migliorando la qualità di fotografie; strutture neurali tipo SRGAN (*Super-Resolution Generative Adversarial Network*) sono in grado di generare texture ad alta risoluzione da scatti a bassa definizione, preservando i dettagli originali e aggiungendo nuovi particolari nel rispetto di una relazione visiva coerente con il contesto.
- Riduzione del rumore: le reti *Denoising Convolutional Neural Network* (DCNN) creano più copie della stessa fotografia, apportando ogni volta piccole alterazioni, per quindi rigenerarla in una forma compatta operando un *Tone Mapping HDR*, eliminando il rumore e preservando i dettagli rilevanti.
- Correzione automatica dei colori: questo processo può essere realizzato tramite algoritmi di *Machine Learning*, addestrati su un vasto numero di foto campione selezionate da fotografi professionisti, oppure tramite *Deep*

6 La frase “Una buona immagine porta a un buon modello 3D” è un principio comune nel campo della fotogrammetria e della modellazione 3D; il concetto sottolinea l’importanza della qualità delle immagini fotografiche o delle scansioni utilizzate per creare modelli accurati. In fotogrammetria, *dataset* di alta qualità con buona risoluzione e senza distorsioni significative, sono fondamentali per ottenere ricostruzioni dettagliate e precise. Cfr. Stefano Bertocci & Marco Bini, *Manuale di rilievo architettonico e urbano*, Firenze 2012.

Learning per automatizzare il bilanciamento del bianco, la regolazione della luminosità, del contrasto e della saturazione; quest'ultima tecnica, tuttavia, a volte genera risultati non del tutto realistici, permettendo la creazione di effetti artistici e imprevisti.

- *Inpainting*: un processo che fa uso delle *Generative Adversarial Network* (GAN) per riempire aree mancanti o rimuovere oggetti indesiderati; il modulo generativo crea contenuti realistici, mentre il modulo discriminativo valuta la plausibilità dei risultati, migliorando progressivamente il riempimento delle aree mancanti fino a renderlo quasi indistinguibile dalle parti originali.

- *Restauro delle immagini*: è un sottocampo dell'*Inpainting* dove reti specializzate DeblurGAN e ProGAN vengono utilizzate per la loro capacità di analizzare e riconoscere *pattern* visivi, rimuovendo graffi, macchie, pieghe e altri difetti; la rigenerazione dell'immagine permette di rimuovere la sfocatura, aumentare la nitidezza e reintegrare le parti mancanti o fortemente danneggiate.

- *Elaborazione High Dynamic Range (HDR)*: utilizza algoritmi *Convolutional Neural Network* (CNN) per allineare e fondere più immagini dello stesso soggetto scattate con diverse esposizioni, preservando i dettagli sia nelle aree più chiare che in quelle più scure e bilanciando il contrasto per creare un'unica immagine più realistica e dettagliata; gli stessi algoritmi – filtrando più volte la stessa fotografia con elaborazione *Fake HDR* – permettono di espandere il range dinamico di un'immagine *Standard Dynamic Range* (SDR)⁷.

Un ambito di ampio utilizzo dell'AI e il trattamento 3D *Data* legato all'*image Based Reconstruction*. In particolare i nuovi algoritmi consentono di velocizzare e rendere più accurati i vari sottoprocessi, ad esempio:

- *Tie Points Extraction and Image Triangulation*: algoritmi di *Deep Learning* impiegati nel processamento *Structure from Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS) per riconoscere e abbinare punti caratteristici nelle immagini (*tie points*) interpretando, con un basso margine di errore rispetto ai metodi tradizionali, schemi geometrici e fotometrici complessi e, attraverso operazioni topografiche basate sulla 'triangolazione in avanti', determinarne le coordinate spaziali 3D e stimare gli errori.

