



Intelligenza artificiale al banco di prova dell'arte rupestre

 rupestre.net/tracce/

November 20, 2023

L'applicazione dell'intelligenza artificiale all'arte rupestre è un ambito emergente dell'archeologia digitale, oltre che delle *digital humanities* in senso ampio, e sta aprendo nuove prospettive nella ricerca, comprensione, conservazione e valorizzazione di questo patrimonio culturale. L'arte rupestre, per le sue caratteristiche peculiari, rappresenta un eccellente terreno di prova non solo per l'addestramento/sperimentazione ma anche per la valutazione della performance dell'intelligenza artificiale applicata al patrimonio culturale.



by Oriana BOZZARELLI – Università di Torino

L'intelligenza artificiale

al banco di prova dell'arte rupestre.

Alcune riflessioni

(November 20, 2023)

L'applicazione dell'intelligenza artificiale all'arte rupestre è un ambito emergente dell'archeologia digitale, oltre che delle *digital humanities*, in senso ampio, e sta aprendo nuove prospettive nella ricerca, comprensione, conservazione e valorizzazione di questo patrimonio culturale.

L'obiettivo principale è quello di utilizzare tecnologie avanzate per automatizzare l'identificazione delle incisioni preistoriche in modo più rapido e con nuovi livelli di dettaglio, supportare la documentazione, l'analisi e l'interpretazione delle incisioni rupestri, oltre che per facilitarne la conservazione e divulgazione.

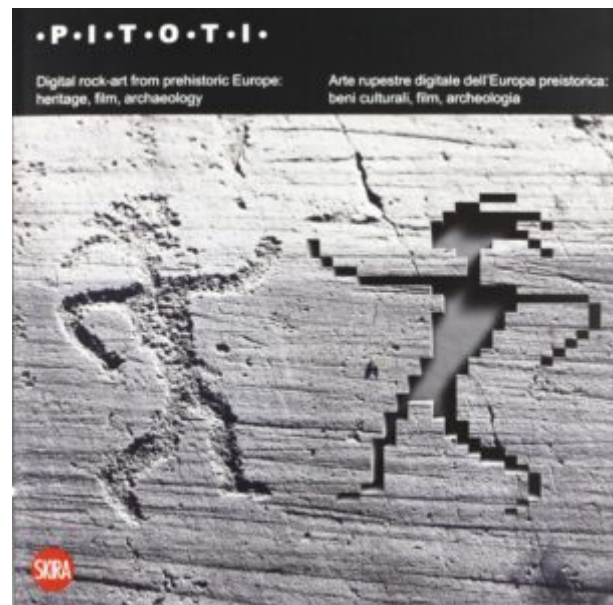
L'arte rupestre, per le sue caratteristiche peculiari, rappresenta un eccellente terreno di prova non solo per l'addestramento/sperimentazione ma anche per la valutazione della performance dell'intelligenza artificiale applicata al patrimonio culturale. In questo contesto analizzeremo alcuni studi e progetti rilevanti che hanno esplorato questo connubio.

Il primo *case history* che affrontiamo è italiano: si tratta del Progetto 3D-Pitoti^[1] – svoltosi nel triennio 2013-2016 – finanziato nell'ambito del Settimo Programma Quadro (FP7) dell'Unione Europea^[2] e frutto della collaborazione tra il MuPRE-Museo della Preistoria di Capo di Ponte, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR),

l'Università di Cambridge, l'Università di Nottingham e l'Università di Graz. L'iniziativa di ricerca, pur essendo stata svolta in anni non recenti (soprattutto se si considera il rapido sviluppo delle tecnologie digitali), si configura come un'esperienza di riferimento per le sperimentazioni riguardanti l'intelligenza artificiale applicate ai beni culturali.

