

Misura o dismisura? Considerazioni e confronti tra NeRF e fotogrammetria digitale

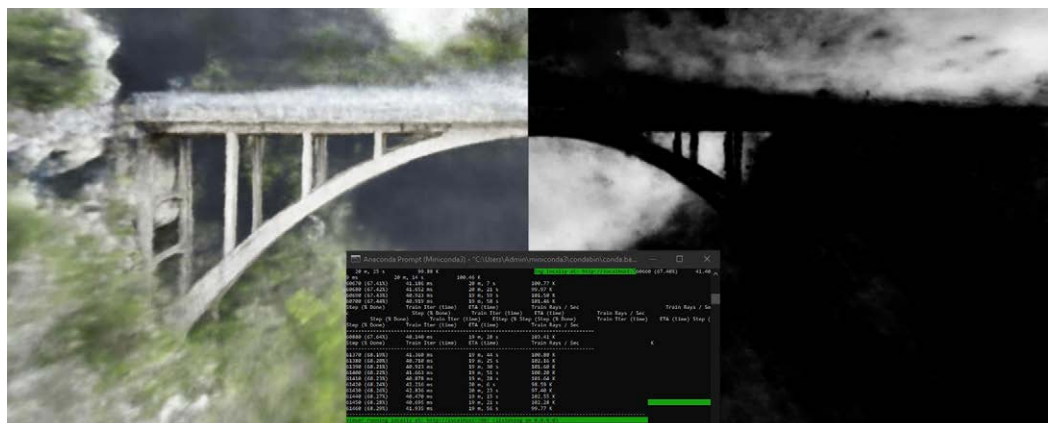
Ilaria Trizio
Adriana Marra
Francesca Savini
Marco Giallonardo
Alessio Cordisco
Marco Saccucci

Abstract

Le più recenti applicazioni dei *Neural Radiance Fields* (NeRF) nella ricostruzione di scene 3D basate su immagini digitali hanno consentito di testarne le potenzialità, comparando i risultati e ponendo questo nuovo sistema come alternativa alla fotogrammetria e alle tecniche di *computer vision* nel campo della ricostruzione e del rilievo digitale. Il contributo in oggetto, partendo dalla riflessione scaturita dal concetto di misura e di dismisura intesa invece quale assenza di misura, si propone di testare i NeRF su alcuni casi di studio a scala differente, a partire da set di dati utilizzati per la fotogrammetria digitale. I risultati ottenuti, analizzati alla luce di quelli della più recente letteratura scientifica sullo stesso argomento, confermano per molti aspetti la validità dei NeRF in quanto tecnica che compensa alcune lacune della fotogrammetria, per lo più legate alla resa dei materiali e all'illuminazione degli ambienti in quanto parametri che influenzano fortemente il dato fotogrammetrico. La sperimentazione, allo stesso tempo, conferma che allo stato attuale i NeRF sono particolarmente promettenti nella visualizzazione e nella valorizzazione del patrimonio culturale a partire dalla ricostruzione tridimensionale di scene da set fotografici ma che si pongono anche come un campo di ricerca particolarmente aperto a nuove sperimentazioni.

Parole chiave

Misura, rilievo, fotogrammetria digitale, NeRF, *computer vision*.



Procedura NeRF applicata al Ponte di Archiario. Elaborazione degli autori.

Introduzione

Il rilevamento è un atto di conoscenza, di indagine, di lettura e di discretizzazione che consente di ricavare dati di tipo geometrico, metrico e formale di un oggetto architettonico o di un contesto urbano o paesaggistico [Docci, Maestri 2020]. Alla base di questo processo c'è la misura che, indipendentemente dal sistema utilizzato per determinarla, è finalizzata ad acquisire le dimensioni e la geometria dell'oggetto indagato. Nel corso del tempo il rilevamento ha subito cambiamenti che consentono di acquisire in poco tempo e con elevata precisione una grande quantità di dati anche di manufatti complessi. Le tecnologie digitali, grazie alla rapida evoluzione di sistemi hardware e software, permettono di ottimizzare al massimo le procedure di rilevamento e di ottenere rilievi accurati e affidabili dal punto di vista metrico, con nuvole di punti e rappresentazioni 3D di spazi, paesaggi, oggetti e architetture [Brunetaud et al. 2012]. Tra le tecniche attuali più diffuse ci sono quelle di tipo indiretto basate su sensori attivi e passivi, come il laser scanning (fisso e mobile) o la fotogrammetria digitale, e risulta da tempo altrettanto consolidata la loro integrazione [Guidi et al. 2008]. Attualmente, la comparsa di una nuova modalità di ricostruzione di scene tridimensionali a partire da set di immagini, basata sull'utilizzo dei *Neural Radiance Fields* (NeRF), ha portato la comunità scientifica a interrogarsi sugli sviluppi e le potenzialità di questo nuovo metodo nell'ambito della rappresentazione del patrimonio culturale [Balloni et al. 2023; Condorelli et al. 2021; Croce et al. 2023; Mazzacca et al. 2023].

I NeRF sono stati introdotti nel 2020 da Ben Mildenhall [Mildenhall et al. 2021] come un innovativo metodo per la ricostruzione di scene complesse a partire da set di immagini sparse con orientamento noto e per la sintetizzazione di nuove viste. Questo metodo si basa sull'uso di reti neurali completamente connesse di tipo non convoluzionale, chiamate *Multi-Layer Perceptrons* (MLPs), in un processo articolato in tre fasi.

Nella prima fase viene proiettato un fascio di raggi attraverso la scena, campionando un set di punti 3D. Successivamente, i punti individuati vengono elaborati dalle MLP, restituendo un colore RGB e una densità di volume per ogni punto e direzione della vista. Infine, tecniche di rendering volumetrico vengono utilizzate per sintetizzare le informazioni ottenute in una nuova vista 2D, un processo noto come *novel-view synthesis*.

La rappresentazione della scena avviene attraverso una funzione 5D che associa a ogni punto nello spazio le corrispondenti proprietà di radianza emessa in ogni direzione. La densità di volume è concepita come un'opacità differenziale indicativa della radianza accumulata da un raggio che passa attraverso ciascun punto. L'input per il MLP è una coordinata 5D, mentre l'output è composto dalla densità di volume e dal colore RGB, dipendente sia dalle coordinate spaziali che dalla direzione della vista. Attualmente, diverse piattaforme open

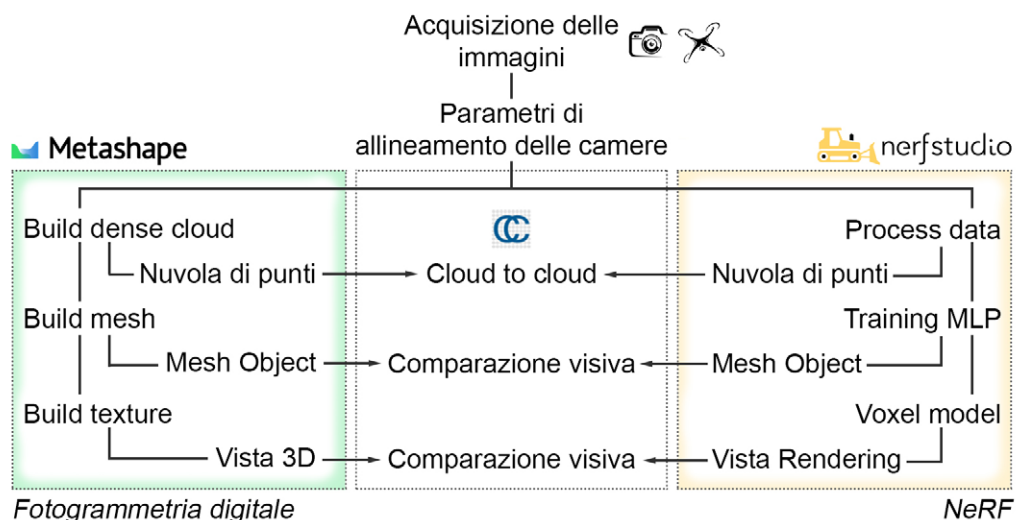


Fig. 1. Workflow metodologico. Elaborazione degli autori.

source permettono l'addestramento e lo sviluppo di modelli NeRF, facilitando l'utilizzo su larga scala e la sperimentazione su vari dataset. Tra questi, Instant-NGP, sviluppato per NVIDIA [Müller et al. 2022], supporta input di immagini e video con posizioni di fotocamera stimate tramite COLMAP, offrendo un'interfaccia grafica utente per il controllo della scena durante l'addestramento; Nerfstudio [Tancik et al. 2023], consente l'addestramento e il testing end-to-end dei NeRF, accettando foto e video con posizioni di fotocamera stimate tramite software come Agisoft Metashape o Reality Capture e offrendo diverse opzioni di esportazione. Interessante è anche Luma AI, di Luma Labs, la prima piattaforma mobile per la creazione di modelli NeRF, disponibile su App Store per dispositivi iOS.

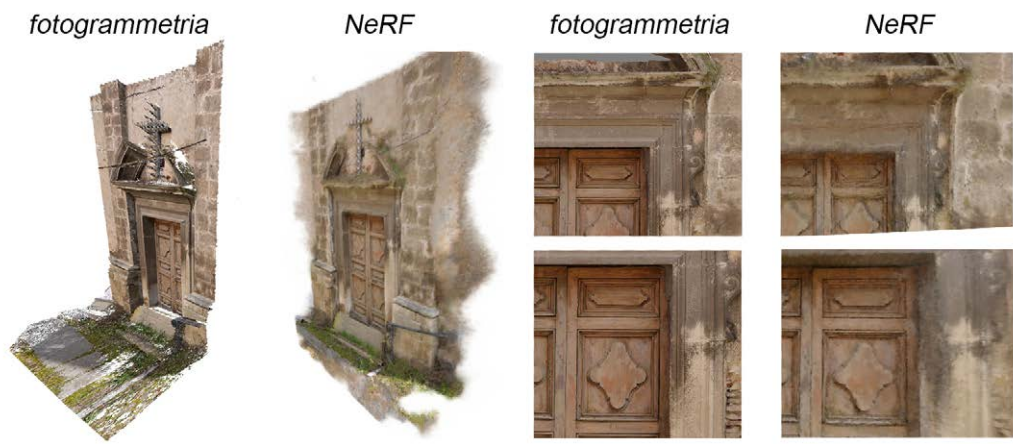


Fig. 2. Portale della chiesa di Santa Maria Assunta di Fossa: comparazione visiva tra il modello texturizzato fotogrammetrico e il rendering volumetrico NeRF. Elaborazione degli autori.

