



Citation: Casagrande, G. (2024). Altrimenti irraggiungibili. Prospettive su esperienze geografiche in spazi e luoghi virtualizzati. *Bollettino della Società Geografica Italiana* serie 14, 7(2): 105-122. doi: 10.36253/bsgi-7461

© 2024 Author(s). This is an open access, peer-reviewed article published by Firenze University Press (<https://www.fupress.com>) and distributed, except where otherwise noted, under the terms of the CC BY 4.0 License for content and CC0 1.0 Universal for metadata.

Data Availability Statement: All relevant data are within the paper and its Supporting Information files.

Competing Interests: The Author(s) declare(s) no conflict of interest.

Altrimenti irraggiungibili. Prospettive su esperienze geografiche in spazi e luoghi virtualizzati

Out of Reach Otherwise. Perspectives About Geographical Experiences in Virtualized Spaces and Places

GIANLUCA CASAGRANDE

Geographic Research and Application Laboratory (GREAL), Università Europea di Roma, Italia

E-mail: gianluca.casagrande@unier.it

Abstract. Recent developments in geographic information, simulation, and virtualization technologies make it possible to digitally recreate various geographical contexts through immersive solutions. As the implementation costs for virtual experience-generating systems decrease, their overall accessibility and relative performance increase. For this reason, such tools are becoming popular in some geographical applications. This is true both in scientific research and in teaching/public dissemination. Representations of this kind may require the coordinated use of various technologies such as advanced geographic information systems, simulators, virtual reality (VR), and augmented reality (AR). The literature highlights that associated or integrated uses of these systems are continuously developing, in a wide variety of applications for different purposes. Some “virtual geographic experiences” could show users, in varying degrees of sensory and emotional impact, remote and inaccessible sites that are, for various reasons, beyond their reach; or show them events that have occurred in the past or could possibly occur in the future. These innovative forms of geographic representation maintain, transfigured, some typical characteristics of more traditional forms. Like those, these too are based on an interpretive model of spaces and places depending on a selection of themes; all phenomena related to each theme must be presented in a reduced, approximate, and symbolic form. Like traditional representations, for these new types as well, the effectiveness and cultural value of the “final product” can be influenced by various factors, such as the rigorous identification of complete and reliable data sources, accurate development that considers the programmatic goals of the work, and the level of detail corresponding to them. To these traditional problems, new ones are associated, that geographers are facing for the first time. Among them, the issue of the user’s “sense of presence” in the virtual place, which VR and AR can trigger if they provide, through adequate design and appropriate technical solutions, a satisfactory level of “immersion.” It would be theoretically possible to offer virtual geographic experiences at different levels of complexity: from the mere geometric representation of a space, useful for clarifying its material nature, to higher-level qualitative renderings that could trigger a symbolic perception; up to the point of reconstructing or at least hypothesizing the immaterial factors on which crucial decisions, cultural dynamics, or emotions may take place in geographic contexts that do not exist in concrete reality. This work aims only to provide food-for-thought on new possible paths

for geographic representation. It is addressed to scholars who look with interest at the possibilities of using innovative technologies for human geography-related applications, even if they have not yet gained in-depth experience of the new tools. Such insights will be presented based on examples from the scientific literature and/or derived from practical laboratory work.

Keywords: Simulations, Virtualizations, Virtual Reality, Augmented Reality, Virtual Geographic Environment.

Riassunto. Alcuni recenti sviluppi delle tecnologie di informazione geografica, simulazione e virtualizzazione rendono possibile ricreare digitalmente, con soluzioni più o meno immersive, contesti di vario tipo. Mentre i costi di implementazione per sistemi generatori di esperienze virtuali scendono, la loro accessibilità complessiva e le loro prestazioni relative aumentano. Per questo motivo, tali strumenti divengono sempre più popolari in alcune applicazioni geografiche o correlabili alla dimensione geografica; ciò è vero tanto nella ricerca scientifica quanto nell'insegnamento e nella divulgazione. Rappresentazioni di questo tipo possono richiedere l'uso coordinato di diverse tecnologie quali *Geographic Information System* avanzati, simulatori, sistemi di realtà virtuale (VR) e realtà aumentata (AR). La letteratura evidenzia che sono in continuo sviluppo utilizzi associati o integrati di questi sistemi, in una grande varietà di applicazioni per diversi scopi. Alcune "esperienze virtuali" potrebbero mostrare agli utenti, con più o meno grande efficacia sensoriale ed emozionale, siti remoti e luoghi inaccessibili che siano concretamente, per varie ragioni, al di fuori della loro portata; oppure presentare eventi accaduti in passato o di possibile accadimento futuro. Queste forme innovative di rappresentazione geografica mantengono, trasformati in nuove modalità, alcuni caratteri tipici delle forme più tradizionali. Come quelle, anche queste sono basate su un modello interpretativo di spazi e luoghi che deve ricorrere a una scelta di temi; tutti i fenomeni riconducibili a ciascun tema devono essere presentati in forma ridotta, approssimata e simbolica. Come le rappresentazioni tradizionali, anche per queste di nuovo tipo l'efficacia e il valore scientifico e culturale del "prodotto finito" dipendono da diversi fattori, quali il rigore delle fonti, l'affidabilità dei dati, l'accuratezza dell'implementazione, che tenga nel debito conto gli obiettivi programmatici e il livello di dettaglio ad essi corrispondente. A questi problemi che le nuove modalità di ereditano dalla geografia tradizionale, se ne associano di nuovi verso i quali la riflessione del geografo si volge in questi anni per la prima volta. Fra questi, la questione del "senso di presenza" dell'utente nel luogo virtuale, che VR e AR possono innescare raggiungendo, attraverso un *design* adeguato e opportune soluzioni tecniche, una soddisfacente "immersività". Sarebbe teoricamente possibile fornire, agli utenti, esperienze geografiche virtuali a diversi livelli di complessità: dalla mera rappresentazione geometrica di uno spazio, utile a chiarirne la natura materiale, a ricostruzioni di resa più alta che possano innescare una percezione simbolica. Diverrebbe ipotizzabile ricostruire i fattori immateriali di decisioni cruciali, dinamiche culturali o emozionali legate a contesti geografici che non esistono nella realtà concreta. Questo lavoro ha il solo scopo di fornire spunti su nuove possibili

vie per la rappresentazione geografica. I destinatari cui si rivolge sono studiosi della disciplina che guardano con interesse alle possibilità di impiego di tecnologie innovative per applicazioni umanistiche, pur non avendone ancora approfondita esperienza. Tali spunti saranno presentati sulla base di esempi tratti dalla letteratura scientifica e/o ricavati dall'attività pratica di lavoro in laboratorio.

Parole chiave: simulazioni, virtualizzazioni, realtà virtuale, realtà aumentata, virtual geographic environment.

1. Introduzione

La comunità scientifica geografica, nel nostro paese, ha iniziato ad interrogarsi, con autorevolezza di contributi, sulle prospettive e sui problemi di un sempre più esteso impiego di tecnologie innovative nell'acquisizione, elaborazione e presentazione di dati sul paesaggio e sul territorio (De Marchi et al. 2023; Lazzeroni et al. 2023). In questa riflessione rientra anche l'applicazione di strumenti ad alta accessibilità e di uso quotidiano (smartphone, tablet, applicazioni web e social), nonché il ricorso a diverse tipologie di *story-telling* la cui attrattività è accresciuta da contaminazioni virtuose col mondo del *role-playing*, del *gaming* e degli spazi virtuali.

Recenti sviluppi delle tecnologie di simulazione e virtualizzazione, in particolare quelle di *realtà virtuale* (*Virtual Reality*, VR) e *realtà aumentata* (*Augmented Reality*, AR), sono al centro dell'attenzione di molti ambiti disciplinari per le potenzialità che mostrano nella ricerca scientifica, nella didattica, nella formazione professionale e nella divulgazione, anche mediante varie possibili integrazioni con i *Geographic Information Systems* (GIS). Associando tecnologie di vario tipo, oggi sempre più diffuse sul mercato generalista, è possibile una multimedialità utile a favorire, nelle narrazioni proposte, un coinvolgimento emozionale e quello che anche in ambito tecnico ha preso il nome di "senso di presenza", come si discuterà più avanti. Ciò apre la strada al significativo miglioramento di molti processi conoscitivi (Shen et al. 2022; Lie et al. 2023), specie nell'ambito geografico, in cui la riflessione è tanto ampiamente rivolta alla rappresentazione di spazi e luoghi, come pure alla percezione e alla simbolizzazione degli stessi.

Realizzando una copia virtuale di un certo *spazio* o *luogo*, si può renderne comprensibile la natura materiale ma anche, con opportuni accorgimenti, agevolarne una lettura esperienziale e simbolica, ricorrendo eventualmente ad uno *story-telling* multimodale. Se la rappresentazione riguarda, invece, un *evento* di rilevanza geografica (una esplorazione, una catastrofe ambientale e così via)

il fruitore può essere indotto a comprenderne la catena degli eventi, le caratteristiche, le condizioni al contorno ed eventualmente le ragioni; comprese, al limite, le ragioni di scelte ed azioni umane a fronte di determinati fenomeni. Il valore di queste esperienze virtuali in termini di diffusione della cultura geografica può essere particolarmente grande se esse si riferiscono a luoghi irraggiungibili o situazioni irripetibili. L'irraggiungibilità può dipendere da vincoli di natura spaziale – perché il luogo è troppo lontano o perché l'entrata vi è impedita – o di natura temporale – perché il luogo non esiste più o non esiste ancora. Analogamente, i vincoli che possono impedire di assistere ad uno specifico evento di importanza geografica possono essere legati alla irripetibilità pratica della situazione oppure alla sua intrinseca pericolosità.

Questo lavoro intende riflettere su due specifiche domande di ricerca. La prima è se sia possibile usare tecnologie di simulazione, VR e AR, per costruire rappresentazioni che producano utili ed obiettive forme di conoscenza geografica altrimenti impossibili da conseguire. La seconda è se, nel descrivere un luogo o un evento mediante le tecnologie citate, sia possibile veicolare all'utente forme crescenti di consapevolezza geografica che, partendo da una mera descrizione materiale, possano elevarsi ad una comunicazione di quei luoghi e fatti in una prospettiva del vissuto di chi effettivamente c'era, c'è o ci sarà.

Al lettore è già evidente che le risposte ad entrambe le domande, nel migliore dei casi, potranno essere affermative solo asintoticamente. Qualunque rappresentazione è, certo, parziale e selettiva. Inoltre, quanto più si ambisce a salire di complessità e, dalla prospettiva che Vallega (2004) avrebbe definito “di grammatica razionalista”, si cerca di ricostruire e far cogliere elementi percettivi, soggettivi ed emozionali, le variabili e le loro relazioni aumentano a dismisura. Ciò potrebbe facilmente vanificare lo sforzo di costruire una rappresentazione *corrispondente al vero*.