- *Structure from Motion* (SfM): l'utilizzo dell'AI, come descritto, oltre al miglioramento dei *detecting* e del *matching* nell'ambito del processamento SfM ha consentito di rendere più celere e precisa la ricostruzione 3D *Dense Clouds*, anche in presenza di poche fotografie, superando i limiti delle

7 Cfr. Alessio Cardaci, Antonella Versaci, *L'innovazione nel rilievo fotografico per la conoscenza, la documentazione e la fruizione dei beni culturali*, in "DisegnareCon", 6, 2013 (12), pp. 1-10; Alessio Cardaci, Antonella Versaci, Pietro Azzola, *3D Photogrammetric Models from HDR images: the case study of the Fontanone Visconteo in Bergamo*, in "International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences", XLVIII-2/W4, 2024, pp. 95-102.

tecniche tradizionali di correlazione basata su pixel grazie all'introduzione delle *Depth Maps*.

- *Multi-View Stereo* (MVS): l'utilizzo dell'AI, come descritto, oltre miglioramento dei *detecting* e del *matching* nell'ambito del processamento MVS, ha consentito di rendere più celere la ricostruzione 3D – nonché di ridurre gli errori e aumentare la precisione dei punti, in particolare nelle aree di transizione – anche in presenza di occlusioni o rumore integrando le informazioni provenienti da più viste.

- *Monocular Depth Estimation* (MOE): gli algoritmi di Deep Learning permettono oggi di ricostruire una scena 3D a partire da una sola immagine 2D, un'operazione quasi impossibile con i metodi tradizionali; questo risultato si ottiene da reti avanzate come le *Fully Convolutional Networks* (FCN), capaci di generare mappe di profondità dense e dettagliate grazie alla stima rigorosa della distanza di ogni pixel dal centro dell'obiettivo attraverso l'analisi di ombre, riflessi e variazioni di illuminazione.

- *Point Cloud Segmentation & Classification*: la segmentazione consiste nel suddividere una nuvola di punti in gruppi distinti, ciascuno corrispondente a una parte significativa della scena; le reti neurali profonde, come le PointNet, sono progettate per lavorare direttamente con la *Dense Cloud*, comprendendone la geometria e classificando ogni punto non solo in base alla posizione spaziale ma anche al suo significato semantico.

- *Scan-to-BIM*: è il processo che permette di creare modelli *Building Information Modeling* (BIM) da *Dense Cloud* segmentate grazie a reti neurali con architettura *PointNet* in grado di classificare parti della scansione e trasformarla in elementi BIM parametrici.

- *Neural Radiance Fields* (NeRF): è una delle tecniche più innovative che utilizza reti neurali profonde per le ricostruzioni 3D da un campo continuo di radianza. L'algoritmo di *Machine Learning* si addestra sul set delle immagini 2D della scena, individuando la direzione e l'intensità della luce riflessa dagli oggetti. Questo processo genera mappe di profondità (*Deep Maps*) per ogni immagine, che vengono poi elaborate con algoritmi *Tie Points Extraction* e *Image Triangulation* per restituire l'artefatto virtuale. Il processo consente la ricostruzione anche di parti occluse alla vista, purché il riflesso sia presente, offrendo una qualità radiometrica e un livello di realismo elevatissimo.

La terza fase del *workflow* fotogrammetrico, quella relativa all'analisi e alla restituzione, fa ampio ricorso di reti *Convolutional Neural Network* (CNN) al fine di eseguire analisi automatiche sulle restituzioni 2D. Si elencano, come esempio, gli algoritmi per: correzione delle ortofoto (*Orthophoto Correction*), riconoscimento della struttura delle mappe (*Map Analysis*), colorazione delle foto (*Image Colorization*), ottimizzazione del rendering (*Synthesis Rendering*), creazione di mappe tematiche (*Thematic Maps*), mappatura dei materiali (*Material Mapping*), mappatura del degrado (*Decay Mapping*),

mappatura del rischio (*Risk Mapping*), mappatura delle quadro fessurativo (*Crack Mapping*), (...). La diagnostica dei dati 3D è, ad oggi, condotta in modo tradizionale.