A partire da una riflessione sul concetto di misura, intesa come comprensione delle dimensioni fisiche di un manufatto, e di dismisura, intesa invece quale assenza di misura, la ricerca si propone di testare le potenzialità del processo NeRF per la realizzazione di modelli 3D del costruito, ricorrendo al confronto con i dati fotogrammetrici su alcuni casi di studio esemplificativi. La comparazione dei risultati delle applicazioni di queste tecnologie è volta a validare gli esiti del NeRF dal punto di vista qualitativo, in termini di aspetto e colorimetria dei modelli, che quantitativo, in termini di distanza tra le nuvole di punti.

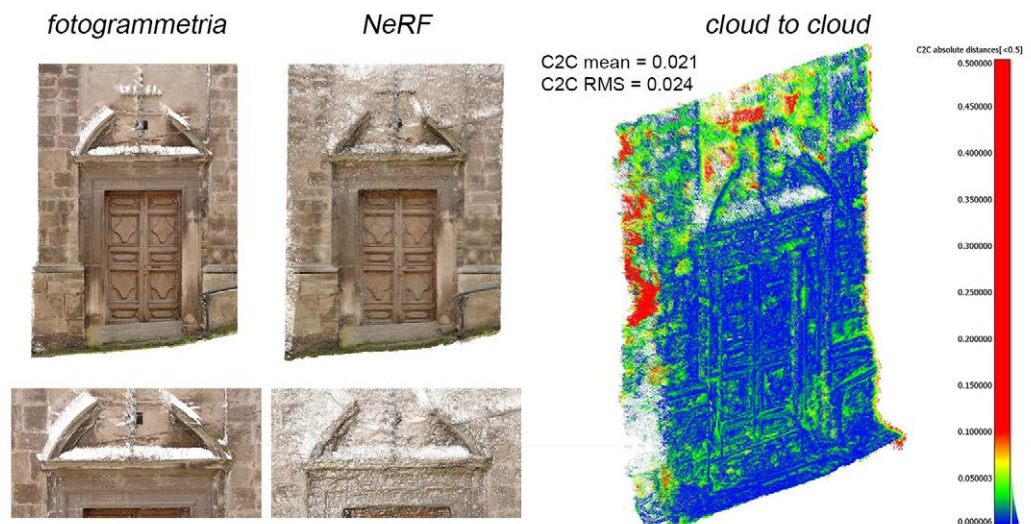


Fig. 3. Portale della chiesa di Santa Maria Assunta di Fossa: comparazione metrica tra la nuvola di punti fotogrammetrica e la nuvola di punti NeRF. Elaborazione degli autori.

Neural Radiance Fields: campi di applicazione e prime sperimentazioni

I NeRF sono stati applicati in diversi settori, come ad esempio nella robotica, dove migliorano l'automazione dei processi industriali. Le interazioni di droni, bracci robotici e robot umanoidi con l'ambiente circostante sono state esaminate attraverso modelli NeRF, migliorando così le prestazioni degli automi [Kerr et al. 2022]. Nei settori in cui è necessaria una riproduzione accurata di forme e volumi, come nel design industriale, i NeRF superano i limiti dei metodi tradizionali di ricostruzione tridimensionale, specialmente per oggetti con superfici riflettenti [Remondino et al. 2023]. Nel campo dell'ingegneria invece, in cui le



Fig. 4. Portale della chiesa di Santa Maria Assunta di Fossa: visualizzazione del rumore superficiale. Elaborazione degli autori.

indagini strutturali svolgono un ruolo importante e le dimensioni degli oggetti di studio a scala infrastrutturale portano inevitabilmente a una serie di problematiche, l'uso dei NeRF per la documentazione di carenze strutturali [Hong et al. 2023] pone l'attenzione sull'uso di questa tecnologia in ottica di indagine multiscalare.

Di recente hanno riscontrato un crescente interesse le possibili applicazioni dei NeRF al patrimonio culturale, sebbene un evidente problema sia legato alla complessità dei modelli e alla difficoltà nella produzione di output utilizzabili per applicazioni pratiche, quali nuvole di punti e superfici mesh poligonali. Nonostante tali problematiche, sono numerosi i contributi in cui si valuta l'applicabilità e la validità dei NeRF nelle procedure di rilievo del patrimonio

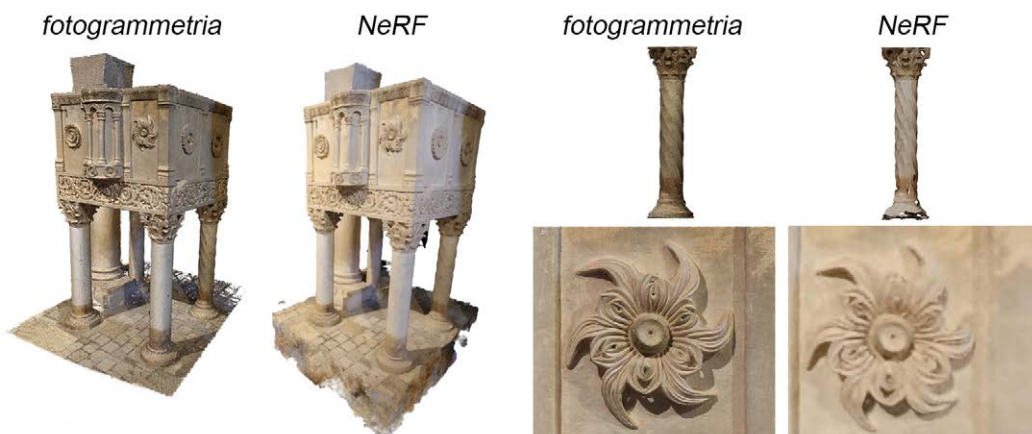


Fig. 5. Pulpito della chiesa di Santa Maria Assunta di Bominaco: comparazione visiva tra il modello texturizzato fotogrammetrico e il rendering volumetrico NeRF. Elaborazione degli autori.

culturale [Perticarini, Giordano 2023; Basso et al. 2024] o si confrontano i risultati conseguiti dai NeRF e le già consolidate tecniche di rilievo digitale, in particolare la fotogrammetria [Croce et al. 2024; Palestini et al. 2022; Palestini et al. 2023]. A questi studi in cui si comparano metricamente i modelli NeRF con i modelli fotogrammetrici ottenuti da algoritmi *Structure-from-Motion* (SfM) e *Multi-View Stereo* (MVS), è seguito nell'ultimo anno un numero di contributi che si interrogano sul concreto utilizzo dell'approccio NeRF in sostituzione o ad integrazione di elaborazioni fotogrammetriche e laser [Croce et al. 2023; Remondino et al. 2023; Balloni et al. 2023]. La centralità delle nuvole di punti nel campo del rilievo del patrimonio, quale strumento imprescindibile per una rappresentazione metricamente accurata delle geometrie è riportata in quest'ambito con l'introduzione dei Point-NeRF e di Points2NeRF [Xu et al. 2022; Zimny et al. 2022]. Interessanti sono le sperimentazioni dei NeRF per la segmentazione semantica dei beni culturali, con numerosi approcci applicativi, come i semantic-NeRF [Zhi et al. 2021], i semantic-SRF [Qi et al. 2021], i Panoptic NeRF [Fu et al. 2022], i SS-NeRF [Zhang et al. 2023] e i SegNeRF [Zarzar et al. 2022]. In questi studi si creano modelli suddivisi in classi attraverso etichette semantiche correlate alle caratteristiche di geometria e radianza rilevate. Infine, l'uso di applicazioni VR per il patrimonio culturale costituisce un fattore in forte crescita con la possibilità di sperimentare i NeRF attraverso metodologie quali FoV-NeRFs [Deng et al. 2022], InstantXR [Park et al. 2022] e Immersive-NGP [Li et al. 2022] che puntano a migliorare la qualità della scena garantendo l'immersività dell'esperienza.

Workflow operativo con applicazioni a casi di studio multiscalari

Il lavoro presentato in questa sede, attraverso l'applicazione ad alcuni casi di studio, è finalizzato a testare e validare il processo NeRF nell'ambito della visualizzazione e rappresentazione digitale.