Nondimeno, se l'impresa riuscisse, i risultati sarebbero notevoli: l'utente potrebbe giungere a fare esperienza, almeno in qualche misura, di luoghi mai raggiunti e storie mai vissute: in altri termini, in linea teorica si potrebbe considerare applicabile anche a questi “luoghi virtuali”, almeno in parte, la classica prospettiva di Yi-Fu Tuan (2001). Essa, sebbene non coincidente con quella del vissuto degli spazi reali, potrebbe tuttavia “avvicinare” ad una loro parziale comprensione.

Va da sé che, ai fini del risultato da conseguire, l'accuratezza della rappresentazione è il vero elemento cruciale da prendere in esame, anche al di sopra degli aspetti di implementazione. Appunto nella filologica ricerca del dato alla fonte e nel rigore del processo che mate-

rializza l'esperienza virtuale si gioca la differenza fra un utile prodotto scientifico e culturale o uno che vada in senso contrario, allontanando, per così dire, dalla verità.

Alcune precisazioni sono d'obbligo prima di iniziare. In primis, non verrà discusso qui il tema dei “luoghi virtuali” intesi come ambienti digitali di interazione sociale fra persone reali che vi si presentino come tali o con gli attributi di un *avatar*. Questo argomento è al centro di una letteratura multidisciplinare in continua espansione, che richiederebbe una *review* più estesa dello spazio concesso a questo contributo. Il lavoro si focalizza, piuttosto, sulle rappresentazioni virtuali di luoghi o situazioni reali che non possono, per ragioni posizionali o cronologiche, essere “vissuti” in altra forma: non si considera se tali rappresentazioni debbano essere esperienza di un singolo individuo o di gruppi relazionali complessi come quelli prospettati dal concetto di *metaverso* (Carbone 2009; Aytaş, Can 2022; Davidson 2022, 9). L'interazione con “altri” o “altro” è, naturalmente, una delle possibili componenti dell'esperienza virtuale, ma in questa sede non importa se l'interazione sia con persone reali, entità automatiche o col puro e semplice ambiente virtuale.

In secondo luogo, benché in questo lavoro si parli di tecnologie innovative ed anche di alcuni aspetti del loro utilizzo in collaborazione concettuale con geotecnologie preesistenti, non si intende affrontare in dettaglio questioni tecniche. Esse potrebbero risultare poco comprensibili ai principali destinatari di questo lavoro, cioè geografi di orientamento in prevalenza umanistico, anche ben addestrati all'uso di GIS, ma di scarsa o nulla familiarità con tecnologie complesse di simulazione o virtualizzazione.

Lo scopo che ci si pone è di sollecitare una riflessione interna alla geografia italiana nei canoni del suo linguaggio, offrendo spunti, accompagnati da esempi, per evidenziare possibili prospettive.

Per questa ragione si chiede, fin d'ora, indulgenza agli esperti delle tecnologie citate se l'argomentazione potrà apparire loro, a tratti, eterodossa e se si darà l'impressione di “confondere” alcuni paradigmi.

Il riferimento, in particolare ma non esclusivamente, è ai concetti distinti di VR e AR, intesi anche nelle varie forme di ibridazione con altre tecnologie. Ad essi si attribuisce in vari punti, salvo diversa indicazione, il termine generale di “virtualizzazione”. Del resto, anche negli studi prodotti in diversi ambiti disciplinari, alcune definizioni paiono talora sfumarsi nella variegata molteplicità delle implementazioni (Yung, Khoo-Lattimore 2019; Asiminidis 2023).

Analogamente, si attribuirà la definizione di “informazione geografica” a forme di aggregazione di dati che,

pur funzionali alla virtualizzazione e/o alla produzione di rappresentazioni, potranno non rientrare canonicamente nell'insieme dei GIS che sono ormai strumento quotidiano del geografo. Per le stesse ragioni, infine, di proposito, non si entrerà approfonditamente nel merito delle specifiche implementazioni, ma si discuteranno modelli concettuali di tipo generale.

L'auspicio da cui trae origine questo lavoro è che studiosi della nostra disciplina possano orientare alcune linee di ricerca verso un approfondimento delle potenzialità dei nuovi strumenti. Se infatti le tecnologie di simulazione e virtualizzazione destano un crescente interesse anche nell'ambito della geografia, il dato di fatto è che esse sono oggetto di impiego più consolidato in altri settori. È indubbio, però, che il loro grande potenziale potrebbe essere utilmente impiegato in alcune applicazioni geografiche, allorché un numero sufficiente di studiosi e sperimentatori decida di voler servirsene nei rispettivi ambiti di attività.

2. Modelli, simulazioni, virtualizzazioni

Si presentano ora alcune considerazioni di carattere generale rimandando al paragrafo successivo per una discussione di aspetti specifici delle esperienze geografiche veicolate attraverso tecnologie VR o AR. È opportuno, anzitutto, introdurre alcuni concetti di lavoro utili alla riflessione. Per comodità si riprende anzitutto Catherine Banks (2009, 5-6), secondo cui una simulazione è un insieme di elementi e processi che tendono a riprodurre, in un certo intervallo di tempo, una realtà concreta partendo da un modello che ne approssima le caratteristiche. Lo scopo ultimo, tanto del modello quanto delle simulazioni che su di esso si basano, è l'imitazione del funzionamento di un processo del mondo reale. La simulazione è usata quando non è possibile interagire col sistema reale perché questo non è accessibile, perché l'accesso può essere pericoloso o inaccettabile o perché, semplicemente, il sistema simulato non esiste in concreto. Dopo aver sviluppato il modello che dovrebbe rappresentare il fenomeno e averne estratto dati attraverso le simulazioni, questi possono essere resi disponibili in vari modi attraverso visualizzazioni – fra le quali rientrano a pieno titolo le riproduzioni virtuali – al fine di migliorare la nostra capacità di capirli o interpretarli (Banks 2009, 6-7).

Questo quadro, benché risenta in certo grado di un tradizionale approccio ingegneristico è sufficientemente aperto ad una lettura interdisciplinare da risultare utile anche in una sua trasposizione geografica.

In questo senso, la prima considerazione è che, naturalmente, il geografo vede nella carta il model-

lo principe che descrive (o costruisce, a seconda delle prospettive) la tessitura di spazi e luoghi. Essa è classicamente definita come una rappresentazione ridotta, approssimata e simbolica della realtà (Baldacci 1974, 89-91). La definizione, emersa ai tempi in cui la carta era soprattutto un manufatto fisico cui il supporto imponeva scale, convenzioni e tematismi, vale in realtà pienamente anche oggi. I geografi continuano a parlare, proprio in forza della tradizionale concettualizzazione, di “carte” anche se quelle attuali sono rappresentazioni digitali molto meno dipendenti dal supporto e combinano dinamicamente elementi modulari quali *basemap*, *layer*, attributi, testi, collegamenti ipertestuali ed elementi multimediali, agevolando radicali innovazioni nella comunicazione cartografica (Di Gioia 2023, 667). I problemi di riduzione e selezione dei fenomeni rappresentati – e quindi le perenni questioni circa “oggettività” e “attendibilità” della carta – restano quelli di sempre ed anzi si fanno, nel tempo, più complessi.

Dall'avvento dell'informazione geografica digitale, è apparso naturale poter aggregare e combinare più dati e in maggior varietà di quanto non accadesse in passato. Forse meno ovvio per alcuni, ma altrettanto fattuale, è che vincolare oggi la cartografia alla tradizionale visualizzazione 2D o 3D, per quanto dinamica, potrebbe essere in certi casi limitante.

Alcuni attuali sistemi di simulazione e virtualizzazione – non necessariamente finalizzati, *ab initio*, all'informazione geografica¹ – possono tuttavia integrarsi con *geodatabase* opportunamente sviluppati e contribuire a far immaginare nuovi, efficaci paradigmi per l'organizzazione e la presentazione dei dati.

Se interpretiamo la carta tradizionale e la documentazione a suo corredo come la struttura di informazione geografica che costituisce un certo modello della realtà, le informazioni contenute in un GIS che implementi in forma digitale tale struttura possono essere esplorate e visualizzate in vari modi. “Interrogare una carta” (da quelle tradizionali fisiche a quelle digitali odierne) significa non solo estrarre da essa i dati, ma anche e soprattutto osservare, ipotizzare e sperimentare correlazioni, combinazioni e funzionalità dei contesti studiati. Questo risultato può anche conseguirsi sviluppando un sistema che consenta all'utente di ottenere uno specifico punto di vista “soggettivo” nello spazio esplorato, entro un

¹ Il tema è stato da anni oggetto di interesse. A questo proposito si consideri il lavoro di Hudson-Smith e Crooks (2008). In esso si presenta l'utilizzo del sistema di visualizzazione del videogioco *Crysis* per inserirvi una ricostruzione geograficamente accurata di parte della città di Londra e ottenerne una rappresentazione più vivida e suggestiva di quella sviluppabile da molti GIS a scopo professionale noti agli autori.

ambiente virtuale (creato ovviamente in base ad una specifica ontologia geografica), che lo metta di fronte alla complessità dei fenomeni caratterizzanti tale ambiente.

Consideriamo un esempio molto semplice di questa particolare, possibile linea di sviluppo nell'uso dell'informazione geografica.

Le figure 1 e 2 mostrano rispettivamente un panorama del lago di Santa Croce (Belluno) e la sua riproduzione virtuale attraverso un simulatore di volo per uso domestico di ultima generazione. La scena simulata è assimilabile ad una particolare visualizzazione GIS tridimensionale i cui elementi sono comunque riconducibili, concettualmente, alle normali primitive e ai formati su cui l'informazione geografica si basa: su un modello di elevazione digitale, sono riportate le *texture* dei colori naturali del terreno (logicamente assimilabili a *raster*). Strade, elettrodotti e *features* lineari sono riconducibili a oggetti di tipo linea e, mediante generazione procedurale sono creati oggetti tridimensionali come alberi e edifici (questi ultimi riprodotti, in alcuni casi, anche per *image-based-modelling*). Benché visualizzati sovente con geometrie complesse, logicamente sono assimilabili, "sulla carta", a *features* puntuali o poligonali in corrispondenza delle quali vengono a collocarsi i modelli. Nell'ambiente simulato, però, troviamo – parimenti interpretabili secondo i canoni dell'informazione geografica – anche rappresentazioni ulteriori connesse con l'ontologia intorno alla quale la simulazione è costruita, cioè l'ontologia del volo atmosferico, con le interazioni fra le sue componenti. Le condizioni meteorologiche seguono le tipologie canoniche, più o meno fedelmente riprodotte nelle aree di scenario corrispondenti alla realtà, grazie al recupero da Internet dei METAR diffusi costantemente dai servizi meteorologici aeronautici. Il movimento delle acque del lago è simulato, sulla superficie dello specchio d'ac-



Figura 1. Un panorama del Lago di Santa Croce. Fonte: Adobe-stock.