Una recente panoramica sullo stato di avanzamento dell'Intelligenza Artificiale è stata fornita dall'*European Spatial Data Research* (EuroSDR), un'organizzazione europea che riunisce agenzie nazionali, istituti di ricerca, università e aziende private nel campo della geomatica e del *Remote Sensing*. Nel 2024, è stato pubblicato l'*Hype Cycle* di Gartner relativo all'influenza dell'IA nel Rilievo 3D; il diagramma di Gartner è un modello grafico utilizzato per rappresentare l'impatto sociale e il successo di una nuova tecnologia nella vita quotidiana. Esso si caratterizza per cinque fasi principali: l'*Innovation Trigger* (introduzione della tecnologia nella società), il *Peak of Inflated Expectations* (attenzione, curiosità e crescita delle aspettative), il *Trough of Disillusionment* (diminuzione dell'interesse a causa delle aspettative non soddisfatte), lo *Slope of Enlightenment* (miglioramento della comprensione e sperimentazione di applicazioni pratiche) e il *Plateau of Productivity* (maturità e stabilità della tecnologia al fine di un'adozione su larga scala).

Il diagramma evidenzia come, nel campo del rilievo 3D, siamo vicini al *Peak of Inflated Expectations*, indicando che la fase di studio sull'AI sta raggiungendo il massimo investimento, tuttavia, siamo ancora lontani dal *Plateau of Productivity* per un uso 'quotidiano'. La ricerca non ha ancora fornito risposte chiare e molte delle aspettative potrebbero essere deluse, portando in futuro a un parziale disinteresse per l'argomento. Questo, però, non sarà necessariamente un fatto negativo; servirà infatti a comprendere le reali possibilità e potenzialità dell'Intelligenza Artificiale nel campo del Disegno e del Rilievo 3D, un ambito spesso influenzato negativamente da una visione eccessivamente fantasiosa e poco realistica dello stato dell'arte.

CONCLUSIONI

L'Intelligenza Artificiale è uno dei temi più affascinanti e complessi esplorati nel cinema; sin dai tempi di *2001: Odissea nello spazio* (1968) di Stanley Kubrick e *War Games* (1983) di John Badham, fino alle produzioni più recenti come *Ex Machina* (2014) di Alex Garland, *Anon* (2018) di Andrew Niccol e *The Matrix Resurrections* (2021) di Lana Wachowski, i film hanno utilizzato l'AI per esplorare questioni morali legate alle interazioni tra esseri umani e macchine. Le narrazioni cinematografiche hanno spesso presentato l'Intelligenza Artificiale come una tecnologia avanzata capace di mettere in discussione le nozioni di umanità, etica e coscienza, amplificando le ansie collettive legate alla supremazia degli automi sull'uomo. Questi scenari, sebbene affascinanti e coinvolgenti, talvolta distopici e esasperati, hanno contribuito a creare paure infondate e a diffondere ignoranza. Tale distorsione deriva in gran parte da una comprensione limitata di ciò che l'Intelligenza Artificiale

è realmente e di come essa funzioni; una disinformazione, che negli ultimi anni si è intensificata, alimentata da una crescente attenzione mediatica che ha contribuito a una percezione pubblica confusa riguardo alle effettive potenzialità dell'AI contemporanea.

La maggior parte delle riflessioni e delle analisi non contestualizzano adeguatamente il problema all'interno di un quadro appropriato, trascurando il fatto che la vera rivoluzione sia stata l'avvento del digitale. Un processo di cambiamento globale, iniziato nella seconda metà del XX secolo, che ha segnato il passaggio dalle tecnologie analogiche a quelle digitali, provocando mutamenti profondi nella società, nell'economia e nella cultura; l'automazione ha incrementato l'efficienza produttiva, la comunicazione è divenuta immediata e globale, l'accesso all'informazione è diventato universale. Questo sconvolgimento, ancora in atto, è silente e silenzioso e sta continuando ad alterare profondamente il nostro modo di vivere; contrariamente alle descrizioni apocalittiche che prevedono l'estinzione degli esseri viventi o la loro sottomissione ai robot, gli ultimi settant'anni hanno dimostrato la capacità dell'uomo di adeguarsi e integrarsi alle nuove tecnologie, suggerendo una possibile continuazione di tale adattamento anche in futuro.