Cosa sono i *pitoti*? Con questo termine dialettale, che significa pupazzetti, si indicano in Valcamonica le figure incise nella roccia, risalenti in gran parte all'Età del Ferro, ma con testimonianze che vanno dal Neolitico all'epoca romana. Queste figure rappresentano uomini, animali, armi, carri, simboli geometrici, spesso legati a rituali e narrazioni mitiche. L'iconografia preistorica rupestre camuna, o almeno una sua parte significativa, costituisce il *corpus*, l'insieme di dati su cui si è articolata l'intera progettazione; d'altro canto la Valcamonica è stata il primo sito italiano riconosciuto dall'UNESCO come Patrimonio dell'Umanità nel 1979 proprio per la straordinaria importanza delle sue incisioni rupestri, che vengono considerate una delle più estese "collezioni di reperti preistorici" al mondo.

Gli obiettivi dichiarati dal progetto si possono enucleare in quattro macro aree: digitalizzare in 3D le incisioni rupestri con scansioni ad alta risoluzione (*microscanning*, *laser scanning*, fotogrammetria); analizzare le incisioni con strumenti di intelligenza artificiale (*machine learning*, *computer vision*) per avviare un percorso di riconoscimento automatico dei motivi (isolare, segmentare, classificare e interpretare figure incise su superfici complesse); creare modelli 3D interattivi e navigabili per studiosi e pubblico, favorendo la divulgazione interattiva del patrimonio; integrare dati storici, spaziali e visivi in una piattaforma unica per lo studio interdisciplinare.



PITOTI, arte rupestre digitale dell'Europa preistorica



Foppe di Nadro, scena di duello

Per quanto riguarda le tecnologie utilizzate, il progetto si è basato sull'uso di scanner 3D e fotogrammetria per ricostruire le superfici rupestri in alta definizione, ha fatto ricorso all'intelligenza artificiale sotto forma di reti neurali convoluzionali (CNN) per sperimentare il riconoscimento automatico di forme (uomini, animali, armi, etc.), di *reality computing* e realtà aumentata (AR) per esplorazioni immersive finalizzate alla divulgazione/educazione, oltre che di ontologie semantiche per classificare e strutturare le informazioni.

L'uso di droni, laser scanner e algoritmi di intelligenza artificiale ha permesso di creare modelli 3D interattivi, facilitando la classificazione automatica e la visualizzazione immersiva delle incisioni preistoriche. Il progetto 3D-Pitoti^[3] ha contribuito a coniugare l'uso delle nuove tecnologie con l'analisi del patrimonio culturale, al fine di preservare digitalmente una eredità culturale fragile.

Le elaborazioni prodotte dai modelli^[4] del progetto offrono, rispetto alla valutazione sempre imprescindibile fornita dall'archeologo specializzato, una "lettura integrativa" dei petroglifi della Valcamonica.

Ecco alcuni esempi: l'intelligenza artificiale, unitamente alle altre tecnologie impiegate, si è rivelata di supporto per separare alcune incisioni di epoche diverse sovrapposte sulla stessa roccia (separazione digitale dei livelli), offrendo il valore aggiunto di far emergere nuove ipotesi cronologiche, iconografiche e interpretative. E ancora: l'intelligenza artificiale, ha attestato la sua utilità negli esperimenti di analisi semi-automatica delle

figure – in grado di accelerare la ricerca – dimostrandosi uno strumento complementare all’analisi umana dell’archeologo, dalla quale però – come già si è sottolineato poco sopra – non si può prescindere.

3DPitoti ha permesso di dare vita ad una banca dati 3D interattiva^[5] di parte delle incisioni camune per la gestione e l’analisi dei dati raccolti, sviluppare un motore di ricerca visivo per cercare di individuare motivi simili tra le rocce, oltre a permettere visualizzazioni immersive (anche con visori VR) per la fruizione pubblica e museale. Proprio in merito a quest’ultimo aspetto, con la collaborazione del Museo Nazionale della Preistoria della Valcamonica sono state realizzate mostre ed esperienze virtuali^[6]. I visitatori hanno potuto “camminare” virtualmente su una parete rupestre, zoomare su dettagli scolpiti migliaia di anni fa e persino ascoltare narrazioni interattive, facendo del 3D-Pitoti un ponte tra archeologia, arte e nuove tecnologie.

Il progetto si è concluso con una conferenza presso l’Università di Cambridge nel gennaio 2016^[7], durante la quale sono stati presentati i principali risultati e le innovazioni tecnologiche sviluppate.