qua, da opportuni algoritmi. Perfino le chiamate radio che il pilota virtuale dovrebbe scambiare coi servizi di controllo del traffico aereo possono essere rese – più o meno fedelmente a seconda delle implementazioni – tenendo conto che esse devono aver luogo ai confini di specifiche zone di traffico, invisibili nell'ambiente simulato (come nella realtà) ma perfettamente assimilabili a poliedri (dunque, in ultima analisi, a combinazioni di poligoni). Scopo di questo tipo di costruzione di informazione geografica è dare al suo fruitore – sia esso un allievo pilota in formazione o un appassionato *gamer* – una esperienza visiva, uditiva e procedurale comparabile a quella di un pilota che voli su un aereo nel mondo reale. Essa sarà veritiera se le informazioni organizzate nella rappresentazione saranno state accuratamente e compiutamente individuate rispetto agli scopi previsti: se lo scenario sarà stato riprodotto fedelmente sulla base di dati telerilevati e cartografici accurati, se il modello virtuale dell'aeromobile avrà riprodotto filologicamente le caratteristiche dell'aereo reale, e se il comportamento di tutte le componenti riprodurrà in modo corretto i fenomeni della realtà. Se tutti i necessari "controlli di qualità" saranno stati eseguiti nel progettare e costruire la rappresentazione, essa si potrà considerare pienamente affidabile, proprio come qualsiasi rappresentazione geografica asseverata, entro i limiti della propria definizione di scopo e del livello di dettaglio corrispondente a quello scopo. E come ogni altra rappresentazione geografica, sarà stata realizzata operando una serie di selezioni tra temi e oggetti in funzione dei suoi scopi comunicativi, giungendo perciò a riprodurre alcuni aspetti della realtà, ad esclusione di altri. Nell'esempio proposto, banalmente, la simulazione non rende sul piano tattile le sensazioni fisiche associate alle accelerazioni provocate dalle manovre di volo.

Come ad ogni altra rappresentazione geografica, non si potrà chiedere a questa di mantenere il suo pur alto



Figura 2. La stessa area rappresentata virtualmente nel simulatore di volo Microsoft Flight Simulator 2020. Fonte: Microsoft.

grado di corrispondenza alla realtà al di fuori dei limiti della propria ontologia, ma all'interno di quei limiti potrà fornire un importante contributo di conoscenza.

Riprendendo una visione generale sul tema, la virtualizzazione può essere compresa come un nuovo insieme di canali di rappresentazione che rende possibile, in modo sensorialmente più efficace, osservazioni e interpretazioni su fenomeni che sono stati, sono o saranno. Questo, ad esempio, accade ogni volta in cui i GIS tradizionali – anche, eventualmente, in associazione a Building Information Modelling (BIM) e ad altri sistemi di rappresentazione – siano impiegati per il rendering di paesaggi che non esistono ancora ma che si visualizzano predittivamente a fini di *planning*; o in tutti i casi in cui un paesaggio storico sia stato ricostruito, da fonti d'archivio e/o archeologiche, in modo da consentirne una fruizione sensorialmente più immediata.

A ben guardare, dunque, ciò che accade ancora oggi, come un tempo, è che al modello approssimato della realtà – la carta o l'informazione geografica disponibile – si applica un insieme di processi di simulazione – i *workflow* che estraggono dal modello i dati – per ricavarne informazioni che poi vengono presentate all'utente in vari modi.

I molti dispositivi che rendono oggi possibili le rappresentazioni in VR e AR sono solo nuovi strumenti di resa sensoriale – su diversi canali, oltre quello puramente visivo – dei dati che possono emergere dalle simulazioni. Molto più di quanto non avvenisse con le “visualizzazioni” del passato, gli strumenti attuali possono dar luogo a rappresentazioni di efficacia molto elevata, capaci di investire, a seconda dei casi, aspetti cognitivi, razionali, percettivi ed emozionali dell'utente.

Questa prospettiva invita dunque a considerare i processi di strutturazione, codifica e decodifica di rappresentazioni mediante sistemi di simulazione e virtualizzazione secondo alcune coordinate concettuali ben familiari alla geografia. Il richiamo è mosso soprattutto all'attenzione della geografia umanistica, il cui intento è legato, più che alla descrizione degli spazi, alla comprensione soggettiva dei luoghi e degli eventi che vi accadono, benché tale comprensione non possa prescindere dall'adeguata e accurata resa degli aspetti fisici, metrici e materiali dei luoghi e degli eventi stessi.

Una prima, semplice, avvertenza da porre è che un sistema di simulazione può essere più o meno accurato nel riprodurre un fenomeno. Tale connotazione però non è direttamente correlata all'intensità espressiva con cui la visualizzazione potrà rendere gli aspetti percettivi ed esperienziali. È ovvio che si possa produrre una rappresentazione credibile, intensa e suggestiva di un fenomeno simulato in modo del tutto erroneo o grossolanamente inaccurato.

Bisogna quindi enunciare fin da ora che simulazione e virtualizzazione, ai fini della capacità di condurre l'utente in contesti “altrimenti irraggiungibili”, devono essere assoggettate ad un rigoroso processo di validazione condizionato a tre elementi. Primo, correttezza e completezza dell'ontologia; secondo, reperimento, attraverso opportune fonti, di dati affidabili e completi; terzo, rappresentazione del fenomeno reale, da ottenersi attraverso la simulazione-virtualizzazione, che per livello di dettaglio, “immersività” e caratteristiche di interazione, permetta all'utente di conseguire un adeguato livello di “senso di presenza”.

Secondo Wilkinson, Brantley e Feng (2021, 1101, traduzione dell'autore), il “senso di presenza è generalmente associato all'esperienza di essere in un altro luogo o situazione”, mentre il concetto di immersività, di natura più tecnica, è legato alla capacità del sistema di simulazione-virtualizzazione di produrre l'illusione che innesca il senso di presenza. Con riferimento poi a quest'ultimo, è appena il caso di osservare che esso può intendersi a diversi livelli di coinvolgimento emozionale. Riuscire a percepirsi “soggettivamente” in uno spazio di cui si possono osservare le caratteristiche, come potrebbe accadere, ad esempio, ad uno studente di astronomia che esplori un modello virtuale del sistema solare, è diverso dal vivere con intensità di emozione l'esperienza di un luogo che richiama un forte coinvolgimento personale, come accadrebbe al superstite di un disastro che esplori in realtà virtuale un accurato modello del proprio quartiere distrutto decenni prima. Entrambi i casi di “senso di presenza” si fondano tuttavia sullo stesso meccanismo di base, ovvero un “distacco dalla normale realtà e l'adesione percettiva ad una differente realtà indotto dalla qualità della rappresentazione” (Wilkinson et al. 2021, 1101, traduzione dell'autore).

Se le tre condizioni sopra citate non sono contemporaneamente soddisfatte, il sistema non può essere preso in considerazione tra i tipi di simulazioni-virtualizzazioni su cui questo scritto vuole focalizzarsi: quelli, cioè, potenzialmente in grado di aggiungere conoscenza utile superando, almeno in parte, il problema dell’“irraggiungibilità”.

Vale la pena osservare che non tutti gli studi sulle rappresentazioni geografiche costruite mediante virtualizzazioni considerano necessari alti livelli di immersività come direttamente funzionali al senso di presenza; né il senso di presenza stesso – che in questa riflessione è cruciale – è considerato necessario in uguali termini, ai fini dell'efficacia della rappresentazione geografica, da diversi autori che pure attestano, variamente, l'utilità di questi strumenti. È un esempio interessante, in questo senso, la varietà di implementazioni e modalità

di presentazione dei dati che diversi autori propongono sotto la categoria concettuale comune di “Virtual Geographical Environment” (VGE), di cui alcuni dei “luoghi virtuali” ipotizzati in questo articolo potrebbero considerarsi un sottoinsieme. Alcuni autori evidenziano, in generale, la possibilità di ricorrere a diverse tecnologie ed impostazioni concettuali per costruire VGE (Mauro et al. 2023). Landi (2018, 302) definisce chiaramente la natura multiforme di tali ambienti precisando che “possono spaziare dal semplice software in grado di garantire un’interazione base attraverso lo schermo di un computer desktop, fino a sistemi complessi ed interamente immersivi in cui l’utente è completamente coinvolto non soltanto attraverso il senso della vista, ma anche dell’udito e del tatto”. Gallo (2023) propone di realizzare VGE con l’uso integrato di immagini a 360°, riprese aeree e cartografia storica; Bronzino, De Chiaro e Guerreschi (2023) considerano di realizzare VGE mediante integrazione di GIS3D ed elaborazioni *image-based-modelling* per costruire percorsi virtuali immersivi.

Si presenta una larga varietà di proposte, dunque, nella quale l’immersività sensoriale e il conseguimento per il fruitore di un senso di presenza sono sì considerati, ma non sembrano avere necessariamente un ruolo prioritario. Questo sia nel caso si voglia intercettare e “cristallizzare”, nella documentazione digitale, un patrimonio di dati e di conoscenza, sia nel caso si voglia raccontarlo attraverso “gemelli digitali” di ambienti di alto valore culturale (Bencivenga, Percoco 2023, 540) o mediante forme di *story-telling* e di *gamification* (Carbone 2023; Noto 2023).

Questo può dipendere, anzitutto, dalla difficoltà di realizzare – specie in alcuni contesti didattici – sistemi altamente immersivi. Per di più, tali sistemi non sono sempre vantaggiosi, per le limitazioni operative che possono comportare in termini di fruibilità e per la difficoltà che alcuni utenti incontrano nell’uso; difficoltà che, nel caso della realtà virtuale, possono assumere la forma di veri e propri disturbi fisici (Chang, Kim, Yoo 2020). Nondimeno, alcune sperimentazioni condotte nell’applicazione di tecnologie di simulazione-virtualizzazione – in continuo progresso – suggeriscono il loro notevole potenziale come strumento di conoscenza (Ippoliti et al. 2012; Brundu 2013; Landi 2018; Hudson-Smith, Crooks 2008; Gopal Singla 2021; Sedlák et al. 2022).

In tutte le pubblicazioni citate, al di là del ruolo che eventualmente è riconosciuto o meno al senso di presenza e all’immersività delle soluzioni tecniche, si trova ribadita più volte la possibilità – al centro anche di questa riflessione – di consentire, mediante vari sistemi di simulazione-virtualizzazione, rappresentazioni geografiche convergenti alla realtà anche quando si tratta di real-

tà non raggiungibili in forma concreta e pur con tutte le limitazioni che tale convergenza comporta.

3. Nel mondo delle ombre o fra le ombre nel mondo?

Considerazioni su informazione geografica e virtualizzazione in VR ed AR

Una banale considerazione è che se l’esperienza concreta di un luogo o di un evento fosse pienamente alla portata del potenziale fruitore, potrebbe non avere senso proporre una sostituzione virtuale. Circa le esperienze che, per qualsiasi motivo, siano al di fuori di questa portata, la possibilità di ricostruirle in forma sostitutiva, eventualmente conseguendo l’inesco del “senso di presenza” sarebbe un significativo valore aggiunto perché potrebbe far sì che il processo conoscitivo non abbia esito meramente intellettuale ma possa elevarsi ad esperienza più completa per chi ne fruisca.

