

Digital Twin e Realtà virtuale: integrazione di dati geospaziali

Marco Piragnolo¹, Lorenzo Pranovi³, Alberto Guarnieri², Francesco Pirotti¹

¹ Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali (TESAF), Università di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro, (PD), marco.piragnolo@unipd.it

² Centro Interdipartimentale di Geomatica (CIRGEO), Università di Padova, Viale dell'Università 16, 35020 Legnaro (PD)

³ Laboratori Nazionali di Legnaro (INFN-LNL), Viale dell'Università 2, 35020, Legnaro (PD)

Abstract.

I Digital Twin, o gemelli digitali, sono repliche virtuali accurate di oggetti fisici e fanno ampio uso della modellazione tridimensionale in ambienti CAD o di dati acquisiti tramite fotogrammetria e laser scanner, le stesse tecniche utilizzate per l'acquisizione e la produzione di dati geospaziali. I Digital Twin sono utilizzati in vari settori per monitorare, analizzare e simulare le prestazioni di sistemi complessi. Tuttavia, l'uso e la visualizzazione sia di modelli che di informazioni geospaziali sono spesso limitati alla fruizione del contenuto mediante un computer, a causa della complessità e della quantità di dati coinvolti. L'esperienza dell'utente può però cambiare radicalmente attraverso l'impiego delle tecnologie di virtualizzazione e visualizzazione 3D denominata Extended Reality (XR).

In questo contributo viene illustrato un *proof of concept* finalizzato ad esplorare le potenzialità e definire un workflow per la produzione e visualizzazione in XR, tramite visori 3D di ultima generazione, del Digital Twin di un'area ad alto rischio come quella della colata detritica del canale di Rovina di Cancia, situata presso Borca di Cadore (BL), nelle Dolomiti Venete.

Introduzione

I Digital Twin, o gemelli digitali, sono repliche virtuali accurate di oggetti fisici e fanno ampio uso della modellazione tridimensionale in ambienti CAD o di dati acquisiti tramite fotogrammetria e laser scanner, le stesse tecniche utilizzate per l'acquisizione e la produzione di dati geospaziali. I Digital Twin sono utilizzati in vari settori per monitorare, analizzare e simulare le prestazioni di sistemi complessi. Tuttavia, l'uso e la visualizzazione sia di modelli che di informazioni geospaziali sono spesso limitati alla fruizione del contenuto mediante un computer, a causa della complessità e della quantità di dati coinvolti. L'esperienza dell'utente può però cambiare radicalmente attraverso l'impiego delle tecnologie di virtualizzazione e visualizzazione 3D denominata Extended Reality (XR). L'Extended Reality (XR) comprende le tecnologie di realtà virtuale (VR), realtà aumentata (AR) e realtà mista (MR), rappresenta un insieme di esperienze immersive che combinano mondi fisici e virtuali. Ciascuna di queste tipologie di visori offre un livello diverso di interazione tra l'utente e l'ambiente circostante, differenziandosi per il grado di immersione e il modo in cui combinano il reale con il virtuale.