Altro interessante progetto che riflette sul rapporto tra IA e arte rupestre è quello illustrato nel contributo *Artificial Intelligence, 3D Documentation, and Rock Art—Approaching and Reflecting on the Automation of Identification and Classification of Rock Art Images* (Horn et al., 2022)^[8] che esplora l’utilizzo dell’intelligenza artificiale e della documentazione 3D nell’analisi dell’arte rupestre, con un *focus* sui petroglifi dell’Età del Bronzo in Scandinavia. Lo studio – risultato della collaborazione tra lo SHFA, l’Amministrazione Regionale della Contea di Västra Götaland, il Centre for Digital Humanities, la Chalmers Technical University e l’Università di Göteborg – illustra un progetto di ricerca interdisciplinare volto a sviluppare un sistema automatizzato per l’identificazione e la classificazione delle immagini e dei motivi dell’arte rupestre, utilizzando tecniche di *deep learning* applicate a dati derivati da scansioni 3D ad alta risoluzione.



Tanumshede

Il progetto, che ha fatto tesoro delle sperimentazioni del progetto 3D Pitoti, si è proposto di migliorare la documentazione 3D dell'arte rupestre, riducendo i *bias* interpretativi umani, oltre a riflettere sull'applicabilità dell'intelligenza artificiale a contenuti simbolici e culturalmente complessi.

Il team ha impiegato la rete neurale convoluzionale Faster R-CNN – addestrata su un dataset, composto da 4.305 immagini annotate con bounding box provenienti da 408 scansioni di siti archeologici^[9] – per identificare e classificare automaticamente elementi/motivi dell'arte rupestre scandinava (classi), come barche, figure umane, animali quadrupedi, cerchi, ruote, a partire da scansioni 3D ad alta risoluzione.



Strömstad Massleberg Skee 614

L'uso di scanner ad alta risoluzione (es. HandySCAN 700) produce mesh 3D che possono essere elaborate con l'intelligenza artificiale per rimuovere rumori, curvatura della roccia e interpolare dati mancanti. Questo può migliorare la leggibilità delle incisioni e consente studi comparativi più precisi.

Sotto il profilo della tecnologia sono state utilizzate visualizzazioni 2D da scansioni laser 3D ad alta risoluzione: per facilitare l'analisi, le scansioni 3D sono state convertite in immagini 2D attraverso mappe di profondità e altre tecniche di visualizzazione, permettendo un'annotazione più efficiente e l'applicazione di metodi di riconoscimento delle immagini consolidati. Per migliorare l'efficacia del modello, sono state utilizzate tecniche di *data augmentation*, *transfer learning*, visualizzazione topografica automatizzata ("ratopoviz"^[10]), rimozione di rumore e curvature globali.

Per quanto riguarda i risultati raggiunti il modello ha mostrato buone prestazioni nel riconoscimento di figure ricorrenti come barche, cerchi, ruote e figure umane (migliori risultati con immagini pre-elaborate e aumentate) grazie a dati 3D ad alta risoluzione. Il modello ha ottenuto una performance più debole su classi meno rappresentate (es. animali), più complesse o figure erose, soprattutto a causa della loro varietà, ambiguità formale e della limitata quantità di dati di addestramento per queste categorie^[11]. Da sottolineare che la CNN ha individuato e identificato motivi non annotati in fase di scansione, dimostrando che la rete neurale può riconoscere incisioni trascurate dall'occhio umano degli archeologi, ad esempio figure scolpite debolmente o coperte da erosione.

Il progetto ha mostrato che un approccio basato sull'intelligenza artificiale è promettente

per velocizzare la classificazione delle immagini rupestri. L'intelligenza artificiale può aiutare nell'analisi e nella scoperta di nuove incisioni, ma non sostituisce l'interpretazione archeologica. L'arte rupestre in particolare, rispetto ad altri ambiti di *humanities*, presenta ambiguità formali e sovrapposizioni semantiche (es. barche simili ad animali o ibridi simbolici), difficili da gestire per una CNN. Una supervisione umana, soprattutto per categorie meno frequenti o ambigue, si rivela una condizione necessaria.