La simulazione accurata di uno spazio o di un evento da una parte, e il dare al fruitore l’impressione di viverli effettivamente dall’altra, come si è detto sopra, non coincidono necessariamente e devono anzi essere considerati due processi distinti. Tuttavia, se combinati in una efficace coesistenza, possono indurre l’utente a una adesione soggettiva che alcuni autori chiamano “sospensione dell’incredulità” (*suspension of disbelief*) (Côtés Maduro 2018, 108; Bech et al. 2020, 1-2). Basandosi sul senso di presenza conseguito nel contesto virtuale, il fruitore accetta, in misura maggiore o minore, di partecipare all’esperienza proposta, in forma emozionale oltre che razionale. In linea di principio, tale esperienza potrebbe essere veicolata anche da strumenti tradizionali senza far ricorso a tecnologie VR ed AR. La scelta dipende, perciò, dai contenuti e dal processo di fruizione che si vuole realizzare.

Com’è ben noto, la realtà virtuale consiste nell’inserire sensorialmente il fruitore, grazie ad opportune periferiche controllate da computer, in un ambiente digitale che, dal punto di vista dell’utente, sostituisce quello concreto. In alcuni casi la virtualizzazione si ottiene utilizzando come supporto l’ambiente concreto stesso, nel quale il fruitore si trova (sala, sito storico, laboratorio e così via), mediante schermi o sistemi di proiezione. In altri casi, si “isola” sensorialmente l’utente all’interno del contesto virtuale mediante periferiche applicate alla sua persona (visori, guanti e dispositivi in grado di produrre effetti tattili).

Una volta conseguito il senso di presenza nell’ambiente virtuale il fruitore lascia temporaneamente il mondo concreto in cui vive e si cala in un “mondo delle ombre” che del primo può continuare ad avere l’apparenza e la dinamica, usate tuttavia per rappresentare *altro*.

Grazie alle tecnologie di VR immersiva oggi più comunemente disponibili, lo spazio virtuale può essere reso assimilabile sul piano visuale, uditivo e talvolta tattile, con il mondo reale; a livello di ricerca e innovazione si prevedono ulteriori sviluppi in termini di resa sensoriale (Dozio et al. 2021; Garcia-Ruiz 2023; Kang et al. 2023).

Uno spazio virtuale può essere creato in modo che l'utente vi si muova con totale libertà fisica nella piena profondità tridimensionale e vi interagisca secondo dinamiche di spostamento simili a quelle reali, afferrando e rilasciando oggetti o girandovi intorno.

In generale, l'efficacia di tecnologie immersive nell'innescare un senso di presenza e un coinvolgimento emotivo, specie se gli ambienti riprodotti sono dinamici, è stata osservata da diversi autori (Roettl, Terlutter 2018; Shu et al. 2019; Pallavicini et al. 2019).

Tuttavia, per questioni di facilità ed economicità di impiego, nella maggior parte delle applicazioni odierne in campo geografico, il processo di virtualizzazione è meno sofisticato: un ambiente viene spesso reso con immagini sferiche (fisse e/o in movimento), rispetto alle quali l'utente occupa comunque sempre il centro; eventualmente le sfere sono organizzate in tour virtuali navigabili con pochi comandi e fruibili con visori. Questi ultimi, nelle versioni più basiche, funzionano inserendovi all'interno uno smartphone i cui sensori consentono all'utente di rivolgere lo sguardo nelle varie direzioni della scena che osserva.

Quali che siano le soluzioni adottate, se l'esperienza virtuale è costruita in modo abbastanza persuasivo, l'utente accetterà l'illusione di trovarsi in un luogo, o in un insieme di luoghi e situazioni che sono credibili ma del tutto non correlati con lo spazio e il tempo in cui l'utente effettivamente vive. Nella realtà virtuale ci si cala in un "mondo delle ombre" a partire dall'*hic-et-nunc* fisico dell'utente, un mondo che può svilupparsi, in linea di principio, sulla riproduzione dell'intera superficie della Terra (o di un altro pianeta) in una qualsiasi epoca della storia passata, presente o futura.

Se la rappresentazione è stata correttamente concepita e sviluppata per produrre consapevolezza su un dato fenomeno geografico, l'utente potrà tornare nella realtà concreta con un arricchimento di conoscenza.

Questa semplice considerazione è alla base della fortuna anche commerciale, ad esempio, dei videogiochi che si basano su creazione in realtà virtuale di ambienti storici. Proprio alla formula del gioco si orientano per produrre conoscenza scientifica di qualità anche gruppi di lavoro e sviluppatori impegnati in prima linea nella produzione culturale (Pescarin 2020; Carbone 2023).

La realtà virtuale è strumento di rappresentazione molto efficace, ma nelle sue diverse forme non manca di

problemi e controindicazioni. Oltre alla citata questione dei disturbi sensoriali che possono essere indotti dalle esperienze in VR, sussistono limiti applicativi che conviene richiamare. In primo luogo, nonostante le relative tecnologie siano sempre meno ingombranti e sempre più accessibili in termini economici ed operativi, la realtà virtuale, specie se ad alta immersività con canali sensoriali multipli, può risultare di complessa e costosa implementazione. Se la creazione di un ambiente virtuale è sviluppata, ad esempio, mediante proiezione su schermi multipli, l'esperienza potrà essere facilmente condivisa da gruppi di persone; se è necessario fare ricorso a *head-mounted display* (HMD), cioè visori che devono essere indossati, ogni utente potrà interagire solo individualmente col proprio ambiente virtuale, anche se questo dovesse contenere gli *avatar* di altri utenti. In secondo luogo, può accadere che la virtualizzazione immersiva presenti mediocrità di progettazione, lacune o inadeguatezze che riducano significativamente l'efficacia e l'utilità dell'esperienza conoscitiva.

Il notevole progresso tecnico conseguito negli ultimi anni, tuttavia, e la crescente attenzione all'impatto emozionale delle rappresentazioni, fa presumere che questi problemi possano essere sempre meglio affrontati in futuro e che le applicazioni di questo tipo siano destinate a diffondersi costantemente.

Consideriamo ora la realtà aumentata (AR). Nelle esperienze in questa modalità, l'utente si muove nel mondo reale con dispositivi come occhiali, tablet, smartphone e simili. Essi sono dotati di sensori posizionali e di assetto, e/o di capacità di attivare le proprie funzionalità con vari *trigger* (codici QR, *marker* fisici, *beacon*...). Spostandosi da un punto all'altro dello spazio concreto, l'utente vede gli oggetti fisici al suo intorno "arricchirsi" o "aumentarsi" con informazioni, dati e interazioni di vario tipo. Ai fini di questa discussione, si rimanda alle distinzioni e le classificazioni proposte da Lobo e Christophe (2020) in riferimento alle cosiddette "visualizzazioni geografiche situate" (*situated geographical visualizations*). Gli elementi virtuali che appaiono, in AR, in associazione con quelli concreti, possono avere carattere di oggetti fisici (ad esempio la ricostruzione virtuale di un manufatto storico scomparso che appaia in prossimità del cartello concreto che ne presenta una descrizione) o di dati testuali, numerici o di altro tipo. In alcuni casi, l'oggetto in realtà aumentata si presenta come attivato da *marker* che possono essere anche mobili e quindi non vincolati ad una località specifica per la fruizione. È più significativa, ai fini di questo lavoro, ogni istanza di realtà aumentata che richieda, per essere visualizzata, l'associazione con uno specifico sito/luogo fisico esistente (Lobo, Christophe 2020, 164); che abbia cioè, secondo la definizione

di quegli autori, “deviazione geografica” (*geographic indirection*) nulla. Vincolando la fruizione dell’esperienza in AR ad uno specifico luogo fisico, è possibile presentare, di quel luogo, un elemento di valore altrimenti sconosciuto, e per giunta indurre l’utente a fare esperienza diretta di uno spazio reale che magari non sarebbe stato visitato per altri motivi. Non a caso, la deviazione geografica nulla è un carattere ricorrente nelle applicazioni di AR per il turismo (Nevola et al. 2022, 372).

Certo, essa non è necessaria per *tutte* le applicazioni di realtà aumentata in ambito geografico: ad esempio, è possibile ed opportuno che una visualizzazione in AR si attivi dal *marker* sulla pagina di un testo di geografia, per mostrare contenuti aggiuntivi (Koklu, Sulak 2021, 97).

Se è naturale che nella realtà virtuale l’intero spazio geografico riprodotto consenta transizioni istantanee o libere variazioni di scala, nel caso della realtà aumentata è l’ambiente fisico reale a divenire il supporto spaziale su cui avviene la fruizione dei contenuti geo-informativi. In altri termini la rappresentazione o, se vogliamo, la *carta*, va a coincidere spazialmente e dimensionalmente con il mondo reale; ma agli oggetti del mondo reale aggiunge contenuti sviluppati a partire dall’ontologia geografica che si sta usando.

In una esperienza di simulazione-virtualizzazione in realtà aumentata, il fruitore trae dunque la sua conoscenza dalla coesistenza, nello spazio al suo intorno, di elementi concreti ed elementi virtuali (Primi 2017). Per tornare alla metafora precedente, si tratta di “ombre” anche in questo caso; non è però l’utente a calarsi nel “mondo delle ombre”, bensì sono le “ombre” a mostrarsi all’utente nel suo mondo concreto e ad innescare suggestione e conoscenza. L’utente potrà, quindi, meditare sulla realtà dei luoghi cui fisicamente accede, per ciò che essi erano una volta, saranno in futuro o per il valore di fatti ed eventi che vi si sono svolti o che vi si potrebbero svolgere.

Non bisogna credere che realtà virtuale o realtà aumentata debbano necessariamente produrre assolute disparità di effetti in termini di “senso di presenza”.

La app sperimentale di realtà aumentata ShadowOfNorge, prodotta nel 2021 per “geolocalizzare” un modello virtuale del dirigibile NORGE² in alcuni luoghi visitati dalla storica aeronave nel 1926, non puntava al semplice *geotagging* di informazioni aggiuntive visualizzabili visitando i luoghi. Piuttosto, intendeva ricreare nell’utente l’illusione – in termini anche emozionali – di vedere il dirigibile, col suo caratteristico rombo cupo, materializzarsi come vero e proprio “fantasma” nel cielo dei luoghi del suo antico passaggio.

La curiosa tendenza mostrata da alcuni utenti di ShadowOfNorge a spostare, dopo alcuni istanti, lo smartphone su cui era comparso il dirigibile per meglio vedere l’aeronave al di là del piccolo schermo è stata, con soddisfazione degli sviluppatori, la dimostrazione pratica che, per il breve spazio di qualche secondo, quegli utenti avevano dimenticato, nei luoghi dove si trovavano, di stare guardando un’immagine puramente virtuale.