Il rilievo 3D sta evolvendo sempre più verso un sistema di digitalizzazione automatica che governerà la trasformazione del mondo reale nell'universo virtuale delle macchine. Gli algoritmi AI non hanno ancora modificato in modo sostanziale il flusso di lavoro nella ricostruzione fotogrammetrica 3D, ma hanno contribuito al miglioramento delle tecniche esistenti, rendendole più efficaci e veloci. Un rapido sviluppo in questo campo è previsto nei prossimi anni; già oggi si osservano progressi significativi legati alla robotica⁸. Attualmente, il processo ricostruttivo – dalla fase iniziale di acquisizione dei dati, all'elaborazione, fino alla fase finale di restituzione – è ancora legato all'intervento umano, ma tutto ciò potrebbe modificarsi profondamente in futuro. Un segnale della trasformazione è rappresentato dal cosiddetto 'rilievo intelligente', reso possibile da sistemi *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), in cui è sufficiente identificare l'oggetto dell'acquisizione e il drone, in modo indipendente, imposterà la missione, si solleverà in volo, deciderà quali dati acquisire e come farlo, restituendo infine il modello 3D e condividendolo autonomamente. In più, l'analisi delle criticità dell'artefatto permetterà di determinare gli interventi necessari, che saranno demandati e decisi dalle reti AI; sarà anche possibile automatizzare la fase di cantiere. Questo scenario, pur essendo ancora in fase embrionale, rappresenta una

8 Una riflessione interessante sugli sviluppi futuri del Rilievo 3D, sempre più influenzato dall'aumento dei dati terrestri e geospaziali, dalle nuove potenzialità offerte dai big data e dai progressi della robotica, si trova nei saggi di: Charles Toth, *The future of Remote Sensing: harnessing the data revolution*, in "GeoAcata" 42, 2019 (2), pp. 1-8; Eleonora Maset, Lorenzo Scaler, *Geomatica e Robotica: un connubio vincente verso l'automazione del rilievo*, in "GeoMedia", 26, 2022 (1), pp. 30-32.

direzione chiara verso una maggiore automazione e indipendenza dei processi di rilievo, e si prevede che diventerà a breve realtà.

Un tema di riflessione significativo nelle Scienze della Rappresentazione riguarda la transizione dal *Machine Learning* al *Deep Learning*; nel ML l'addestramento delle macchine è guidato dal programmatore attraverso *dataset* predefiniti e consentendo un controllo diretto sul processo di apprendimento, mentre, nel DL le macchine imparano autonomamente diventando, in un certo senso, 'maestre di sé stesse'. Questo mutamento comporta il rischio di generare scenari che non sempre rispecchiano il mondo reale, poiché il processo di ricostruzione diventa incontrollabile per l'operatore; tuttavia, tale caratteristica non deve essere interpretata esclusivamente in chiave negativa ma, al contrario, può essere considerata un vantaggio poiché consente di ottenere risultati che superano le capacità umane tradizionali. L'autonomia del *Deep Learning* permette di esplorare nuovi orizzonti nella rappresentazione, aprendo la strada a restituzioni innovative e potenzialmente più efficaci.

Questo saggio offre una panoramica sullo stato attuale dell'influenza dell'Intelligenza Artificiale nella digitalizzazione 3D, evitando un approfondimento tecnico sugli algoritmi e sulle reti neurali per garantire una comprensione generale accessibile a un ampio pubblico. L'obiettivo è stato di fornire una visione completa del funzionamento di questi strumenti, sottolineando l'importanza di comprendere e analizzare queste tecnologie per sfruttarne appieno le potenzialità e risolverne le eventuali criticità. L'impiego dell'IA ha semplificato significativamente il processo di ricostruzione 3D, trasformando compiti complessi in operazioni fattibili; ciò ha aperto la strada a nuove opportunità, rendendo possibile la costruzione virtuale di realtà complesse che, fino a poco tempo fa, erano impossibili.

Rivista scientifica
per le aree 08 (Architettura)
e 10 (Scienze dell'antichità,
filologico-letterarie
e storico-artistiche)
riconosciuta dall'ANVUR

«La proprietà letteraria
delle memorie pubblicate
è riservata ai singoli autori:
ad essi la responsabilità
di quanto espresso»
(Art. 21 dello Statuto
accademico)

Autorizzazione Tribunale
Civile di Bergamo,
6 settembre 1963,
n.418 del Registro
“Giornali e periodici”

Con il contributo della
Fondazione Roggia Morlana
per il progetto “H2O”.

Con il Public Engagement
dell'Università di Bergamo
per il progetto
“AI. L'intelligenza artificiale.
Opportunità e rischi”.