Tanumshede

Gli studiosi, pur riconoscendo il potenziale dell'intelligenza artificiale e della documentazione 3D[12] nel supportare l'analisi archeologica, invitano ad una riflessione critica nell'uso di queste tecnologie, promuovendo un approccio integrato e consapevole che combini strumenti digitali avanzati con l'*expertise* degli archeologi; inoltre sottolineano l'importanza di considerare le limitazioni dell'intelligenza artificiale nell'interpretazione dell'arte rupestre, evidenziando che la comprensione profonda del contesto culturale e simbolico richiede le competenze umane.

I due casi sinteticamente esposti testimoniano l'interesse delle *digital humanities* per l'intelligenza artificiale applicata ai beni culturali, mostrano le sue potenzialità nell'analisi e valorizzazione del patrimonio culturale ma ne testimoniano anche gli attuali limiti, contribuendo alla crescita del dibattito critico.

L'intelligenza artificiale^[13] riconosce e interpreta solo ciò per cui è stata addestrata a vedere e non comprende il profondo significato culturale o simbolico delle incisioni, dei reperti. Questo solleva interrogativi sull'uso consapevole dell'intelligenza artificiale in archeologia (così come in altri ambiti): il successo dell'intelligenza artificiale dipenderà dalla capacità di integrare, di far dialogare strumenti e risorse messi a disposizione dall'innovazione tecnologica con l'umana e professionale conoscenza archeologica, storica, antropologica e culturale.

Oriana BOZZARELLI
Università di Torino

[1]-Si veda il sito ufficiale: www.3d-pitoti.eu e il video: “3D Pitoti – Recreating Prehistoric Rock Art”, inoltre sul canale youtube del Centro Camuno di Studi Preistorici è disponibile una sintetica presentazione del progetto <https://youtu.be/zqGXdYUH628?si=oyOT_XtsrZ-arXQf>

[2] Si veda <cordis.europa.eu>

[3] Si veda la bibliografia di supporto:

Poier *et al.* 2016, 2017; Zeppelzauer *et al.* 2015, 2016.

[4] Si vedano alcuni esempi a questa url < <https://www.arctron.de/research-projects/3d-pitoti/>>, inoltre è possibile visualizzare diversi modelli alla sezione downloads del sito del progetto <<https://3d-pitoti.eu/downloads/>; ultimo accesso novembre 2023>

[5] Il dataset è stato realizzato dal gruppo *Institute of Computer Graphics and Vision* dell'Università di Graz (TU Graz) e raccoglie modelli 3D ad alta risoluzione delle superfici rocciose contenenti petroglifi. Il dataset è disponibile al seguente indirizzo ufficiale <<https://www.tugraz.at/index.php?id=17784>; ultimo accesso novembre 2023>

[6] Vd. Chippindale, Baker 2012, catalogo della Mostra tenuta a Milano, Triennale di Milano, nel 2012. Inoltre è on line il trailer mostra <<https://youtu.be/cR2z2zGRivQ?si=SGtXJcDpYPQKRYw4>; ultimo accesso novembre 2023>

[7] Si può ascoltare la conferenza e visualizzare le varie presentazioni al link <<https://vimeo.com/162959891>; ultimo accesso novembre 2023>

[8] Horn *et al.* 2022.

[9] Si tratta di siti di arte rupestre del Bohuslän. Sono state utilizzate anche scansioni da Östergötland, Scania e Uppland.

[10] Ratopoviz — abbreviazione di *Rock Art Topographical Visualization* — è uno strumento software open source sviluppato per migliorare la visualizzazione e l'analisi di dati 3D relativi all'arte rupestre, in particolare i petroglifi. Si tratta di un tool che

automatizza la creazione di mappe topografiche da scansioni 3D, evidenziando i dettagli che l'occhio umano fatica a distinguere. Si veda <<https://github.com/Swedish-Rock-Art-Research-Archives/rock-art-ratopoviz>; ultimo accesso novembre 2023>

[11]The main classes selected to test object detection were: “boat (612), human (808), animal (294), circle (91), and wheel (98) (see Fig. 4). There are many animals with different shapes depicted on the Scandinavian rock panels, i.e. cattle, snakes, fish, birds, and deer. Therefore, only four-legged animals were included in this classification (p. 197). “The object class “animal” has a seemingly poor performance. A reason for this could be that even among the four-legged animals there is considerable variation, for example, horns, tails, genitalia, length of legs, and length of necks. This together with the rather limited number of training examples could have caused the issue. This could also indicate another reason why the model performed less well in recognizing humans than boats. Generally, in rock art research, human or other anthropomorphic figures are identified as a combination of the bodily features and whichever objects are associated with the figure.” (p. 203), cfr. Horn *et al.* 2022.