L'approccio metodologico utilizzato per raggiungere tale obiettivo è articolato in fasi successive (fig. 1). Il primo step del processo è rappresentato dall'acquisizione di un set fotografico realizzato secondo i criteri propri della fotogrammetria, ovvero garantendo il giusto grado di sovrapposizione tra le immagini. I dati acquisiti vengono quindi elaborati attraverso il software di fotogrammetria digitale (Agisoft Metashape), ottenendo i parametri di allineamento delle camere. Queste informazioni vengono quindi esportate per poter avviare il processo in ambiente NeRF (Nerfstudio). Con entrambi i processi vengono generati modelli digitali, sotto forma di nuvole di punti e mesh poligonali, sebbene attraverso processi sostanzialmente molto differenti. Gli output ottenuti possono essere così confrontati metricamente

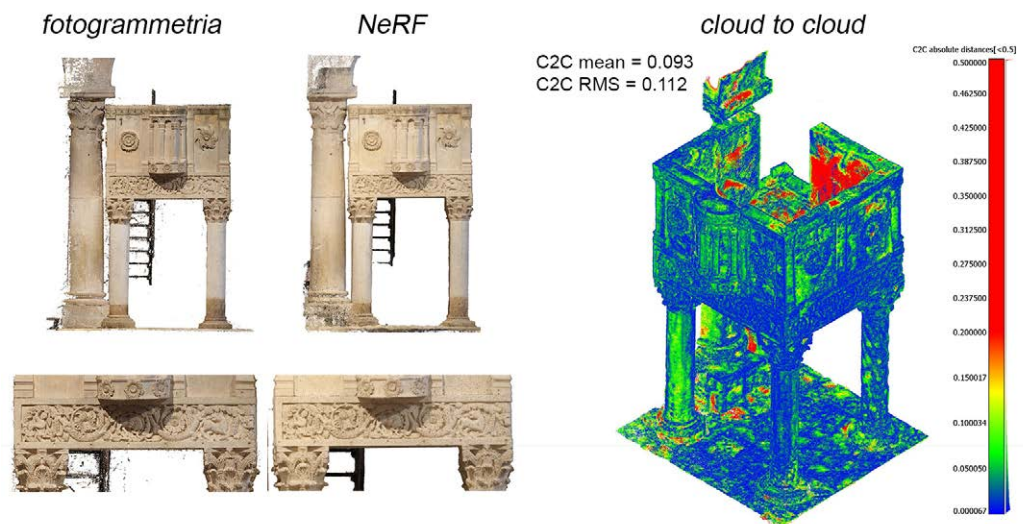


Fig. 6. Pulpito della chiesa di Santa Maria Assunta di Bominaco: comparazione metrica tra la nuvola di punti fotogrammetrica e la nuvola di punti NeRF. Elaborazione degli autori.

Fig. 7. Pulpito della chiesa di Santa Maria Assunta di Bominaco: visualizzazione del rumore superficiale. Elaborazione degli autori.



nel software *open-source* Cloud Compare, calcolando la deviazione tra le due nuvole e assumendo come riferimento la fotogrammetria. In aggiunta al confronto metrico, è stata effettuata una valutazione qualitativa, attraverso un confronto visivo, della mesh texturizzata, ottenuta dalla fotogrammetria, e del rendering volumetrico derivato dal NeRF.

La sperimentazione proposta è stata condotta su tre casi di studio: il portale d'ingresso della chiesa di Santa Maria Assunta a Fossa (AQ), il pulpito della chiesa di Santa Maria Assunta a Bominaco (AQ) e il ponte di Arcichiaro nei pressi dell'omonima diga a Guardiaregia, in provincia di Campobasso. Essi si differenziano sia per la dimensione che per la qualità e quantità del dataset iniziale. Il portale è un manufatto di piccole dimensioni. Il dataset di partenza consiste in 12 foto acquisite con una camera Nikon D610 ottica 24mm. L'elaborazione fotogrammetrica, eseguita con i parametri di allineamento e di costruzione della nuvola densa

fotogrammetria



NeRF



Fig. 8. Ponte di Arcichiaro: comparazione visiva tra il modello texturizzato fotogrammetrico e il rendering volumetrico NeRF. Elaborazione degli autori.

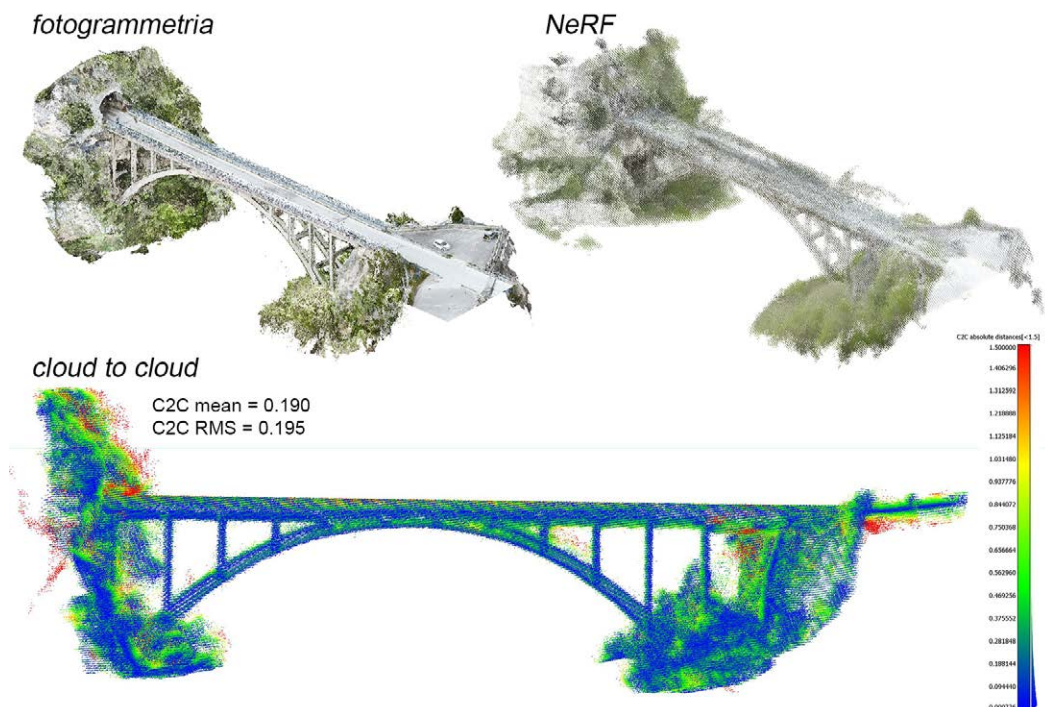


Fig. 9. Ponte di Arcichiaro: comparazione metrica tra la nuvola di punti fotogrammetrica e la nuvola di punti NeRF. Elaborazione degli autori.

in qualità alta permette di ottenere una nuvola di 13,295,877 punti. Il processo NeRF invece è stato addestrato con 30000 step iterativi.

Il pulpito [Trizio et al. 2022] è un manufatto di medie dimensioni. Il dataset di partenza consiste in 196 foto realizzate con una camera Canon EOS 4000D ottica 18mm. L'elaborazione fotogrammetrica, eseguita con i parametri di allineamento e di costruzione della nuvola densa in qualità alta permette di ottenere una nuvola di 75,002,539 punti. Il processo NeRF è stato addestrato con 30000 step iterativi.

Il ponte invece costituisce un manufatto di notevole estensione. Per tale ragione il dataset di partenza consiste in 1322 foto acquisite con un drone DJI mini 2. L'elaborazione fotogrammetrica, eseguita con i parametri di allineamento e di costruzione della nuvola densa in qualità media permette di ottenere una nuvola di 23,837,642 punti. Il processo NeRF invece è stato addestrato con 90000 step iterativi.

I risultati del confronto quantitativo (figg. 2, 5, 8) evidenziano come il NeRF abbia un alto grado di completezza geometrica nella creazione dei modelli 3D, anche se la relativa nuvola di punti tende a essere più rumorosa rispetto a quella fotogrammetrica.

La comparazione *cloud-to-cloud* (figg. 3, 6, 9) mostra uno scostamento minimo tra il modello fotogrammetrico e quello NeRF rappresentato dal colore blu del campo scalare. Tuttavia si osserva maggiore deviazione tra i punti all'aumentare delle immagini del dataset utilizzato nel processo. Si osserva inoltre una elevata rumorosità dei modelli NeRF, evidenziata (figg. 4, 7, 10) da zone colorate in verde.

La valutazione visiva dei dati ottenuti ha permesso di analizzare la qualità della texture dei modelli ottenuti (figg. 2, 5, 8). Quella prodotta dal NeRF risulta avere una bassa qualità rispetto alla texture fotogrammetrica, poiché la nuvola di punti rumorosa generata dal NeRF porta alla creazione di mesh poligonali altrettanto rumorose. Tuttavia, il NeRF eccelle nella resa cromatica, fornendo rendering volumetrici con effetti *view-dependent* che conferiscono un elevato realismo agli oggetti studiati, a differenza della rappresentazione fotogrammetrica che risulta più piatta, soprattutto in relazione alla resa dei materiali (figg. 3, 6, 9). Per quanto riguarda le tempistiche di elaborazione dei processi (fig. 11), a parità di macchina si evidenzia un vantaggio generale della fotogrammetria rispetto al NeRF, anche se per i manufatti di notevoli dimensioni il tempo di elaborazione tra i due approcci è paragonabile.

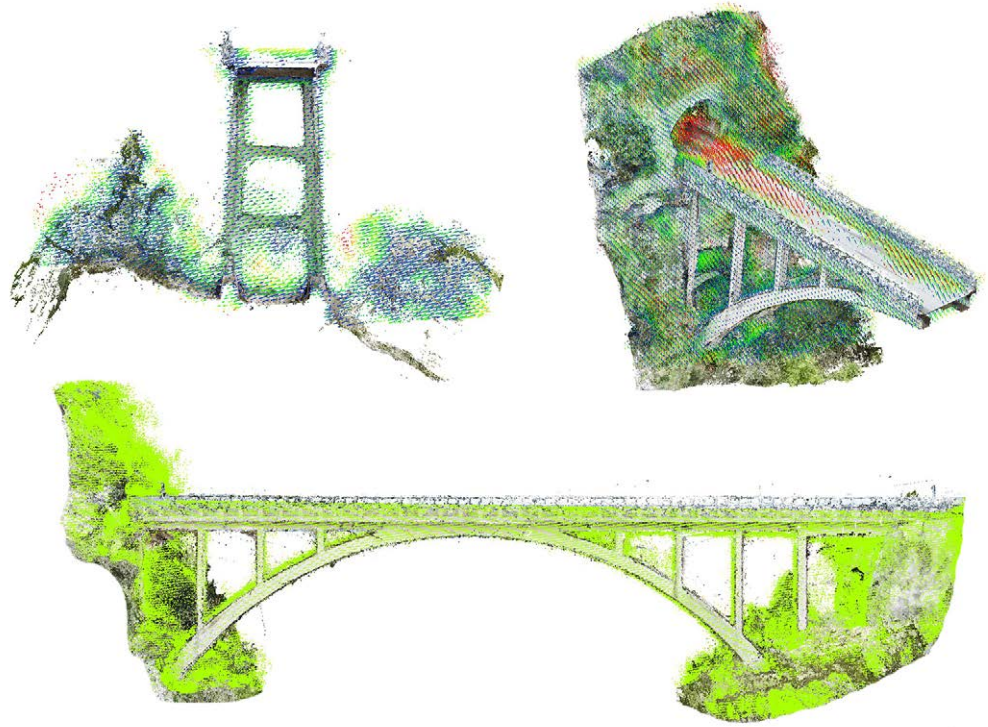


Fig. 10. Ponte di Arciachiaro: visualizzazione del rumore superficiale. Elaborazione degli autori.