Anche nel caso della realtà aumentata, le variabili sono molte. Questo tipo di servizio può essere fruito, in alcuni casi, attraverso dispositivi ottimizzati (come accade nelle strutture museali allorché i visitatori ricevono *device* già predisposti); in altri, ad esempio quelli per cui si voglia prevedere una maggior diffusione, si segue il principio del BYOD (*bring your own device*): ciascun utente utilizza il proprio dispositivo personale installando la app per la realtà aumentata. Questo può creare disparità di fruizione del servizio, perché i diversi dispositivi possono avere differenti capacità. Tipici problemi che sorgono in questi casi sono discontinuità di visualizzazione, posizionamento o limitazioni nel traffico dati.

Torniamo ora a considerare, in generale, il tema della virtualizzazione per l’esperienza di luoghi e situazioni “irraggiungibili”.

In ambito culturale, se si escludono implementazioni di alta complessità tecnologica ed alta immersività, nei casi più comuni le esperienze di “realtà virtuale” sono erogate per lo più con HMD, in grado di produrre immagini e suoni. Essi possono essere associati a diversi tipi di *controller* o periferiche, per favorire le interazioni col sistema simulato (Liu 2023). Come detto precedentemente, una soluzione comune, che si potrebbe definire a media immersività, è quella che consiste nel mostrare, attraverso l’HMD, immagini sferiche. Questo tipo di implementazione è già ampiamente diffuso nella didattica della geografia (Roelofsen, Carter-White 2021). La natura tecnicamente semplice di queste virtualizzazioni – o di quelle, ancora più basiche, su schermo – ha fatto sì che esse siano già ampiamente usate con successo³.

Quando si parla di “luogo irraggiungibile” si può intendere, è chiaro, un luogo spazialmente vicino cui l’utente non possa accedere perché vi sono impedimenti, o un luogo fisicamente lontano che, pur essendo accessibile in senso assoluto, presenti difficoltà o impossibilità di raggiungimento (Minucciani, Garnero 2017). Si può trattare di ambienti in cui l’utente non potrà mai muoversi (Özdemir, Ozturk 2022) oppure contesti la cui visita possa risultare oggettivamente malagevole a fronte del

² <https://www.shadowofnorge.eu/il-progetto/prova-la-nostra-app/>

³ Si vedano, ad esempio, Lee e Wong (2014) Stojšić et al. (2016); Bos et al. (2021); Shen et al. (2022); Weppo, da Costa Machado Timmers (2022); Kuna, Haškova, Borza (2023); Daniele (2023).

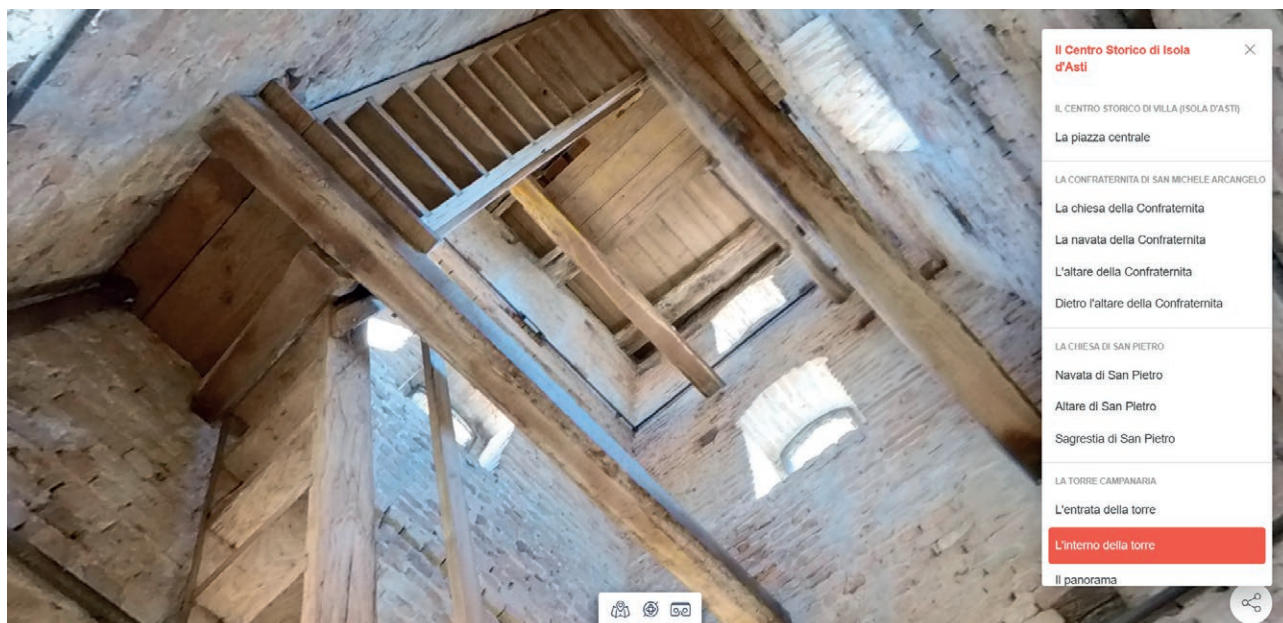


Figura 3. Sezione di una fotosfera nel virtual tour della torre di Isola d'Asti. Fonte: GREAL. Elaborazione: R. Rodelli.

guadagno di conoscenza che una esperienza virtualizzata può arrecare (Pagano, Pietroni, Cerato 2017; Lee 2023, 1-2).

La figura 3 mostra un *virtual tour* della storica torre di Isola d'Asti, inaccessibile a persone a ridotta mobilità e in ogni caso chiusa al pubblico. Il *virtual tour* del monumento – parte di un tour più ampio e complesso, fruibile sia mediante HMD che a schermo – è costituito da una serie di tre immagini sferiche fisse, corrispondenti rispettivamente al pian terreno, al primo piano e alla cella campanaria. Ai diversi piani sono applicati effetti sonori spazialmente localizzati nella scena (il ticchettio del pendolo, il suono delle campane), così che l'utente, guardandosi intorno, possa sentire il suono spostarsi in funzione del suo movimento. Lo spostamento da una fotosfera all'altra, così come l'apparizione di informazioni descrittive, è legato all'attivazione di opportuni link. Questo tipo di prodotto consente di superare la semplice ma altrimenti invalicabile “porta chiusa” che, magari da molti anni, impedisce la fruizione di luoghi storici tanto alla comunità che li possiede, quanto a turisti potenzialmente interessati.

Il secondo esempio (Fig. 4) è un video – parimenti fruibile a schermo o su HMD – in cui è mostrata una serie di immagini sferiche raccolte in alcuni siti delle isole Svalbard dalla spedizione Polarquest2021⁴. In questo caso, dopo una introduzione iniziale da parte di una

voce fuori campo, si presenta una semplice carrellata di video girati da una videocamera 360° lasciata, per alcuni minuti, in diverse zone osservate. L'unico suono percepibile in ciascun *clip* è, occasionalmente, il rumore del vento. Questo tipo di visualizzazione, nella sua semplicità, dà all'utente modo di osservare un tipico ambiente artico nella stagione estiva, con grandi coltri detritiche che coprono vaste zone pianeggianti o leggermente ondulate, le ripide montagne delle isole o il fronte di un piccolo ghiacciaio. A sfondo di tutto vi è la singolare quiete dell'Artide, tanto inusuale per visitatori che provengano dalle rumorose città della globalizzazione. A testimoniare l'impatto soggettivo di una esperienza virtuale basata anche su queste specifiche videosfere, pur nella loro estrema semplicità, è stato recentemente pubblicato uno studio in ambito psicologico, da parte di un gruppo di lavoro dell'Università Europea di Roma (Theodorou et al. 2023); la ricerca prosegue e altri studi sono in corso di sviluppo.

Il terzo esempio (Fig. 5) è costituito da una singola fotosfera, prodotta dalla missione di esplorazione *Mars 2020* sul pianeta Marte⁵. L'immagine permette di osservare come apparirebbe l'orizzonte marziano se la persona si trovasse lì, “a bordo” del rover. Questo ed altri documenti analoghi facilmente reperibili sul Web, nella loro semplicità, contribuiscono alla diffusione presso il largo pubblico di una vera e propria consapevolezza cir-

⁴ <https://www.youtube.com/watch?v=vIn832dzezA>.

⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=wE-aQO9XD1g>.



Figura 4. Il paesaggio desolato dell'isola di Lågoya, Svalbard settentrionali, in un video a 360° disponibile sulla piattaforma Youtube e fruibile in VR. Fonte: GREAL, elaborazione R. Rodelli.

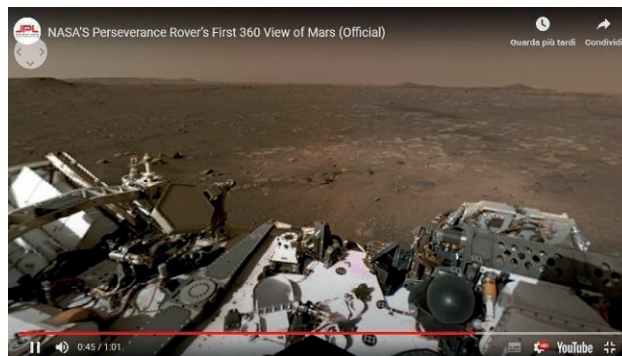


Figura 5. Immagine a 360° acquisita da Perseverance su Marte nel 2021, fruibile su schermo e mediante visori VR dalla piattaforma Youtube. Fonte: NASA.

ca l'aspetto dei pianeti verso i quali si orienta l'attuale percorso di esplorazione dell'umanità.

4. Gli spazi, i luoghi, le anime. La virtualizzazione del Vajont

Simulazione e virtualizzazione possono contribuire alla conoscenza di spazi e luoghi scomparsi (Minuciani, Garnero 2017) e agevolare – fra l'altro – una loro sopravvivenza nella memoria delle collettività. Il disastro del Vajont, sessant'anni dopo il suo accadimento, è tuttora oggetto di una intensa attività di ricerca e divulgazione. Fra il 1957 e il 1959 la Società Adriatica di Elettricità (SADE) aveva fatto costruire, a sbarramento del torrente Vajont – tributario di sinistra del Piave – una grande diga a doppia curvatura (Sacchet 2003). Il bacino, del volume potenziale utile di 150 milioni di metri cubi, era stato sottoposto a collaudo con successivi invasi e svasi, che avevano reso instabile gran parte della sua sponda sinistra. La notte del 9 ottobre 1963 una massa di 260 milioni di metri cubi di roccia precipitò nell'invaso, provocando il sollevarsi di un'ondata che si abbatté su zone abitate a monte e a valle. L'evento causò la morte di 1.910 persone, la maggior parte delle quali nell'area del comune di Longarone (BL).

Consideriamo alcuni esempi di lavori che mostrano tre essenziali "livelli di complessità" nella possibile simulazione-virtualizzazione dei luoghi storici e dell'evento.