I visori VR sono dispositivi che immergono completamente l'utente in un ambiente simulato, isolandolo dal mondo reale. Tra le principali caratteristiche vi è l'utilizzo di display che coprono il campo visivo, sensori di movimento e controller per l'interazione con lo spazio virtuale. I visori VR, come il Meta Quest 2, sono progettati per esperienze di gioco, formazione e simulazioni, offrendo una completa immersione visiva e sonora. Il loro obiettivo è creare un ambiente alternativo in cui l'utente può muoversi ed interagire, senza sovrapposizioni con la realtà fisica. I visori AR, come il Microsoft HoloLens 2, sovrappongono oggetti digitali al mondo reale, permettendo agli utenti di interagire con elementi virtuali mantenendo una visione chiara dell'ambiente circostante. Il HoloLens 2 integra sensori avanzati per il tracciamento della posizione e dei movimenti, permettendo di collocare ologrammi tridimensionali nello spazio fisico. Questo visore è utilizzato prevalentemente in ambiti professionali come l'industria, la medicina e l'educazione, dove la visualizzazione di dati sovrapposti al mondo reale risulta fondamentale per migliorare la produttività e l'efficienza. Infine, i visori MR combinano elementi di VR e AR per creare esperienze di realtà mista. Il Meta Quest 3, ad esempio, consente sia la completa immersione in ambienti virtuali sia l'integrazione di oggetti digitali nell'ambiente reale tramite funzionalità di passthrough avanzate. Questa tecnologia consente una transizione fluida tra i due mondi, offrendo all'utente la possibilità di interagire con l'ambiente reale arricchito da contenuti digitali o di immergersi completamente in mondi simulati. In sintesi, mentre i visori VR si concentrano sull'immersione totale, i visori AR permettono la fusione tra elementi digitali e mondo fisico, e i visori XR offrono una combinazione delle due esperienze, ampliando le possibilità applicative in numerosi settori. Nonostante l'utilizzo della tecnologia XR per il gaming sia notevolmente sviluppato, l'integrazione con i Digital Twin aderenti al mondo reale è tuttavia ancora limitata. Applicazioni XR possono migliorare la comprensione e l'analisi dei dati, facilitare il training e la collaborazione tra team separati, offrendo uno strumento potente per la formazione e la manutenzione predittiva. In un mondo sempre più connesso e complesso, la combinazione di XR e Digital Twin rappresenta un passo fondamentale verso una gestione automatizzata, efficiente e sicura delle risorse e delle operazioni, specie se ad alto rischio [2]. Le caratteristiche principali come il fotorealismo, l'ambiente immersivo, interattivo, e la fruizione in real-time sono state considerate per la creazione e visualizzazione di modelli tridimensionali di eventi franosi [3] dove la modellazione e l'animazione, basate su modelli digitali del terreno (DTM) permettono di identificare le aree danneggiate, pianificare la gestione delle emergenze e valutare la mitigazione dei rischi [4]. I DTM possono essere prodotti con differenti metodologie, ad esempio utilizzando immagini telerilevate, rilievi LiDAR, con sensori montati su piattaforme satellitari, aeree e da drone. In ambito geologico, la visualizzazione di dati LiDAR associati a immagini sferiche ad alta risoluzione è uno strumento di supporto alle indagini di campo [5]. Se da un lato le modellazioni GIS sono principalmente di tipo statistico e la visualizzazione è principalmente su un piano bidimensionale, le analisi numeriche possono produrre modellazioni e risultati tridimensionali in un dominio spazio-temporale [6]. L'integrazione della modellazione e di dati-geospaziali in ambiente VR è ancora in corso di sviluppo mentre sono evidenti i benefici in termini di comunicazione attraverso un'esperienza realistica in un ambiente immersivo [7] [8] ad

esempio in scenari di rischio idrogeologico, alluvioni e frane [9] creati tramite motori grafici come Unity [10] e Unreal [11].

In questo contributo si utilizza un approccio teso al fotorealismo per ricostruire un paesaggio di un'area ad alto rischio come quella della colata detritica del canale di Rovina di Cancia, situata presso Borca di Cadore (BL), nelle Dolomiti Venete; la ricostruzione è stata fatta sulla base di rilievi fotogrammetrici. Il modello mesh con texture ad alta risoluzione potrebbe essere utilizzato in una fase successiva per visualizzare cartografie tematiche e risultati di analisi e simulazioni. Illustriamo di seguito un *proof of concept* finalizzato a esplorare le potenzialità e definire un workflow per la produzione e visualizzazione in MR, tramite un visore Meta Quest 3, e in AR tramite il visore HoloLens 2.

Materiali e Metodi.

I debris-flow sono una combinazione di acqua e materiali sciolti come rocce, ghiaia e sabbie innescato da forti piogge; la colata detritica è innescata da deflusso abbondante lungo i versanti che rapidamente trascina con sé una quantità elevata di sedimenti. L'area di indagine è il debris-flow di Rovina di Cancia localizzato nelle Dolomiti Venete, in località Borca di Cadore nel versante sudoccidentale del monte Antelao. Figura 1. Il canale è suddiviso in tre tratti, una porzione superiore, media e inferiore. La parte superiore si estende dalla testata al masso monolitico ciclopico 1666 m s.l.m. zona di formazione delle colate detritiche; la larghezza del fondo del canale è compresa tra 8 a 1 metro circa data la presenza massi di diametro fino compreso tra i 5-6 m che limitano l'accumulo di grandi depositi di sedimento.