In tutte le casistiche esaminate si riscontra un ampio divario nel tempo di esportazione dei dati poiché le nuvole e le mesh dal processo NeRF devono essere generate a partire dal modello tridimensionale, mentre queste tipologie di dati sono l'esito diretto del processo fotogrammetrico.

Coclusioni

Allo stato attuale della ricerca, sebbene risulti evidente che i NeRF abbiano delle grandi potenzialità in merito ai processi di visualizzazione e di rappresentazione digitale dei beni

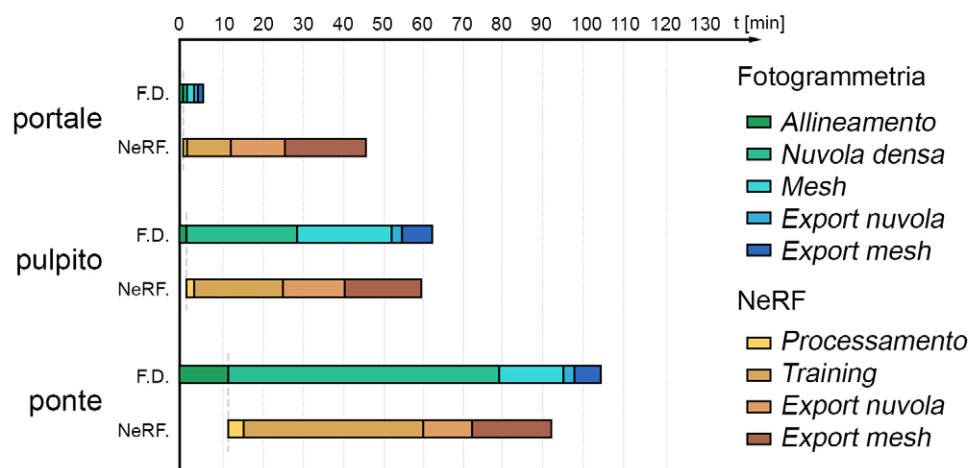


Fig. 11. Confronto dei tempi di elaborazione del processo fotogrammetrico vs processo NeRF. Elaborazione degli autori.

culturali è ancora prematuro parlarne come di uno strumento di misura al pari di altri già consolidati come la fotogrammetria. La sperimentazione illustrata in questa sede, in linea con la letteratura corrente, ci porta a parlare più che di misura, di assenza di un dato quantitativo certo, ossia di assenza di misura e quindi di “dismisura”. Attraverso la sperimentazione, condotta su alcuni casi di studio a differenti scale e con caratteristiche molto varie, nonché con set di immagini di partenza anche significativamente differenti in termini di sensori utilizzati e di numero di immagini da processare, è stato possibile confrontare le nuvole di punti e i modelli scaturiti dai processi NeRF e fotogrammetrici. I risultati ottenuti portano a confermare quanto messo in evidenza dalla più recente letteratura di riferimento e a prospettare l'apertura di nuove tematiche di ricerca legate ad alcuni aspetti interessanti emersi durante la sperimentazione, come ad esempio la buona resa grafica del rendering volumetrico, che si adatta a particolari applicazioni di valorizzazione del patrimonio costruito.

Crediti

Si attribuiscono a Ilaria Trizio il primo paragrafo, il secondo e terzo a Marco Saccucci, mentre il paragrafo conclusivo è frutto di una riflessione congiunta degli autori. Si attribuiscono a Marco Saccucci le immagini e a tutti gli autori la progettazione e la messa a punto della sperimentazione.

Riferimenti Bibliografici

Balloni E., Gorgoglione L., Paolanti M., Mancini A., Pierdicca R. (2023). Few shot photogrammetry: a comparison between NeRF and MVS-SfM for the documentation of cultural heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 155-162.

Basso A., Condorelli F., Giordano A., Morena S., Perticarini M. (2024). Evolution of Rendering Based on Radiance Fields. The Palermo Case Study for a Comparison Between Nerf and Gaussian Splatting. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 57-64.

Brunetaud X., Luca L. D., Janvier-Badosa S., Beck K., Al-Mukhtar M. (2012). Application of digital techniques in monument preservation. In *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(5), pp. 543-556.

Condorelli F., Rinaudo F., Salvatore F., Tagliaventi S. (2021). A comparison between 3D reconstruction using nerf neural networks and mvs algorithms on cultural heritage images. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, pp. 565-570.

Croce V., Caroti G., De Luca L., Piemonte A., Véron P. (2023). Neural radiance fields (nerf): Review and potential applications to digital cultural heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 453-460.

Croce V., Billi D., Caroti G., Piemonte A., De Luca L., Véron P. (2024). Comparative Assessment of Neural Radiance Fields and Photogrammetry in Digital Heritage: Impact of Varying Image Conditions on 3D Reconstruction. In *Remote Sensing*, 16(2), p. 301.

Deng N., He Z., Ye J., Duinkharjav B., Chakravarthula P., Yang X., Sun Q. (2022). Fov-nerf: Foveated neural radiance fields for virtual reality. In *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(11), pp. 3854-3864.

Docci M., Maestri D. (2020). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Bari-Roma: Laterza.

Fu X., Zhang S., Chen T., Lu Y., Zhu L., Zhou X., ... Liao Y. (2022, Settembre). Panoptic nerf: 3d-to-2d label transfer for panoptic urban scene segmentation. In *2022 International Conference on 3D Vision (3DV)*, pp. 1-11. IEEE.

Guidi G., Remondino F., Russo M., Menna F., Rizzi A. (2008). 3D Modeling of Large and Complex Site Using Multi-sensor Integration and Multi-resolution Data. In *VAST*, pp. 85-92.

Kerr J., Fu L., Huang H., Avigal Y., Tancik M., Ichnowski J., ... Goldberg K. (2023, Marzo). Evo-nerf: Evolving nerf for sequential robot grasping of transparent objects. In *Conference on Robot Learning*, pp. 353-367. PMLR.

Li K., Rolff T., Schmidt S., Bacher R., Frintrop S., Leemans W., Steinicke F. (2022). Immersive Neural Graphics Primitives. *arXiv preprint arXiv:2211.13494*.

Mazzacca G., Karami A., Rigon S., Farella E. M., Trybala P., Remondino F. (2023). NeRF for Heritage 3D Reconstruction. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 1051-1058.

Mildenhall B., Srinivasan P.P., Tancik M., Barron J.T., Ramamoorthi R., Ng R. (2021). Nerf: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. In *Communications of the ACM*, 65(1), pp. 99-106.

Müller T., Evans A., Schied C., Foco M., Bódis-Szomorú A., Deutsch I., Shelley M., Keller A. (2022). Instant neural radiance fields. In *ACM SIGGRAPH 2022 Real-Time Live!*, pp. 1-2.

Hong K., Wang H., Yuan B. (2023). Inspection-Nerf: Rendering Multi-Type Local Images for Dam Surface Inspection Task Using Climbing Robot and Neural Radiance Field. In *Buildings*, 13(1), p. 213.

- Palestini C., Basso A., Perticarini M. (2022). Machine Learning as an Alternative to 3d Photomodeling Employed in Architectural Survey and Automatic Design Modelling. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 191-197.
- Palestini C., Meschini A., Perticarini M., Basso A. (2023). Neural Networks as an Alternative to Photogrammetry. Using Instant NeRF and Volumetric Rendering. In *Beyond Digital Representation: Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*, pp. 471-482. Cham: Springer Nature Switzerland.
- Park M., Yoo B., Moon J.Y., Seo J. H. (2022, Novembre). InstantXR: Instant XR Environment on the Web Using Hybrid Rendering of Cloud-based NeRF with 3D Assets. In *Proceedings of the 27th International Conference on 3D Web Technology*. Evry(Paris), 2-4 Novembre 2022, pp. 1-9. <<https://doi.org/10.1145/3564533.3564565>> (consultato il 26 Luglio 2024).
- Perticarini M., Giordano A. (2023). Ponte San Lorenzo, a case study for the comparison of image-based survey tools. NeRF as an alternative to photogrammetry. In *Proceeding in IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*. Roma, 19-21 October 2023. DOI: 10.21014/tc4-ARC-2023.152.
- Qi Z., Chen H., Liu C., Shi Z., Zou Z. (2023). Implicit Ray-Transformers for Multi-view Remote Sensing Image Segmentation. In *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, pp.1-15.
- Remondino F., Karami A., Yan Z., Mazzacca G., Rigon S., Qin R. (2023). A critical analysis of nerf-based 3d reconstruction. In *Remote Sensing*, 15(14), p. 3585.
- Tancik M., Weber E., Ng E., Li R., Yi B., Wang T., ... Kanazawa A. (2023, July). Nerfstudio: A modular framework for neural radiance field development. In *ACM SIGGRAPH 2023 Conference Proceedings*. Los Angeles, 6-10 Agosto 2023, pp. 1-12. New York: Association for Computing Machinery.
- Trizio I., Savini F., Marra A., Fabbrocino G. (2022). Integrated survey procedures for seismic protection of monumental liturgical furniture. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2204, No. 1, p. 012067. IOP Publishing.
- Xu Q., Xu Z., Philip J., Bi S., Shu Z., Sunkavalli K., Neumann U. (2022). Point-nerf: Point-based neural radiance fields. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. New Orleans, 18-24 Giugno 2022, pp. 5438-5448.
- Zarzar J., Rojas S., Giancola S., Ghanem B. (2022). SegNeRF: 3D Part Segmentation with Neural Radiance Fields. In *arXiv preprint arXiv:2211.11215*. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.11215>> (consultato 28 Luglio 2024).
- Zhang M., Zheng S., Bao Z., Hebert M., Wang Y. X. (2023). Beyond RGB: Scene-Property Synthesis with Neural Radiance Fields. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*. Waikoloa (HI), 3-7 Gennaio 2023, pp. 795-805. IEEE.
- Zhi S., Laidlow T., Leutenegger S., Davison A. J. (2021). In-place scene labelling and understanding with implicit scene representation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. Montreal (Canada), 11-17 Ottobre 2021, pp. 15838-15847. IEEE.
- Zimny D., Trzciński T., Spurek P. (2022). Points2nerf: Generating neural radiance fields from 3d point cloud. In *arXiv preprint arXiv:2206.01290*. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.01290>> (consultato il 28 Luglio 2024).