Il livello più basilico è rappresentato dagli aspetti fisici del disastro. Lo sviluppo delle tecnologie ha consentito da tempo di costruire interamente al computer simulazioni che fino a qualche decennio fa avrebbero imposto il ricorso a un modello fisico-idraulico. Nel 2013 è stata pubblicata una modellizzazione numerica dell'ondata del Vajont (Vacondio et al. 2013). La simulazione rende visi-

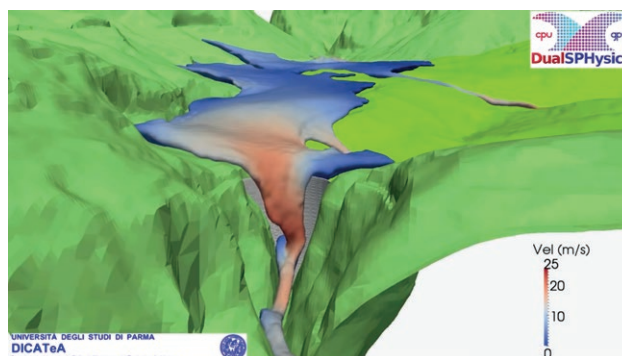


Figura 6. Una fase del movimento dell'ondata del Vajont a seguito della frana. Fonte: Vacondio et al. 2013.

bile il movimento dell'acqua sui versanti, i costoni, le valli (Fig. 6).

Benché del tutto priva di immersività, la rappresentazione⁶ permette a tecnici e profani, con analogha immediatezza – pur nella ovvia disparità di conoscenze – di comprendere come si sia mossa l'ondata e perché abbia potuto arrecare tanta distruzione.

L'utilità di questo lavoro, dal punto di vista geografico, è dimostrata dalle discordanti e spesso approssimative descrizioni delle dinamiche dell'ondata, in gran parte della letteratura storica e geografica sul disastro.

Un secondo livello di complessità nei quesiti circa la storia del Vajont può essere legato a come apparissero, in effetti, i luoghi *prima* della loro distruzione. Con riferimento al capoluogo di Longarone e alle frazioni maggiormente colpite, un dato familiare a chi si sia occupato del disastro è il vero e proprio annientamento subito dalle strutture materiali (Zangrando 1988, 51). La

⁶ https://www.youtube.com/watch?v=NK2T_ICe8v8

Longarone ricostruita, in massima parte, negli anni '70 e '80, sino agli ultimi interventi nei primi anni Duemila, fu un cantiere per sperimentazioni architettoniche e urbanistiche. La risultante è un insediamento che, pur occupando l'area di quello scomparso, non vi somiglia in pressoché nulla. Eppure, la vecchia Longarone era un centro storico di pregio nella sua categoria, con impianti, stili architettonici, caratteristiche funzionali assimilabili a quelli di una piccola ma riconosciuta "località centrale" fra le valli del circondario (Zangrando 1988, 52).

Questa trasformazione tanto radicale e traumatica fu forse uno dei fattori alla base di quella discrepanza nel senso di appartenenza ai luoghi che per decenni crebbe fra superstiti della vecchia Longarone e nuovi abitanti della cittadina ricostruita.

Al giorno d'oggi alcuni lembi periferici del paese conservano sezioni del vecchio abitato. In questi spazi si può avvertire non solo un netto salto ontologico fra la Longarone scomparsa e quella attuale; ma non è difficile anche intuire quella che è stata, inevitabilmente, la trasformazione del *genius loci*.

Una difficoltà che i sopravvissuti della vecchia Longarone hanno trovato nei decenni dopo il disastro è quella di far comprendere a chi non abbia vissuto quel mondo scomparso *come realmente apparisse* il paese e quali sensazioni desse il trovarvisi.

Uno spunto interessante in questo senso – benché limitato per diretta ammissione dell'autore – è offerto dal tour virtuale del centro di Longarone prima del disastro realizzato da Alberto Bidinot nel 2023 (Fig. 7)⁷.

Lo spunto è offrire una ricostruzione virtuale di una piccola area al centro del paese scomparso, per molti anni descritta solo da vecchie fotografie, per lo più in bianco e nero.

Il tour virtuale è realizzato a partire dall'analisi comparativa delle immagini storiche e di altra documentazione; lo scenario non riproduce la tipica scena diurna e in piena luce caratteristica – anche per ragioni tecniche – delle immagini tradizionali, ma una rappresentazione al tramonto, quasi all'imbrunire. Ciò allude, evidentemente, alla possibilità che il visitatore della scena virtuale stia assistendo all'ultimo tramonto di Longarone, mercoledì 9 ottobre 1963. Si creano così anche le condizioni per innescare una particolare suggestione e il desiderio, da parte del fruitore, di comprendere oltre, e meglio, la natura, l'atmosfera dei singoli luoghi e, se possibile, assistere alle scene di vita che vi si svolgevano.

L'utilità potenziale di un progetto del genere è notevole. Essa è attestata, oltre che da richiami sulla stam-



Figura 7. Ricostruzione virtuale della scomparsa c.d. Piazza Margherita di Longarone (BL), vista in direzione nord. Fonte: A. Bidinot. Un video di presentazione del tour virtuale è visibile al link: <https://www.youtube.com/watch?v=MDcj3HR7-gw>; <https://www.facebook.com/watch/?v=499979409001776&ref=sharing>

pa locale⁸, dai commenti di alcuni utenti testimoni dei luoghi scomparsi, riportati sul profilo Facebook del progetto: "Questa è la MIA Longarone. Grazie di cuore!" (Micaela Coletti, sopravvissuta al disastro).

...Mi ha fatto venire un tuffo al cuore perché ci ho passato 12 anni in quella piazza, uno dei miei fratelli si è diplomato in quella scuola, quella piazza l'abbiamo vissuta, e mi sento un po' obbligato come testimone di fare qualche commento (...) Sono nato nel '50 a Roja (Roggia) e (...) nel '51 ci siamo trasferiti nel palazzo delle Zelòte!! Mio padre Vittorio era proto nella tipografia De Mas, che si trovava nel cortile interno del palazzo stesso, e quindi il nostro appartamento comprendeva metà di quella magnifica terrazza! Posso affermare che in quella casina in direzione BL prima di casa Celotta c'era la pesa pubblica; quindi, davanti ci starebbe la piastra del bilancione a terra... La prima porta che vediamo era il negozio del barbiere, il portone centrale altri non era che l'ingresso principale di casa, sempre aperto e in quell'androne ci dormivano tutti i viandanti che scendevano dal nord, a piedi o in bici, i primi villeggianti per la costa adriatica passavano da lì nella stagione delle migrazioni e trovavamo sempre sorprese sgradite e ci facevano di tutto là dentro (...) Di notte passavo dalla parte della tipografia se dovevo uscire per i miei servizi... Un buon chierichetto iniziava servizio alle 6 al mattino e terminava alle 20,00 al tempo etc. e l'ultima porta, quella che dà ad est, verso il Cadore era quella della macelleria...dentro la burèla di

⁷ <https://www.youtube.com/watch?v=MDcj3HR7-gw>

⁸ https://www.ilgazzettino.it/nordest/belluno/longarone_com_era_prima_vajont_ricostruzione_video_3d_60_anni_tragedia_9_ottobre_1963-7363472.html; https://corrieredelveneto.corriere.it/notizie/belluno/cronaca/23_maggio_01/longarone-un-infermiere-fa-rivivere-in-3d-il-paese-distrutto-dal-vajont-ero-partito-da-lego-worlds-poi-sono-cresciuto-9725f9eb-4848-4633-ba69-b2db4b6x1k.shtml; <https://www.pordenonotoday.it/attualita/longarone-vajont-video-ricostruzione-piazza-anni-60.html>

fronte dove hai parcheggiato quella vespa (troppo moderna, ci stava una Vespa, bacchetta o faro basso 48 o una Lambra 125d)... (Mario de Min)⁹

Dall'esempio si ricavano alcune considerazioni. Una ben realizzata presentazione degli spazi scomparsi innescava un obiettivo desiderio di conoscenza in coloro che non li hanno mai visti. Ciò fa inoltre nascere il desiderio, nei testimoni che i luoghi storici hanno invece conosciuto, di raccontare e chiarire non solo l'accuratezza nella riproduzione dei manufatti, ma anche la natura degli stessi come spazio concretamente vissuto. La virtualizzazione diviene perciò, in questo caso, un ponte attraverso il tempo e l'evento storico della distruzione, sul quale i superstiti possono incontrarsi e dialogare con chi non ha conosciuto i luoghi scomparsi ma vuole accostarvisi.

L'esempio proposto consente di svolgere alcune semplici considerazioni. Primo: l'utilità di un prodotto di questo tipo dipende dalla sua capacità di mostrare oggetti e paesaggi come essi *effettivamente erano*. Nel caso discusso questo è sostanzialmente vero, sia pure con alcune imprecisioni minori, su elementi di scarsa importanza. Secondo: le scelte individuali di chi elabora la rappresentazione sono, come sempre, filtri attraverso cui l'opera deve essere considerata. Qui, ad esempio, si trovano simboli che rimandano a una specifica narrazione, quella dei moniti inascoltati della giornalista Tina Merlin¹⁰. Terzo: da ogni rappresentazione sono lasciati fuori, per necessaria ma sempre voluta selezione, dettagli ed elementi. Questa esclusione limita la capacità di resa della realtà. Nel caso discusso, ad esempio, lo "stato d'animo" della rappresentazione è fissato da un accompagnamento musicale che, se incoraggia la riflessione sull'imminente destino di Longarone, non agevola una percezione a prescindere da esso¹¹. Del resto, la produzione di suoni ambientali costituirebbe un "tema a sé", di notevole complessità, della ricostruzione storico-geografica.

Indubbiamente, il *virtual tour* di Longarone realizzato da Bidinot presenta una modalità innovativa e di obiettiva efficacia per aumentare il coinvolgimento e attrarre, più fortemente di altre classiche presentazioni, l'interesse – o almeno la curiosità – verso una più approfondita conoscenza dei luoghi e dei fatti. È utile, infine,

considerare un terzo livello di complessità, in termini di rappresentazione.

È noto che qualche tempo prima del disastro erano visibili chiari segni di una imminente frana dal Monte Toc. Tanto nella Valle Ertana a monte della diga quanto nel Longaronese situato a valle, sussistevano incertezze circa i possibili sviluppi e le misure prudenziali da adottare. La linea di condotta, che l'ENEL (subentrata alla SADE nel 1963) indicava agli enti locali e alla popolazione, prevedeva misure cautelative – poi rivelatesi insufficienti – introdotte le quali ci si sarebbe potuti considerare in condizioni di assoluta sicurezza. Di fronte all'emergere dei segnali di pericolo dall'ambiente naturale e a spinte discordanti tra i comunicati ufficiali e le voci che giungevano nei paesi, la popolazione versava in uno stato di non conoscenza e di incertezza su come regolarsi. Questa discrepanza tra la realtà, la non corretta informazione e l'erronea interpretazione dei segni premonitori, fu alla base della sottostima del pericolo da parte dell'ente gestore e della mancata tutela degli abitanti, come pure dell'incapacità della popolazione stessa di attivarsi spontaneamente per sottrarsi al pericolo. In una vicenda in cui piccole differenze di comportamento o scelte dell'ultimo minuto furono discriminanti tra un destino di vita o di morte, potrebbe essere importante riuscire a trasmettere in modo attivo, a chi non visse mai il disastro, la complessa situazione di incertezza e le conflittualità fra diversi stati d'animo.