La parte intermedia si estenda dalla zona dal masso ciclopico alla piazzola di deposito a 1344 m s.l.m. e ha un a pendenza di circa 26° [12]. È un tratto soggetto a forte accumulo ed erosione di sedimenti da crolli di sponda pareti o provenienti colata di bassa intensità. Infine, la parte inferiore tra la zona deposito al muro di gabbioni ha lunghezza 230 m di inclinazione elevata, mediamente 20° . Le indagini si sono concentrate tra la zona intermedia ed inferiore.

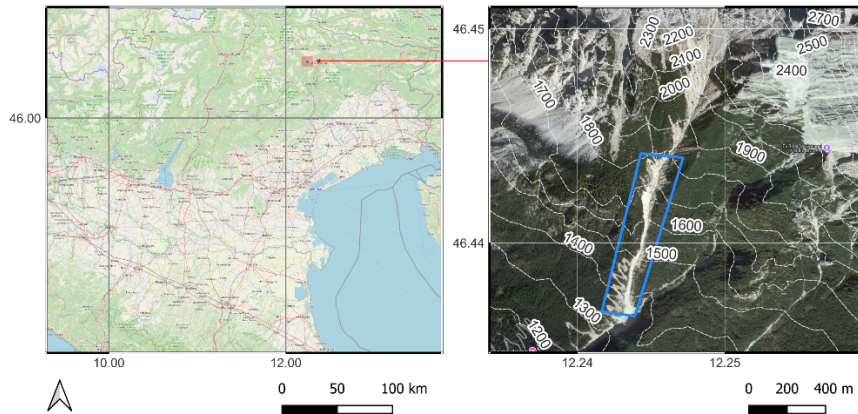


Figura 1: a destra l'inquadramento dell'area. A sinistra in blu l'area di indagine.

L'area di indagine è composta da una porzione del secondo e terzo tratto; presenta una forma irregolare, è caratterizzata da una lunghezza di circa 600 metri, una larghezza variabile alla sommità tra i 20 e i 60 metri, un'estensione di circa 10 ettari ad una quota compresa tra i 1400 e i 1700 metri. Essa è stata rilevata tramite fotogrammetria nell'agosto 2022 con l'ausilio un drone Mavic Mini 2 con camera a 12 megapixel e Phantom 4 Pro dotato di camera a 20 megapixel.

La zona interessata dal debris-flow è estremamente difficoltosa da volare con UAV in modalità automatica di "terrain follow" a causa della complessa orografia e dalla folta vegetazione che spesso precludono la linea di vista; un ulteriore elemento di rischio è la presenza di vento incanalato nel versante. Sono stati quindi effettuati dei voli manuali a diverse quote, ovvero circa 23 metri per il Mavic Mini 2 acquisendo 311 immagini e circa 35 metri per il Phantom 4 Pro acquisendo 570 immagini. Per georiferire il modello 79 ground control points (GCPs) naturali e stabili sono stati marcati con vernice spray sui versanti rocciosi e rocce affioranti, la cui posizione è stata determinata con GNSS differenziale in modalità NRTK. La ricostruzione fotogrammetrica è stata eseguita con una CPU Intel^R Xeon^R E5-2620 a 2.00GHz, 128 GB di RAM e una GPU GeForce^R GTX 780 Ti in Metashape 2.1, elaborando singolarmente i voli e ottenendo un DTM con GSD di 1.49 centimetri per il Mavic Mini 2 e di 1.88 centimetri per il Phantom 4 Pro. I due modelli sono stati infine fusi assieme ottenendo un unico dataset con più di 3 milioni di poligoni, generando poi texture e mesh ad alta risoluzione.

Data l'ampiezza dell'area studio, utilizzare l'intera mesh con un elevato numero di poligoni alla quale applicare una singola texture con lo stesso GSD dei fotogrammi sarebbe stato troppo oneroso in termini di risorse hardware e poco performante. Per ovviare al problema, il modello è stato scomposto in Tiles utilizzando le funzioni native di Metashape e generando le texture per ogni blocco. La dimensione a terra delle Tiles è stata definita calcolando l'impronta a terra di un singolo fotogramma creando una texture alla risoluzione della foto originale. La procedura in Figura 2 di seguito descritta permette è stata automatizzata tramite le API in linguaggio Python e consente di

ottenere dei modelli tridimensionali importabili all'interno del motore grafico utilizzato: Unreal Engine 5.3 (UE5).