Autori

Ilaria Trizio, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, trizio@itc.cnr.it
 Adriana Marra, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, marra@itc.cnr.it
 Francesca Savini, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, savini@itc.cnr.it
 Marco Giallonardo, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, marco.giallonardo@gmail.com
 Alessio Cordisco, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, cordisco@itc.cnr.it
 Marco Saccucci, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, saccucci@itc.cnr.it

Per citare questo capitolo: Iliaria Trizio, Adriana Marra, Francesca Savini, Marco Giallonardo, Alessio Cordisco, Marco Saccucci (2024). Misura o dismisura? Considerazioni e confronti tra NeRF e fotogrammetria digitale/Measure or out of measure? Considerations and comparisons between NeRF and digital photogrammetry. In Bergamo F., Calandriello A., Ciamaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (a cura di). *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione / Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2113-2132.

Measure or out of measure? Considerations and comparisons between NeRF and digital photogrammetry

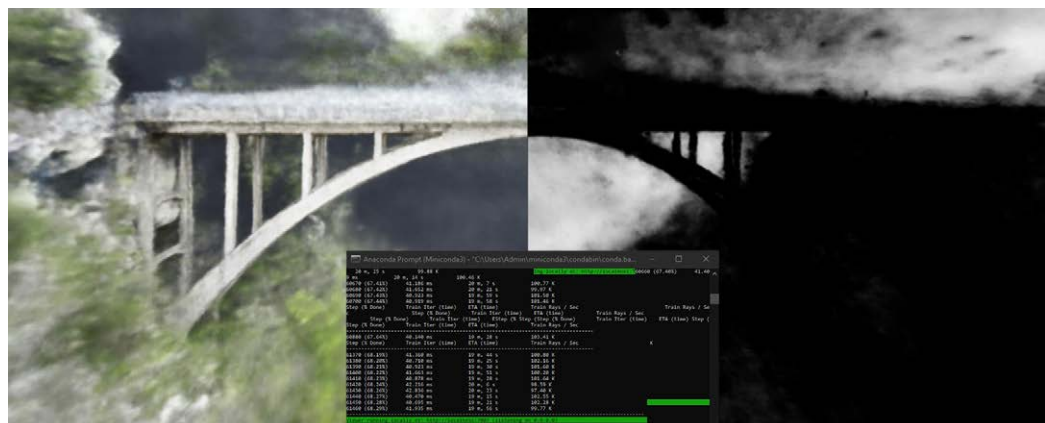
Ilaria Trizio
Adriana Marra
Francesca Savini
Marco Giallonardo
Alessio Cordisco
Marco Saccucci

Abstract

The most recent applications of Neural Radiance Fields (NeRFs) in the reconstruction of 3D scenes based on digital images have made it possible to test its potentialities, comparing the results, and placing this new system as an alternative to photogrammetry and computer vision techniques in the field of digital reconstruction and surveying. This paper, starting from the reflection about the concept of measure and out of measure understood instead as the absence of measurement, aims to test NeRF procedure on some case studies at different scales, starting from datasets used for digital photogrammetry. The results obtained, analyzed in the light of the results of the most recent scientific literature on the same subject, confirm the validity of NeRFs as a technique that compensates for some of the shortcomings of photogrammetry, mostly related to the rendering of materials and the illumination of environments as parameters that strongly influence the photogrammetric data. The experimentation, at the same time, confirms that at present NeRFs are particularly promising in the visualization and enhancement of cultural heritage from three-dimensional reconstruction of scenes from photographic sets, but that they also stand as a field of research particularly open to new experimentation.

Keywords

Measurement, survey, digital photogrammetry, NeRF, computer vision.



NeRF procedure applied to the Arcichiaro Bridge. Elaboration by the authors.

Introduction

Surveying is an act of knowledge, investigation, reading and discretisation that makes it possible to obtain the geometric, metric and formal data of an architectural object or an urban or landscape context [Docci, Maestri 2020]. The basis of this process is measurement, which, regardless of the system used, aims to determine the dimensions and geometry of the object under study. Over time, surveying has undergone changes that make it possible to acquire a large amount of data, even on complex artefacts, in a short time and with high precision. Digital technologies, thanks to the rapid evolution of hardware and software systems, make it possible to optimise surveying procedures as much as possible and to obtain metrically accurate and reliable surveys with point clouds and 3D representations of spaces, landscapes, objects and architecture [Brunetaud et al. 2012]. Among the most widespread current techniques are those of an indirect type, based on active and passive sensors, such as laser scanning (fixed and mobile) or digital photogrammetry, and their integration has long been established [Guidi et al. 2008]. Currently, the emergence of a new way to reconstruct three-dimensional scenes from image sets, based on the use of Neural Radiance Fields (NeRF), has led the scientific community to question the development and potential of this new method in the field of cultural heritage representation [Balloni et al. 2023; Condoirelli et al. 2021; Croce et al. 2023; Mazzacca et al. 2023].

NeRFs were introduced in 2020 by Ben Mildenhall [Mildenhall et al. 2021] as an innovative method for reconstructing complex scenes from sparse image sets of known orientation and for synthesising new views. The method is based on the use of fully connected non-convolutional neural networks, called multi-layer perceptrons (MLPs), in a three-stage process. In the first stage, a ray is projected across the scene, sampling a set of 3D points. Next, the identified points are processed by the MLPs, which return an RGB colour and volume density for each point and viewpoint. Finally, volumetric rendering techniques are used to synthesise the information obtained into a new 2D view, a process known as novel-view synthesis. The scene is represented by a 5D function that associates each point in space with the corresponding properties of the radiance emitted in each direction. The volume density is conceived as a differential opacity, indicating the radiance accumulated by a ray passing through each point. The input to the MLP is a 5D coordinate, while the output consists of the volume density and the RGB colour, depending on both the spatial coordinates and the viewing direction.

Currently, several open-source platforms allow the training and development of NeRF models, facilitating large-scale deployment and experimentation on different datasets. Among

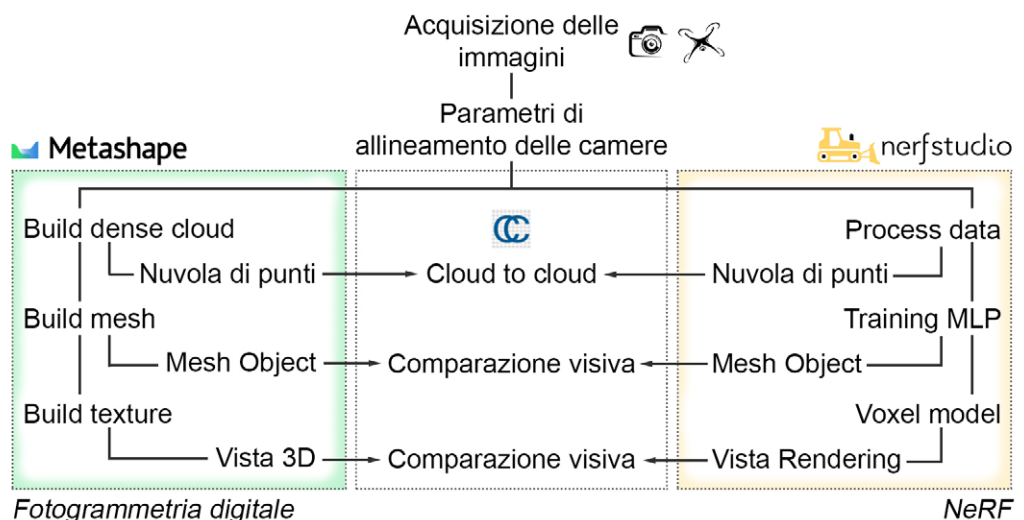


Fig. 1. Methodology workflow. Elaboration by the authors.

them, Instant-NGP, developed for NVIDIA [Müller et al. 2022], supports image and video input with camera positions estimated by COLMAP and provides a graphical user interface for scene control during training; Nerfstudio [Tancik et al. 2023] allows end-to-end training and testing of NeRFs, accepting photos and videos with camera positions estimated by software such as Agisoft Metashape or Reality Capture and offering several export options. Also of interest is Luma AI from Luma Labs, the first mobile platform for creating NeRF models, available on the App Store for iOS devices.

Starting from a reflection on the concept of measurement, understood as an understanding of the physical dimensions of an artefact, and on that of non-measurement, understood instead as the absence of measurement, the research proposes to test the potential of the

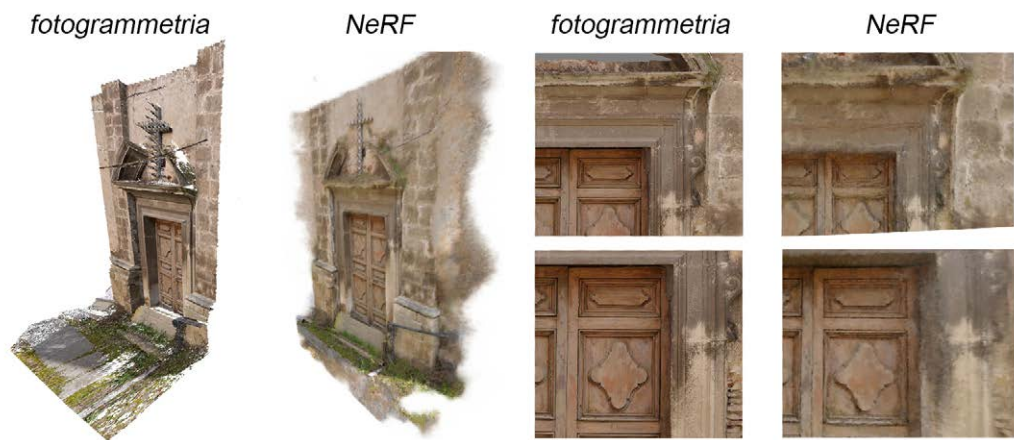


Fig. 2. Portal of the church of Santa Maria Assunta di Fossa: visual comparison between the photogrammetric textured model and NeRF volumetric rendering. Elaboration by the authors.