[12] Per i modelli 3D in grado di leggere anche i segni più fini filiformi e quindi di eguagliare la qualità delle migliori riprese fotografiche a luce radente, si può vedere l'applicazione all'arte rupestre di modellizzazioni 3D stereo-fotometriche (Vanzi *et al.* 2016, Arcà 2022), che permettono la referenziazione spaziale sugli assi x, y e z per ogni pixel fotografico sorgente, e non solamente per i punti di collimazione (*tie-points*) della nuvola di punti creata dai modelli 3D stereo-fotogrammetrici o da *laserscan*, ottenendo così una definizione di gran lunga maggiore, evidente anche nelle restituzioni bidimensionali.

[13]I modelli più avanzati, come quelli di intelligenza artificiale generativa, sono addestrati su molti tipi di dati diversi e possono generalizzare ciò che hanno appreso, fare inferenze, analogie e riconoscere schemi simili anche in situazioni nuove.

Bibliografia

Arcà A. 2022. *Metodi di studio: novità e tradizione nell'arte rupestre della Lombardia e dell'arco alpino*. In De Marinis R.C, Rapi M. (eds.), *Preistoria e Protostoria in Lombardia e Canton Ticino*, Atti LII Riunione Scientifica IIPP (Milano 17-20 ottobre 2017), Rivista di Scienze Preistoriche, numero speciale, LXXVII, S2: 323-341.

Chippindale C., Baker F. 2012. *PITOTI, digital rock-art from prehistoric Europe: heritage, film, archaeology*, Milano.

Horn C., Ivarsson O., Lindhé C., Potter R., Green A., Ling J. 2022. *Artificial Intelligence, 3D Documentation, and Rock Art—Approaching and Reflecting on the Automation of Identification and Classification of Rock Art Images*, *Journal of Archaeological Method and Theory*, 29: 188-213.

Poier G., Seidl M., Zeppelzauer M., Reinbacher C., Schaich M., Bellandi G., Marretta A., Bischof H. 2016. *PetroSurf3D – A high-resolution 3D Dataset of Rock Art for Surface Segmentation*, CoRR abs/1610.01944, arXiv:1610.01944v2 [cs.CV] 13 Oct 2016.

Poier G., Seidl M., Zeppelzauer M., Reinbacher C., Schaich M., Bellandi G., Marretta A., Bischof H. 2017. *The 3D-Pitoti Dataset: A Dataset for high-resolution 3D Surface Segmentation*, Proceedings of the 15th International Workshop on Content-Based Multimedia Indexing, Firenze.

Vanzi M., Bagnoli P.E., Mannu C., Rodriguez G. 2016. *Photometric Stereo 3D Visualisation of Rock-Art Panels, Bas-Reliefs, and Graffiti*, in CAA2015. Keep the revolution going, Proceedings of the 43rd Annual Conference on Computer Application.

Zeppelzauer M., Poier G., Seidl M., Reinbacher C., Schulter S., Breiteneder C., Bischof H. 2016. *Interactive 3D Segmentation of Rock-Art by Enhanced Depth Maps and Gradient Preserving Regularization*, ACM Journal on Computing and Cultural Heritage 9 (4): 19:1-19:30.

Zeppelzauer M., Poier G., Seidl M., Reinbacher C., Schulter S., Breiteneder C., Bischof H. 2015. Zeppelzauer M., Poier G., Seidl M., Reinbacher C., Breiteneder C., Bischof H. Schulter S. 2015. *Interactive Segmentation of Rock-Art in High-Resolution 3D Reconstructions*, in Proc. Digital Heritage Conference (DH), 2015.