La prima parte della procedura consiste nella classica elaborazione fotogrammetrica. Un secondo passaggio prevede la pulizia della mesh eliminando i poligoni indesiderati, ad esempio isolati e separati dal modello, i poligoni troppo piccoli, i vertici che presentano dei bassi valori di confidenza rispetto ai vertici del modello e infine chiudendo le geometrie aperte e non risolte e correggendo gli errori topologici. Successivamente un processo iterativo rifinisce i dettagli della mesh aumentando l'accuratezza; nel caso sia troppo dettagliata e onerosa in termini di gestione si può procedere alla decimazione. Un secondo filtro di smooth può essere utilizzato per rendere la superficie liscia e rimuovere eventuali spigolosità generate nella decimazione. Successivamente si creano le mappe UV, ovvero la proiezione del modello da uno spazio 3D ad uno 2D utilizzando questa informazione nell'applicazione precisa e realista delle texture al modello tridimensionale. Infine, l'esportazione del modello.

Una considerazione va fatta all'opportunità di decimare o meno la mesh ed è strettamente legata alla versione utilizzata e alle prestazioni della GPU Utilizzata; Unreal Engine UE5 ha introdotto l'utilizzo della tecnologia Nanite [13] che trasforma una mesh statica complessa e ricca di dettagli in un nuovo formato di tipo mesh Nanite interno all'engine, migliorando le performance nel rendering, utilizzando in generale minori risorse hardware e creando automaticamente i livelli di dettaglio (LOD). Sebbene questa possibilità sia nativamente implementata dalla versione 5 il fattore limitante può essere la scheda grafica che richiede una specifica architettura di tipo Maxwell presente solo nelle schede grafiche più recenti. Modelli più datati come la GTX 780 Ti utilizzano una architettura di tipo Kepler non adatta a questo nuovo formato di mesh. Di conseguenza la decimazione della mesh e generazione delle UV Map sono passaggi opzionali a seconda della configurazione della workstation utilizzata.

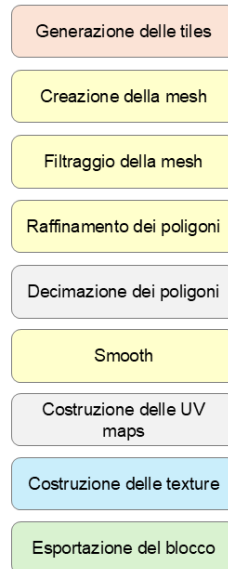


Figura 2: workflow di creazione e pulizia dei blocchi e delle mesh in Python per Metashape. I passaggi in grigio chiaro sono opzionali e dipendono dalle risorse hardware e software disponibili.

Risultati.

I risultati dell'elaborazione fotogrammetrica, ovvero i blocchi con mesh ad alta risoluzione importati all'interno di UE5, hanno portato allo sviluppo di due applicazioni immersive. Queste applicazioni consentono la navigazione virtuale all'interno della frana di Rovina di Cancia mediante l'utilizzo di visori Meta Quest 3 (MR) e HoloLens 2 (AR) in Figura 3. L'esperienza permette agli utenti di esplorare in modo immersivo un paesaggio fotorealistico, aggiungere annotazioni e condurre rilievi metrici delle geometrie della scena, come mostrato in Figura 4 e Figura 5. La navigazione avviene in prima persona e sfrutta una funzione di "teletrasporto" implementata in UE5 per consentire lo spostamento all'interno del modello virtuale. Un menu interattivo permette di posizionare placemark con note e di effettuare misurazioni di distanza direttamente nell'ambiente virtuale. I punti di misura vengono determinati sulle superfici delle mesh, garantendo una precisione maggiore rispetto all'utilizzo di modelli basati su DTM. Per lo sviluppo delle applicazioni è stata impiegata una workstation con le seguenti caratteristiche: CPU: Intel^R I9-12900K (3.2GHz), 128 GB DDR5 di RAM, GPU Nvidia Geforce^R RTX 3080Ti.



Figura 3: schermata acquisita mediante HoloLens 2 con ologramma durante una sessione di test.