NeRF process for the realisation of 3D models of the built environment, resorting to a comparison with photogrammetric data on a series of exemplary case studies. The comparison of the results of the application of these technologies is intended to validate the results of NeRF from a qualitative point of view, in terms of the appearance and colourimetry of the models, and from a quantitative point of view, in terms of the distance between the point clouds.

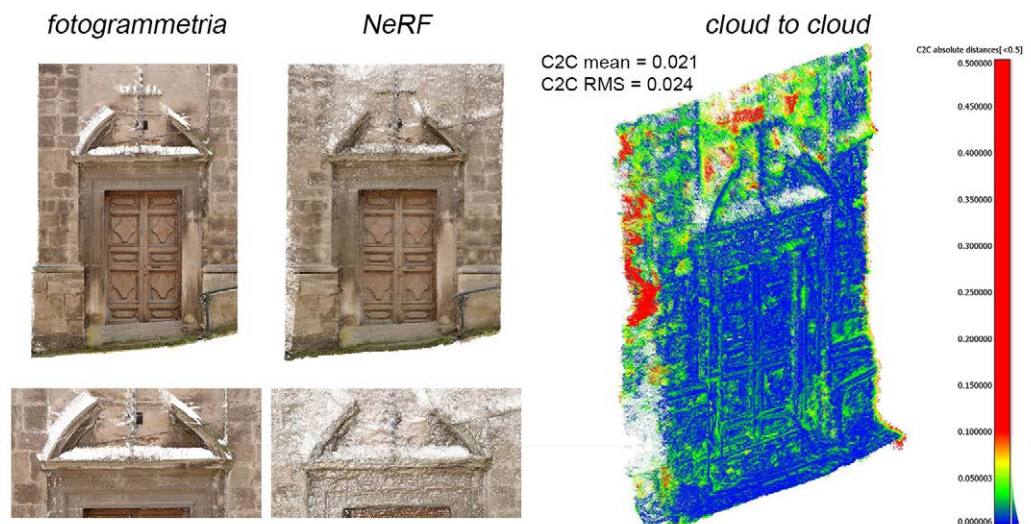


Fig. 3. Portal of the church of Santa Maria Assunta di Fossa: metric comparison between the photogrammetric point cloud and the NeRF point cloud. Elaboration by the authors.

Neural Radiance Fields: Applications and first experiments

NeRFs have been applied in various fields such as robotics, where they improve the automation of industrial processes. The interactions of drones, robotic arms and humanoid robots with their environment have been studied using NeRF models, improving the performance of automatons [Kerr et al. 2022]. In areas where accurate reproduction of shapes and volumes is required, such as industrial design, NeRFs overcome the limitations of traditional three-dimensional reconstruction methods, especially for objects with reflective surfaces [Remondino et al. 2023]. On the other hand, in the field of engineering, where

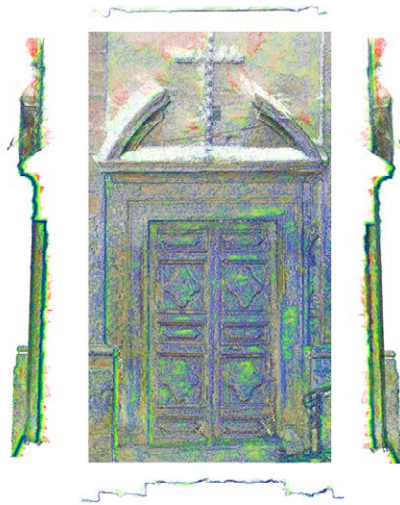


Fig. 4. Portal of the church of Santa Maria Assunta di Fossa: visualization of the surface noise. Elaboration by the authors.

structural investigations play an important role and the size of the objects of study inevitably leads to a number of problems on an infrastructural scale, the use of NeRFs to document structural defects [Hong et al. 2023] draws attention to the use of this technology with a view to multiscale investigation.

Recently, the possible applications of NeRF to cultural heritage have met with increasing interest, although an obvious problem is related to the complexity of the models and the difficulty in producing usable outputs for practical applications, such as point clouds and polygonal meshes. In spite of these problems, there are numerous contributions evaluating the applicability and validity of NeRFs in cultural heritage survey procedures [Perticarini,

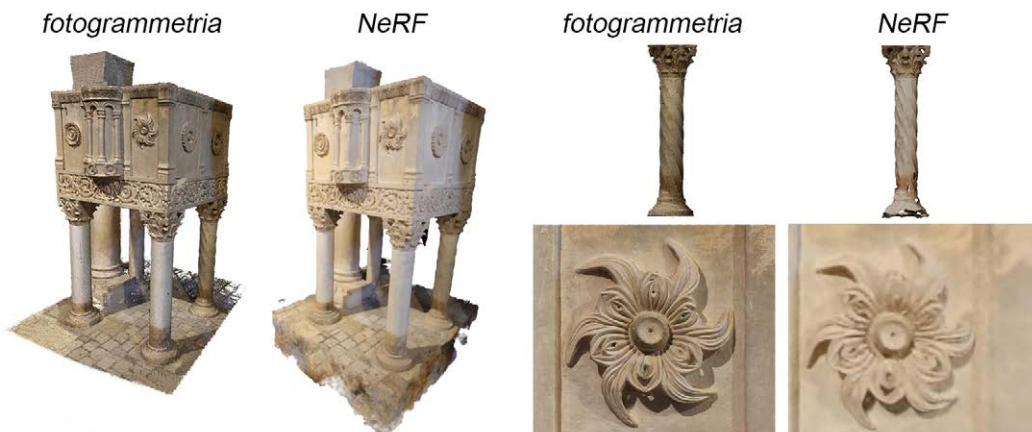


Fig. 5. Pulpit of the church of Santa Maria Assunta in Bominaco: visual comparison between the photogrammetric textured model and NeRF volumetric rendering. Elaboration by the authors.

Giordano 2023; Basso et al. 2024] or comparing the results obtained by NeRFs and already established digital survey techniques, in particular photogrammetry [Croce et al. 2024; Palestini et al. 2022; Palestini et al. 2023]. These studies, in which NeRF models are compared metrically with photogrammetric models obtained using Structure-from-Motion (SfM) and Multi-View Stereo (MVS) algorithms, have been followed in the last year by a number of contributions that question the concrete use of the NeRF approach as a replacement or complement to photogrammetric and laser processing [Croce et al. 2023; Remondino et al. 2023; Balloni et al. 2023]. The centrality of point clouds in the field of cultural heritage surveying, as an indispensable tool for the metrically accurate representation of geometries, is reported in this field with the introduction of Point-NeRF and Points2NeRF [Xu et al. 2022; Zimny et al. 2022]. Of interest are the experiments with NeRFs for semantic segmentation of cultural heritage, with numerous application approaches such as Semantic NeRFs [Zhi et al. 2021], Semantic SRFs [Qi et al. 2021], Panoptic NeRFs [Fu et al. 2022], SS NeRFs [Zhang et al. 2023] and SegNeRFs [Zarzar et al. 2022]. In these studies, classified models are created through semantic labels related to the detected geometry and radiation characteristics. Finally, the use of VR applications for cultural heritage is a rapidly growing factor, with the possibility of experimenting with NeRFs through methodologies such as FoV-NeRFs [Deng et al. 2022], InstantXR [Park et al. 2022] and Immersive-NGP [Li et al. 2022], which aim to improve the quality of the scene by ensuring the immersiveness of the experience.

Operational workflow with multi-scalar case applications

The work presented here, through the application to a number of case studies, is aimed at testing and validating the NeRF process in the field of digital visualisation and representation. The methodological approach used to achieve this objective is divided into successive steps (fig. 1). The first step of the process is the acquisition of a set of photographs made according to the criteria of photogrammetry, i.e. ensuring the correct degree of overlap between the images. The acquired data are then processed using digital photogrammetry software (Agisoft Metashape) to obtain the camera alignment parameters. This information is then exported to start the process in the NeRF environment (Nerfstudio). Both processes produce digital models in the form of point clouds and polygonal meshes, but in very different ways. The results obtained can then be compared metrically using the open-source software Cloud Compare, which calculates the deviation between the two clouds using the photogrammetry as a reference. In addition to the metric comparison, a qualitative eval-

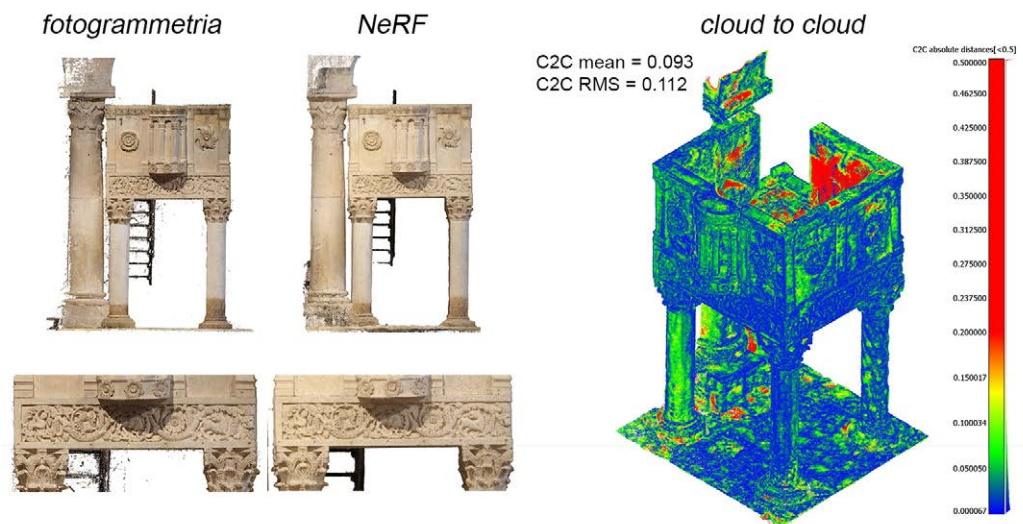


Fig. 6. Pulpit of the church of Santa Maria Assunta in Bominaco: metric comparison between the photogrammetric point cloud and the NeRF point cloud. Elaboration by the authors.