Per cercare di sottolineare questo aspetto, è stata recentemente implementata "Vajont VR Experience", sotto la direzione di Iolanda Di Bonaventura, ad opera di Saverio Trapasso per Artheria (Fig. 8). La app è risultata vincitrice, nel 2020, della Biennale cinema college – Virtual reality¹². Vajont VR Experience è interamente ambientata nello spazio di una abitazione che per caratteristiche, paesaggio circostante e arredamento potrebbe essere una casa della Valle Ertana. In questo spazio, plausibilmente riprodotto, è realizzata una esperienza simulata di interazione fra persone. Protagonista è una donna (identificata con l'utente) posta di fronte alla scelta, da negoziare col marito, se lasciare o meno la casa per sottrarsi a un eventuale disastro. Mentre la situazione si sviluppa, oltre alla discussione sulle ragioni pro o contro la permanenza, una serie di segni premonitori – simili ad alcuni che furono effettivamente osservati (crepe sulle pareti, mancanza d'acqua dai rubinetti...) – emergono all'attenzione. Sta all'utente trarne base, in modo utile, per indurre il partner a prendere la decisione di andar via.

⁹ <https://www.facebook.com/allrebricked/videos/longarone-prima-della-tragedia/499979409001776/>

¹⁰ Tina Merlin (1926-1991), partigiana e giornalista dell'Unità, era stata autrice di articoli di denuncia sulla gestione, da parte della SADE, del bacino e dei rischi legati all'innescarsi di frane. Benché ampiamente evidenziato nei decenni dopo la catastrofe, il ruolo storico dell'azione condotta da Merlin e la sua rilevanza prima del disastro sono oggetto di dibattito.

¹¹ Eloquentemente, si tratta di un pezzo intitolato «End will come» di Port Sulphur Band.

¹² <https://www.labiennale.org/it/cinema/2020/venice-vr-expanded/vajont>; <https://vajontvr.com/>; <https://vrgeschichten.de/en/vajont-vr>



Figura 8. Uno screenshot della parte iniziale di Vajont VR Experience. Un'amica si presenta alla porta della protagonista per proporle di lasciare il paese. Fonte: Artheria.

Questo particolare caso di rappresentazione richiama l'attenzione del fruitore non tanto su uno spazio o un evento, né sul contesto di un luogo nel senso di spazio "vivibile" (se non "vissuto"). Si punta, semmai, ad esplorare quelli che poterono essere, in qualche misura, gli stati d'animo, le riflessioni, le considerazioni di alcune persone che vissero il disastro – prima che il disastro avvenisse – nel loro contesto socioculturale. La narrazione che se ne sviluppa, naturalmente, riflette un punto di vista specifico che non esaurisce l'ampia, possibile casistica ma che può favorire ugualmente una riflessione.

5. Conclusioni

Questo scritto ha tentato di offrire spunti di riflessione verso possibili risposte alle domande di ricerca poste inizialmente, in una prospettiva teorica.

La risposta alla prima domanda è in larga misura affermativa. Emerge infatti tanto dalla letteratura considerata quanto dalle esperienze condotte dal nostro gruppo di laboratorio che attraverso tecnologie di simulazione VR e AR si possano costruire rappresentazioni che producano utili ed obiettive forme di conoscenza geografica altrimenti difficili da conseguire. VR ed AR consentono di definire spazi virtuali dimensionalmente coerenti, sensorialmente descrittivi e potenzialmente idonei, nelle varie forme consentite dalle tecnologie disponibili, a innescare nell'utente un senso di presenza nei luoghi e negli eventi rappresentati. Questo risultato può ottenersi con esiti maggiormente positivi, rispettivamente in VR, qualora l'implementazione consenta almeno un certo grado di immersività e in AR, quando la visualizzazione sia vincolata ad un sito reale che bisogna raggiungere.

Il senso di presenza si può in quest'ultimo caso suscitare attraverso rappresentazioni che mostrino quel luogo in una situazione passata o futura.

In entrambe le modalità, VR e AR, sono critiche la correttezza di progetto e l'accuratezza della costruzione, nonché il fatto che le rappresentazioni siano fondamentalmente convincenti, al fine di mantenere la "sospensione dell'incredulità".

Queste conclusioni non pretendono di esaurire la casistica in un mondo di tecnologie ed applicazioni in continuo mutamento, ma consentono di affermare che, negli ambiti sopra descritti, la risposta alla domanda di ricerca è senza dubbio positiva.

Per quanto riguarda la seconda domanda, l'esame della letteratura considerata e le esperienze di laboratorio condotte concorrono a dare una risposta parzialmente affermativa. Proporre livelli crescenti di comprensione e di consapevolezza circa la prospettiva del vissuto in luoghi ed eventi inaccessibili o non riproducibili in concreto infatti è un obiettivo di maggior ambizione. Le tecnologie disponibili consentono di integrare un complesso di rappresentazioni fortemente multimodali. Da esse emerge la concreta possibilità di "raccontare" luoghi e situazioni irraggiungibili, sia in forma puramente materiale, fisica, metrica e quantitativa sia, a crescenti livelli di complessità, in modo utile a suscitare un coinvolgimento intellettuale, emozionale ed innescare una rappresentazione esperienziale di elevata qualità. A fronte di questo potenziale di resa, tuttavia, si espande il campo delle variabili che entrano in gioco e che gli sviluppatori devono prendere in carico quando tentano di realizzare una costruzione accurata dei luoghi e delle situazioni. Se è oggi di relativa facilità rappresentare virtualmente uno spazio non raggiungibile per renderlo esplorabile in mera chiave materiale, riuscire a riprodurne, sia pure solo in parte, il *genius loci* e la natura simbolica attraverso adeguate narrazioni e processi di interazione è un impegno i cui esiti sembrano esposti a più grandi margini di incertezza. L'operazione, tuttavia, in alcuni casi e nei limiti di alcune forme di ricostruzione, appare fattibile.

Queste pagine hanno avuto come unico scopo il proporre una riflessione sulla possibilità, per alcuni geografi – soprattutto quelli interessati alle applicazioni umanistiche – di avvalersi di nuovi strumenti – già ben sviluppati in altri campi della ricerca scientifica, della didattica e della divulgazione – al fine di adattarli alla propria disciplina.

Gli odierni sistemi di simulazione e virtualizzazione, se utilmente compresi e utilizzati dal geografo secondo i propri canoni epistemologici e metodologici, rendono possibile progettare, costruire ed erogare rap-

presentazioni coerenti con quelle classiche, ma capaci di maggiore impatto sensoriale, emozionale, esperienziale. Rispetto ai GIS tradizionali, dunque, non si tratta tanto di un cambio di paradigma concettuale nel modo come dati e informazioni sono scelti e organizzati, quanto piuttosto di un cambio di paradigma nei modi e nelle finalità con cui essi vengono elaborati e diffusi. Solo alcune delle molte branche della geografia potrebbero, nel breve e medio termine, trovare vantaggioso produrre e veicolare informazione attraverso questi strumenti: tuttavia la possibilità esiste, e in queste pagine si è cercato di mettere in evidenza in che termini ciò possa essere di utile innovazione.

Le nuove rappresentazioni dovrebbero essere costruite con rigore scientifico e massimo sforzo di coerenza al reale, in modo da dare all'utente un "di più" di conoscenza geografica che sarebbe, altrimenti, impossibile da conseguire. Ciò comporta, è facile da intuire, un lavoro assai più arduo e complesso di quello necessario a molte rappresentazioni tradizionali. Esso coinvolge un insieme di variabili che, nei casi più sfidanti, dovrebbe andare al di là del materiale e di una "geosemiotica di base" ricavabile dai semplici spazi fisici ricostruiti. La riproduzione e la comunicazione corretta delle atmosfere di uno spazio vissuto, la fedele ricostruzione di un *genius loci*, obiettivo che i geografi del passato perseguivano indicando l'aggregazione di documenti eterogenei, potrebbe oggi essere conseguita in ambienti virtuali in cui sia possibile comporre una multimedia che mimi, in modo più o meno efficace, una parte del *continuum* e della complessità dei veri spazi (Landi 2018; Münster et al. 2019, 814-815). Interessanti e foriere di utile conoscenza sono a nostro giudizio, più che le rappresentazioni sostitutive di contesti alla portata del "visitatore", soprattutto quelle che consentano a chiunque di *entrare*, in qualche modo, in luoghi irraggiungibili. L'auspicio è che le considerazioni offerte abbiano potuto dare qualche spunto in questa direzione.

Riferimenti bibliografici

- Asiminidis, C. (2023). Augmented and Virtual Reality: Extensive Review. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 10(4), 11-20.
- Aytaş, M., Can, A. (2022). From real spaces to virtual spaces: The metaverse and decentralized cinema. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 3 (Special Issue), 49-59. DOI: <https://doi.org/10.47818/DRArch.2022.v3si070>
- Baldacci, O. (1974). *Geografia Generale*. Torino, UTET.
- Banks, C.M. (2009). What is Modeling and Simulation? In Sokolowski, J., Banks, C.M. (eds.). *Principles of Modeling and Simulation. A multidisciplinary approach*. Hoboken, John Wiley & Sons, Inc, 3-24.
- Bencivenga, A., Percoco, A. (2023). Ambienti digitali e processi educativi. Esperienze di educazione al patrimonio archeologico. In Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici ("Memorie Geografiche", N.S. 22), 539-544.
- Bech, S., De Moor Wouter Durnez, K., Egger-Lampl, S., Naderi, B., Raake, A., Rajesh Agrawal, S., Schmidt, S. (2020). Survey of Definitions of Immersion and Presence. In Perkiş, A. et al. *QUALINET White Paper on Definitions of Immersive Media Experience (IMEx)*. European Network on Quality of Experience in Multimedia Systems and Services, 14th QUALINET meeting (online), May 25, 2020. <https://arxiv.org/abs/2007.07032>
- Bronzino, G., De Chiaro, M., Guerreschi, P. (2023). Comunicare un territorio di margine: rappresentazioni immersive e studi per la Val Maira (Cuneo). In Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici, ("Memorie Geografiche", N.S. 22), 529-538.
- Brundu, B. (2013). "Neogeography" e virtualizzazione del territorio. Un caso di studio. *Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia*, 147, 67-78.
- Bos, D., Miller, S., Bull, E. (2021). Using virtual reality (VR) for teaching and learning in geography: fieldwork, analytical skills, and employability. *Journal of Geography in Higher Education*, 46(3), 479-488. DOI: <https://doi.org/10.1080/03098265.2021.1901867>
- Carbone, L. (2009). Spazio e tempo della virtualità. In Corna Pellegrini, G., Paradiso, M., (a cura di). *Nuove comunicazioni globali e nuove geografie*. Milano, CUEM, 61-78.
- Carbone, L. (2023). Digital storytelling e gamification. Gli elementi della valorizzazione del bene culturale. In Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici, ("Memorie Geografiche", N.S. 22), 545-549.
- Chang, E., Kim, H.T. e Yoo, B. (2020). Virtual reality sickness: a review of causes and measurements. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 36(17), 1658-1682. DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2020.1778351>