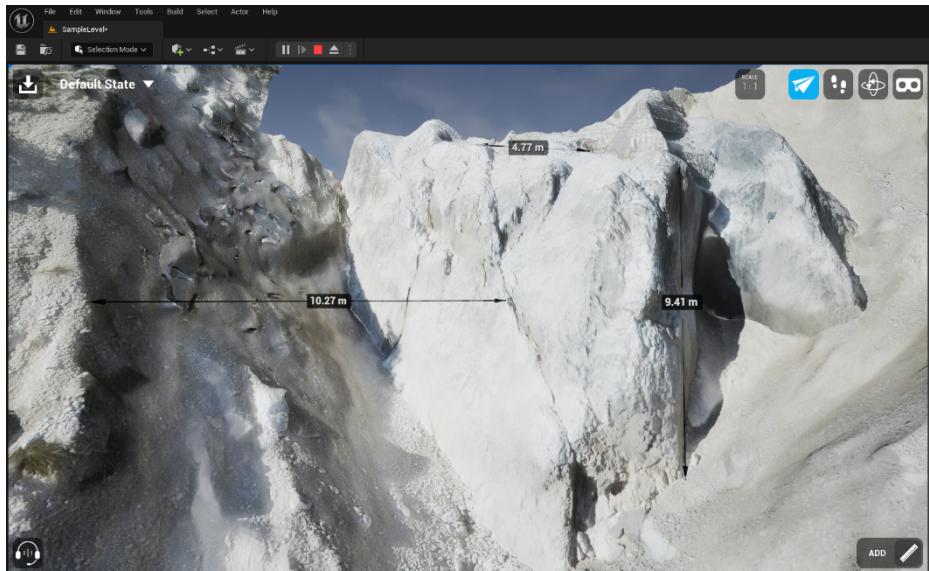


Figura 4: esempio della funzionalità di misura del masso monolitico presente nel canale di Cancia.

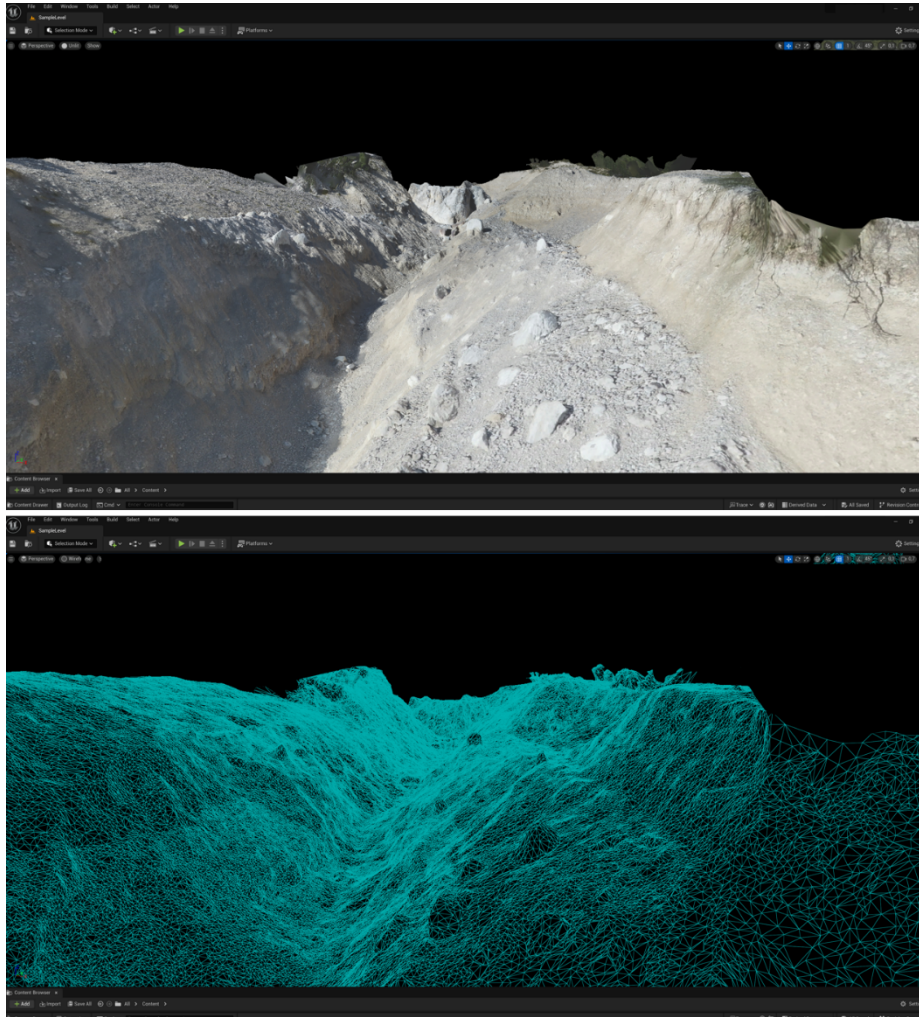


Figura 5: in alto una visualizzazione in UE5 di una porzione del debris-flow di Rovina di Cancia (BL). In basso il wildframe della stessa zona.