Fig. 7. Pulpit of the Church of Santa Maria Assunta in Bominaco: visualisation of surface noise. Elaboration by the authors.



uation was carried out through a visual comparison of the textured mesh obtained from photogrammetry and the volumetric rendering derived from NeRF.

The proposed experiment was carried out on three case studies: the entrance portal of the church of Santa Maria Assunta in Fossa (AQ), the pulpit of the church of Santa Maria Assunta in Bominaco (AQ) and the Arcichiaro bridge near the homonymous dam in Guardiaregia, in the province of Campobasso. They differ both in size and in the quality and quantity of the original data.

The portal is a small artefact. The initial dataset consists of 12 photographs taken with a Nikon D610 camera with a 24mm lens. The photogrammetric processing, performed with high quality alignment and dense cloud construction parameters, results in a cloud of 13,295,877 points. The NeRF method was trained with 30000 iterative steps.



Fig. 8. Arcichiaro Bridge: visual comparison between the photogrammetric textured model and NeRF volumetric rendering. Elaboration by the authors.

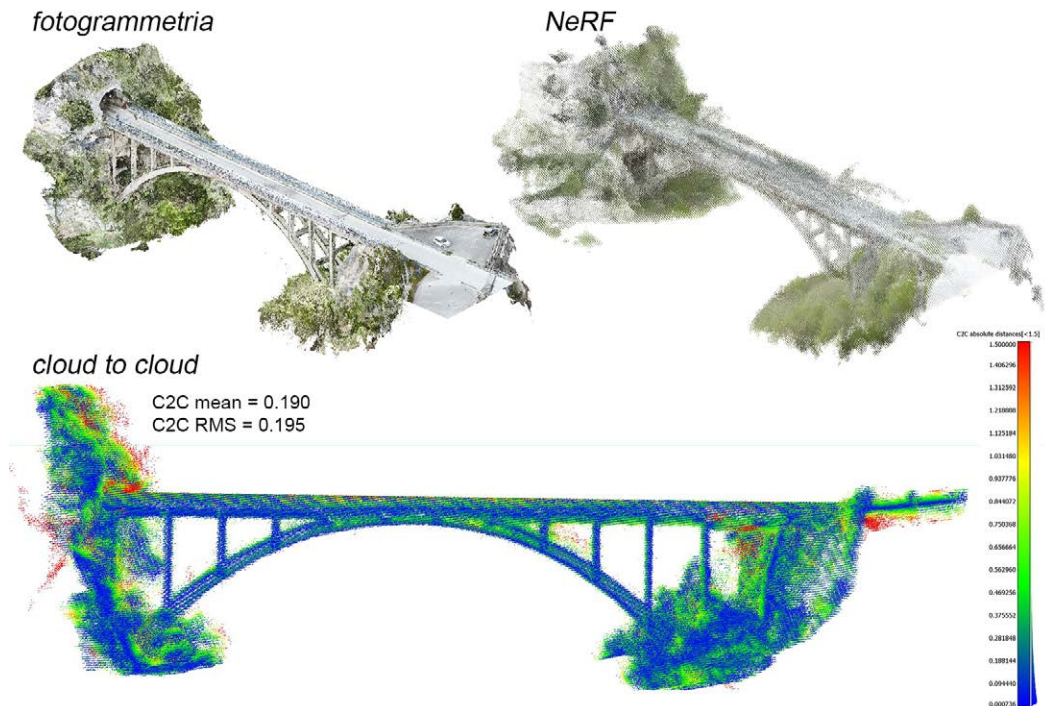


Fig. 9. Arcichiaro Bridge: Metric comparison between the photogrammetric point cloud and the NeRF point cloud. Elaboration by the authors.

The pulpit [Trizio et al. 2022] is a medium artefact. The initial dataset consists of 196 photographs taken with a Canon EOS 4000D 18mm camera. The photogrammetric processing, performed with high quality alignment and dense cloud construction parameters, results in a cloud of 75,002,539 points. The NeRF method was trained with 30000 iterative steps. The bridge, on the other hand, is an artefact of considerable size. For this reason, the initial dataset consists of 1322 photos taken with a DJI mini 2 drone. The photogrammetric processing, carried out with the alignment and dense cloud construction parameters in medium quality, results in a cloud of 23,837,642 points. The NeRF process was trained with 90000 iterative steps.

The results of the quantitative comparison (figs. 2, 5, 8) show that NeRF has a high degree of geometric completeness in creating 3D models, although its point cloud tends to be noisier than the photogrammetric one.

The cloud-to-cloud comparison (figs. 3, 6, 9) shows minimal deviation between the photogrammetric and NeRF models, represented by the blue colour of the scalar field. However, as the number of images used in the process increases, a greater deviation between points is observed. A high level of noise in the NeRF models is also observed, which is highlighted by the green areas (figs. 4, 7, 10).

The visual evaluation of the data obtained made it possible to analyse the texture quality of the models obtained (figs. 2, 5, 8). The texture produced by NeRF appears to be of low quality compared to the photogrammetric texture, since the noisy point cloud produced by NeRF leads to the creation of equally noisy polygonal meshes. However, the NeRF excels in colour rendering and provides volumetric renderings with view-dependent effects that give a high degree of realism to the objects studied, unlike the photogrammetric representation, which is flatter, especially in terms of material rendering (figs. 3, 6, 9).

In terms of processing times (fig. 11), there is a general advantage for photogrammetry over NeRF on the same machine, although for large artefacts the processing time is comparable between the two approaches. In all the cases studied, there is a large gap in the time taken to export the data, since the clouds and meshes of the NeRF process have to be generated from the three-dimensional model, whereas these types of data are the direct result of the photogrammetric process.

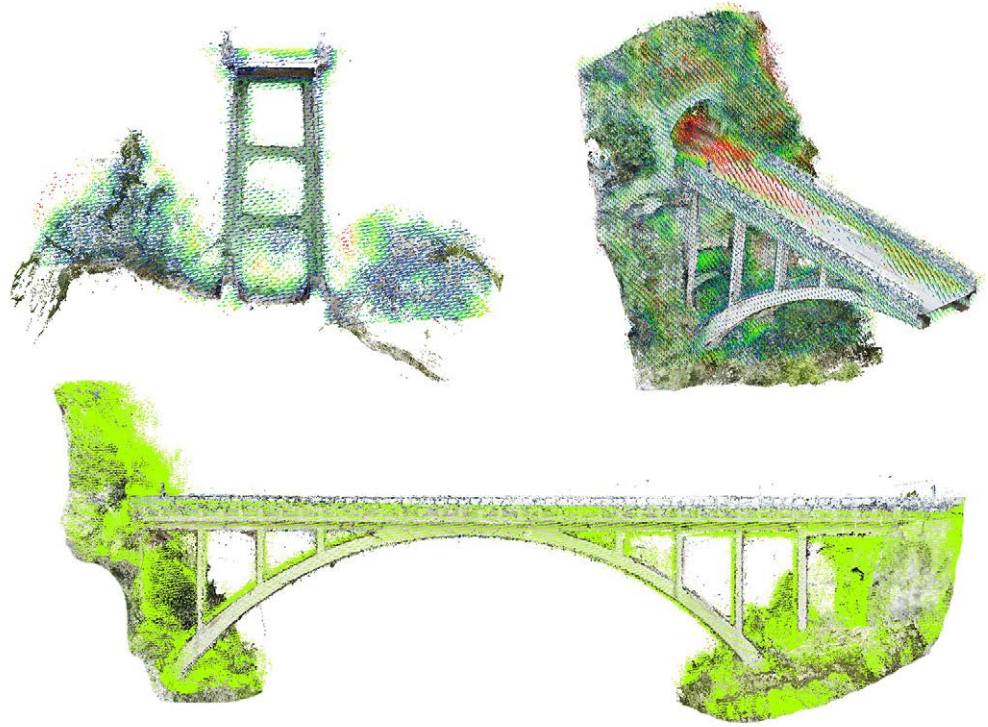


Fig. 10. Arcichiaro Bridge: visualisation of surface noise. Elaboration by the authors.