Conclusioni.

In questo lavoro è stato presentato un workflow per l'elaborazione e l'importazione di una mesh derivata da voli fotogrammetrici con UAV relativi al debris-flow di Rovina di Cancia. L'ambiente virtuale generato tramite Unreal Engine 5 consente agli utenti di vivere un'esperienza immersiva all'interno del modello digitale ad alta risoluzione. Un workflow automatizzato sviluppato in Python per il software fotogrammetrico Agisoft Metashape consente la suddivisione del modello in Tiles, ovvero blocchi di mesh ad

alta definizione e l'applicazione di texture ad alta risoluzione. Un apposito strumento permette di effettuare misurazioni sulle facce triangolari del modello, inserire annotazioni e placemark. Gli sviluppi futuri si concentreranno sull'implementazione di funzionalità avanzate per l'analisi metrica dei modelli 3D in XR, sull'integrazione di tali modelli con altre fonti di dati geospaziali, quali cartografie e mappe, e sulla creazione di pannelli per la visualizzazione di informazioni provenienti da banche dati locali e cloud.

Riferimenti bibliografici

1. Kishino, F., Milgram, P.: A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Trans Inf Syst*, E77-D:15 (1994).
2. Pranovi, L., Montis, M.: Integrating EPICS Control System in VR Environment: Proof of Concept. In: 19th Int. Conf. Accel. Large Exp. Phys. Control Syst. doi:10.18429/JACoW-ICALEPCS2023-TUPDP039 (2023).
3. Jianping, P., Huanzhou, Y.: Virtual reality and its application to slide animation of landslide. *Geo-Spat Inf Sci* 7:153–156. <https://doi.org/10.1007/BF02826654> (2004).
4. Yu, M., Huang, Y., Xu, Q., Guo, P., Dai, Z.: Application of virtual earth in 3D terrain modeling to visual analysis of large-scale geological disasters in mountainous areas. *Environ Earth Sci* 75:563. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-5161-5> (2016).
5. Mastrococco, G., Salvini, R., Vanneschi, C.: Fracture mapping in challenging environment: a 3D virtual reality approach combining terrestrial LiDAR and high-definition images. *Bull Eng Geol Environ* 77:691–707. <https://doi.org/10.1007/s10064-017-1030-7> (2018).
6. Havenith, H-B., Cerfontaine, P., Mreyen, A-S.: How virtual reality can help visualise and assess geohazards. *Int J Digit Earth* 12:173–189. <https://doi.org/10.1080/17538947.2017.1365960> (2019).
7. Alene, G. H., Irshad, S., Thakur, V.: Integration of Numerical Simulation of flow landslides into Virtual Reality: A framework. In: 3rd International Conference on Natural Hazards & Infrastructure 5-7 July 2022, Athens, Greece (2022).
8. Alene, G.H., Vicari, H., Irshad, S., Perkis A, Bruland, O., Thakur, V.: Realistic visualization of debris flow type landslides through virtual reality. *Landslides* 20:13–23. <https://doi.org/10.1007/s10346-022-01948-x> (2023).
9. Alene, G.H., Depina, I., Thakur, V., Perkis, A., Bruland, O.: QuickAware: a virtual reality tool for quick clay landslide hazard awareness. *Nat Hazards* 120:1869–1898. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-06274-6> (2024).
10. Haas, J.K.: A History of the Unity Game, Engine <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:86824974>, ultimo accesso 2024/11/14.
11. Sanders, A.: An Introduction to Unreal Engine 4. USA: A. K. Peters, Ltd 2016.
12. Bernard, M., Barbini, M., Boreggio, M., Biasuzzi, K., Gregoretti, C.: Deposition areas: An effective solution for the reduction of the sediment volume transported by stony debris flows on the high-sloping reach of channels incising fans and

- debris cones. *Earth Surf Process Landf* esp.5727.
<https://doi.org/10.1002/esp.5727> (2023).
<https://github.com/mks-viii/blockReconstruction>, ultimo accesso 2024/11/17.
13. Epic Games, Nanite for educators and students,
<https://cdn2.unrealengine.com/nanite-for-educators-and-students-2-b01ced77f058.pdf>, ultimo accesso 2024/11/14.