Conclusions

At the current stage of research, although it is clear that NeRFs have great potential for the processes of visualisation and digital representation of cultural heritage, it is still premature to speak of them as a measuring instrument on a par with others already established, such as photogrammetry. The experiments presented here, in line with the current literature, lead us to speak of the absence of a certain quantitative datum rather than of measurement, i.e. the absence of measurement and therefore of 'unmeasurement'. Experiments carried out on a series of case studies at different scales and with very different characteristics, as well as on initial sets of images that were also very different in terms of the sensors used

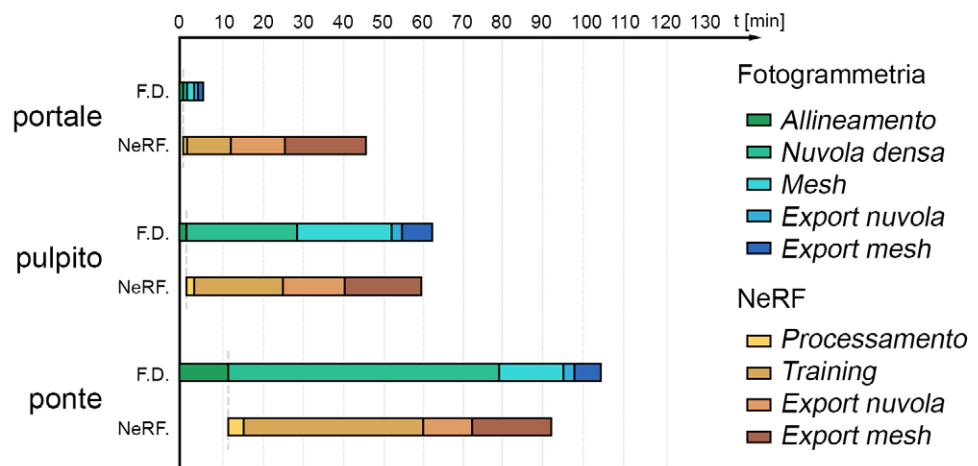


Fig. 11. Comparison of photogrammetric vs NeRF process processing times. Elaboration by the authors.

and the number of images to be processed, made it possible to compare the point clouds and models resulting from the NeRF and photogrammetric processes. The results obtained confirm what has been highlighted in the recent literature and open up new research topics related to some interesting aspects that emerged during the experiment, such as the good graphical representation of the volumetric rendering, which is suitable for specific applications in the field of the valorisation of the built heritage.

Credits

Ilaria Trizio wrote Section one and Marco Saccucci wrote Sections two and three. The concluding paragraph is the result of a joint reflection by the authors. Marco Saccucci is the author of the images and all the authors are responsible for the planning of the paper and for in-field acquisition phases.

References

- Balloni E., Gorgoglione L., Paolanti M., Mancini A., Pierdicca R. (2023). Few shot photogrammetry: a comparison between NeRF and MVS-SfM for the documentation of cultural heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 155-162.
- Basso A., Condorelli F., Giordano A., Morena S., Perticarini M. (2024). Evolution of Rendering Based on Radiance Fields. The Palermo Case Study for a Comparison Between Nerf and Gaussian Splatting. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 57-64.
- Brunetaud X., Luca L. D., Janvier-Badosa S., Beck K., Al-Mukhtar M. (2012). Application of digital techniques in monument preservation. In *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 16(5), pp. 543-556.
- Condorelli F., Rinaudo F., Salvatore F., Tagliaventi S. (2021). A comparison between 3D reconstruction using nerf neural networks and mvs algorithms on cultural heritage images. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 43, pp. 565-570.
- Croce V., Caroti G., De Luca L., Piemonte A., Véron P. (2023). Neural radiance fields (nerf): Review and potential applications to digital cultural heritage. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 453-460.
- Croce V., Billi D., Caroti G., Piemonte A., De Luca L., Véron P. (2024). Comparative Assessment of Neural Radiance Fields and Photogrammetry in Digital Heritage: Impact of Varying Image Conditions on 3D Reconstruction. In *Remote Sensing*, 16(2), p. 301.
- Deng N., He Z., Ye J., Duinkharjav B., Chakravarthula P., Yang X., Sun Q. (2022). Fov-nerf: Foveated neural radiance fields for virtual reality. In *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(11), pp. 3854-3864.
- Docci M., Maestri D. (2020). *Manuale di rilevamento architettonico e urbano*. Bari-Roma: Laterza.
- Fu X., Zhang S., Chen T., Lu Y., Zhu L., Zhou X., Geiger A., Liao Y. (2022, September). Panoptic nerf: 3d-to-2d label transfer for panoptic urban scene segmentation. In *2022 International Conference on 3D Vision (3DV)*, pp. 1-11. IEEE.
- Guidi G., Remondino F., Russo M., Menna F., Rizzi A. (2008). 3D Modeling of Large and Complex Site Using Multi-sensor Integration and Multi-resolution Data. In *VAST*, pp. 85-92.
- Kerr J., Fu L., Huang H., Avigal Y., Tancik M., Ichnowski J., Kanazawa A., Goldberg K. (2023, March). Evo-nerf: Evolving nerf for sequential robot grasping of transparent objects. In *Conference on Robot Learning*, pp. 353-367. PMLR.
- Li K., Rolff T., Schmidt S., Bacher R., Frintrop S., Leemans W., Steinicke F. (2022). Immersive Neural Graphics Primitives. In *arXiv preprint arXiv:2211.13494*.
- Mazzacca G., Karami A., Rigon S., Farella E. M., Trybala P., Remondino F. (2023). NeRF for Heritage 3D Reconstruction. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 1051-1058.
- Mildenhall B., Srinivasan P.P., Tancik M., Barron J.T., Ramamoorthi R., Ng R. (2021). Nerf: Representing scenes as neural radiance fields for view synthesis. In *Communications of the ACM*, 65(1), pp. 99-106.
- Müller T., Evans A., Schied C., Foco M., Bódis-Szomorú A., Deutsch I., Shelley M., Keller A. (2022). Instant neural radiance fields. In *ACM SIGGRAPH 2022 Real-Time Live!*, pp. 1-2.
- Hong K., Wang H., Yuan B. (2023). Inspection-Nerf: Rendering Multi-Type Local Images for Dam Surface Inspection Task Using Climbing Robot and Neural Radiance Field. In *Buildings*, 13(1), p. 213.
- Palestini C., Basso A., Perticarini M. (2022). Machine Learning as an Alternative to 3d Photomodeling Employed in Architectural Survey and Automatic Design Modelling. In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 48, pp. 191-197.
- Palestini C., Meschini A., Perticarini M., Basso A. (2023). Neural Networks as an Alternative to Photogrammetry. Using Instant NeRF and Volumetric Rendering. In *Beyond Digital Representation: Advanced Experiences in AR and AI for Cultural Heritage and Innovative Design*, pp. 471-482. Cham: Springer Nature Switzerland.
- Park M., Yoo B., Moon J.Y., Seo J.H. (2022, November). InstantXR: Instant XR Environment on the Web Using Hybrid Rendering

of Cloud-based NeRF with 3D Assets. In *Proceedings of the 27th International Conference on 3D Web Technology*. Evry(Paris), 2-4 Novembre 2022, pp. 1-9. <<https://doi.org/10.1145/3564533.3564565>> (accessed 26 July 2024).

Perticari M., Giordano A. (2023). Ponte San Lorenzo, a case study for the comparison of image-based survey tools. NeRF as an alternative to photogrammetry. In *Proceeding in IMEKO TC4 International Conference on Metrology for Archaeology and Cultural Heritage*. Roma, 19-21 October 2023. DOI: 10.21014/tc4-ARC-2023.152.

Qi Z., Chen H., Liu C., Shi Z., Zou Z. (2023). Implicit Ray-Transformers for Multi-view Remote Sensing Image Segmentation. In *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 61, pp. 1-15.

Remondino F., Karami A., Yan Z., Mazzacca G., Rigon S., Qin R. (2023). A critical analysis of nerf-based 3d reconstruction. In *Remote Sensing*, 15(14), p. 3585.

Tancik M., Weber E., Ng E., Li R., Yi B., Wang T., ... Kanazawa A. (2023, July). Nerfstudio: A modular framework for neural radiance field development. In *ACM SIGGRAPH 2023 Conference Proceedings*. Los Angeles, 6-10 August 2023, pp. 1-12. New York: Association for Computing Machinery.

Trizio I., Savini F., Marra A., Fabbrocino G. (2022). Integrated survey procedures for seismic protection of monumental liturgical furniture. In *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 2204, No. 1, p. 012067. IOP Publishing.

Xu Q., Xu Z., Philip J., Bi S., Shu Z., Sunkavalli K., Neumann U. (2022). Point-nerf: Point-based neural radiance fields. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. New Orleans, 18-24 June 2022, pp. 5438-5448.

Zarzar J., Rojas S., Giancola S., Ghanem B. (2022). SegNeRF: 3D Part Segmentation with Neural Radiance Fields. In *arXiv preprint arXiv:2211.11215*. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.11215>> (accessed 28 July 2024).

Zhang M., Zheng S., Bao Z., Hebert M., Wang Y.X. (2023). Beyond RGB: Scene-Property Synthesis with Neural Radiance Fields. In *Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision*. Waikoloa (HI), 3-7 January 2023, pp. 795-805. IEEE.

Zhi S., Laidlow T., Leutenegger S., Davison A. J. (2021). In-place scene labelling and understanding with implicit scene representation. In *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. Montreal (Canada), 11-17 October 2021, pp. 15838-15847. IEEE.

Zimny D., Trzciński T., Spurek P. (2022). Points2nerf: Generating neural radiance fields from 3d point cloud. In *arXiv preprint arXiv:2206.01290*. <<https://doi.org/10.48550/arXiv.2206.01290>> (accessed 28 July 2024).

Authors

Ilaria Trizio, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, trizio@itc.cnr.it
Adriana Marra, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, marra@itc.cnr.it
Francesca Savini, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, savini@itc.cnr.it
Marco Giallonardo, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, marco.giallonardo@gmail.com
Alessio Cordisco, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, cordisco@itc.cnr.it
Marco Saccucci, Istituto per le Tecnologie della Costruzione, CNR, L'Aquila, saccucci@itc.cnr.it

To cite this chapter: Iliara Trizio, Adriana Marra, Francesca Savini, Marco Giallonardo, Alessio Cordisco, Marco Saccucci (2024). Misura o dismisura? Considerazioni e confronti tra NeRF e fotogrammetria digitale/Measure or out of measure? Considerations and comparisons between NeRF and digital photogrammetry. In Bergamo F., Calandriello A., Ciammaichella M., Friso I., Gay F., Liva G., Monteleone C. (Eds.), *Misura / Dismisura. Atti del 45° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione/Measure / Out of Measure. Transitions. Proceedings of the 45th International Conference of Representation Disciplines Teachers*. Milano: FrancoAngeli, pp. 2113-2132.