- Côrtés Maduro, D. (2018). Choice and Disbelief: revisiting immersion and interactivity. In Côrtés Maduro, D. (a cura di). *Digital Media and Textuality*. Bielefeld, Transcript Verlag.
- Daniele, M. (2023). Una finestra aperta sul paesaggio. L'utilizzo di immagini immersive a 360° nell'analisi del paesaggio. *Ambiente Società Territorio*, 23(1), 14-17.
- Davidson, K.J. (2022). *Semiotic Modelling of Identity and Communication in Virtual Reality, Augmented Reality, and Mixed Reality*. Tartu, University of Tartu Press.
- De Marchi, M., Piovan, S., Pappalardo, S.E. (a cura di, 2023). Atti del XXXIII Congresso Geografico Italiano. Geografia in Movimento. Padova 8-13 settembre 2021: *Strumenti, Tecnologie, Dati. GIS, luoghi, sensori, attori*. Padova, CLEUP.
- Di Gioia A. (2023). Metodologie sistemiche per l'human learning nella didattica della geografia: dagli strumenti GIS alla realtà aumentata. In M. Lazzeroni, M. Morazzoni, P. Zamperlin (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici, ("Memorie Geografiche", N.S. 22), 661-670.
- Dozio, N., Maggioni, E., Pittera, D., Gallace, A., Obriest, M. (2021). May I smell your attention: exploration of smell and sound for visuospatial attention in virtual reality. *Frontiers in psychology*, 12, 671470. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.671470>
- Gallo, A. (2023). Virtual Geographic Environment e il patrimonio industriale. Una proposta e un'applicazione per la ferriera di Trieste. In Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici, ("Memorie Geografiche", N.S. 22), 517-527.
- Garcia-Ruiz, M.A. (2023). Exploring smell, wind and heat stimuli in a virtual beach to support students' wellbeing. In Schmidt, A., Väänänen, K., Kristensson, P. et al. (eds.). *Proceedings of ACM CHI 2023, Workshop on Smell, Taste and Temperature Interfaces*. Hamburg, April 23-28, 2023. New York, Association for Computing Machinery.
- Gopal Singla, J. (2021). Virtual reality based novel use case in remote sensing and GIS. *Current Science*, 121 (7), 958-961. DOI: <https://doi.org/10.18520/cs/v121/i7/958-961>.
- Hudson-Smith, A., Crooks, A. (2008). The renaissance of geographic information: neogeography, gaming and second life. *UCL Working Paper Series*, 142(8), 1-16.
- Ippoliti, E., Meschini, A., Moscati, A., Rossi, D. (2012). Interfacce e tecnologie visual 3D per conoscere, condire e valorizzare il patrimonio culturale. *DISEGNARE CON...* 5(10), 45-54. DOI: <https://doi.org/10.6092/issn.1828-5961/3294>
- Kang, D., Lee, C.-G., Kwon, O. (2023). Pneumatic and acoustic suit: multimodal haptic suit for enhanced virtual reality simulation. *Virtual Reality*, 27, 1647-1669. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-023-00756-5>
- Koklu, N., Sulak, S.A. (2021). World Geography with Augmented Reality. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, 29(1), 94-108. DOI: <https://doi.org/10.52155/ijpsat.v29.1.3594>
- Kuna, P., Hašková, A., Borza, L. (2023). Creation of Virtual Reality for Education Purposes. *Sustainability*, 15(9), 7153. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15097153>
- Landi, F. (2018). Utilità dei Virtual Geographic Environments nella ricostruzione e valorizzazione dei paesaggi culturali. In Scanu, G. (a cura di). *Conoscere per rappresentare. Temi di cartografia e approcci metodologici*. Trieste, Edizioni Università di Trieste, 299-312.
- Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di, 2023). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici ("Memorie Geografiche", N.S., 22).
- Lee, E. A.-L., Wong, K.W. (2014). Learning with desktop virtual reality: low spatial ability learners are positively affected. *Computers & Education*, 79, 49-58.
- Lee, D.M. (2023). The Potential and Merits of Narrative-Based Virtual Fieldwork in Preservice Geography Teacher Education. *Education Science*, 13(3), 259. DOI: <https://doi.org/10.3390/educsci13030259>
- Liu, Y. (2023). Analysis of Stoj Methods in VR Virtual Reality. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 39, 395-407. DOI: <https://doi.org/10.54097/hset.v39i.6559>
- Lie, S.S., Røykenes, K., Sæheim, A., Synne Groven, K. (2023). Developing a Virtual Reality Educational Tool to Stimulate Emotions for Learning: Focus Group Study. *JMIR Formative Research*, 7, e41829. DOI: <https://doi.org/10.2196/41829>
- Lobo, M. J., Christophe, S. (2020). Opportunities and challenges for Augmented Reality situated geographical visualization. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 163-170.
- Mauro, G., Paradiso, M., Palmentieri, S., Pellicano, A., Ronza, M. (2023). Cultural heritage, sperimentazioni di realtà immersive, virtual geographic environments: modelli e modalità. In Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasforma-*

zioni, rappresentazioni. Firenze, Società di Studi Geografici ("Memorie Geografiche", N.S. 22), 513-515.

Minucciani, V., Garnero, G. (2017). *When the cultural heritage can not be physically visited*. Relazione presentata al XV Forum Internazionale World Heritage and Disaster. Knowledge, Culture and Representation, Napoli 15 – Capri 16, 17 giugno 2017.

Münster, S., Apollonio, F.I., Bell, P., Kuroczynski, P., Di Lenardo, I., Rinaudo, F., Tamborrino, R. (2019). Digital Cultural Heritage meets Digital Humanities. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(2), W15, 813-820.

Nevola, F., Coles, T., Mosconi, C. (2022). Hidden Florence revealed? Critical insights from the operation of an augmented reality app in a World Heritage City. *Journal of Heritage Tourism*, 17(4), 371-390. DOI: <https://doi.org/10.1080/1743873X.2022.2036165>

Noto, M. (2023). Analisi e dinamiche fotogrammetriche dei percorsi urbani gamificati. In Lazzeroni, M., Morazzoni, M., Zamperlin, P. (a cura di). *Geografia e tecnologia: transizioni, trasformazioni, rappresentazioni*. Firenze, Società di Studi Geografici ("Memorie geografiche", N.S. 22), 573-579

Özdemir, D., Ozturk, F. (2022). The Investigation of Mobile Virtual Reality Application Instructional Content in Geography Education: Academic Achievement, Presence and Student Interaction. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 38(16), 1487-1503. DOI: <https://doi.org/10.1080/10447318.2022.2045070>

Pagano, A., Pietroni, E., Cerato, I. (2017). User experience evaluation of immersive virtual contexts: the case of the virtual museum of the Tiber Valley project. *Proceedings, 9th International Conference on Education and New Learning Technologies EDULEARN17*, Barcellona, Spagna, 3-5 luglio 2017. Valencia, IATED, 3373-3384. DOI: <https://doi.org/10.21125/edulearn.2017>

Pallavicini, F., Pepe, A., Minissi, M.E. (2019). Gaming in virtual reality: what changes in terms of usability, emotional response, and sense of presence compared to non-immersive video games? *Simulation & Gaming* 50(2), 136-159. DOI: <https://doi.org/10.1177/1046878119831420>

Pescarin, S. (a cura di, 2020). *Videogames, ricerca, patrimonio culturale*. Milano, FrancoAngeli.

Primi, A. (2017). Realtà aumentata per il turismo: da nuova tecnologia a strategia innovativa? *Bollettino dell'Associazione Italiana di Cartografia*, 159, 4-23. DOI: <https://doi.org/10.13137/2282-572X/14920>

Roelofsen, M., Carter-White, R. (2021). Virtual reality as a spatial prompt in geography learning and teaching. *Geographical Research*, 60, 625-636. DOI: <https://doi.org/10.1111/1745-5871.12551>

Roettl, J., Terlutter, R., (2018). The same video game in 2D, 3D or virtual reality – How does technology impact game evalua and brand placements? *PLoS ONE*, 13(7). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0200724>

Sacchet, A. (2003). *Vajont. La diga*. Longarone, Associazione Pro Loco Longarone.

Sedlák, M., Šašinka, Č., Stachoň, Z., Chmelík, J., Doležal, M. (2022). Collaborative and individual learning of geography in immersive virtual reality: An effectiveness study. *PLoS ONE*, 17(10). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0276267>

Shen, Y., Wang, Z., Li, M., Yuan, J., Gu, Y. (2022). An Empirical Study of Geography Learning on Students' Emotions and Motivation in Immersive Virtual Reality. *Frontiers in Education* 7. DOI: <https://doi.org/10.3389/educ.2022.831619>

Shu, Y., Huang, Y.Z., Chang, S.H., Chen, M.Y. (2019). Do virtual reality head-mounted displays make a difference? A comparison of presence and self-efficacy between head-mounted displays and desktop computer-facilitated virtual environments. *Virtual Reality*, 23(3), 437-446. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10055-018-0376-x>

Slater, M. (2018). Immersion and the illusion of presence in virtual reality. *British Journal of Psychology*, 109, 431-433. DOI: <https://doi.org/10.1111/bjop.12305>

Stojić, I., Ivkov Džigurski, A., Maričić, O., Ivanović Bibić, L., Đukićin Vučković, S. (2016). Possible Application of Virtual Reality in Geography Teaching. *Journal of Subject Didactics*, 1(2), 83-96. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.438169>.

Theodorou, A., Romano, L., Bratman, G.N., Carbone G.A., Rodelli, R., Casagrande, G., Panno, A. (2023). Different types of virtual natural environments enhance subjective vitality through restorativeness. *Journal of Environmental Psychology*, 87, 101981. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2023.101981>

Tuan, Y-F. (2001). *Space and place. The perspective of experience*. Minneapolis, University of Minnesota Press.

Vacondio, R., Mignosa, P., Pagani, S. (2013). 3D SPH numerical simulation of the wave generated by the Vajont rockslide. *Advances in Water Resources*, 59, 146-156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2013.06.009>

Vallega, A. (2004). *Le grammatiche della geografia*. Bologna, Pàtron.

Weppo, B.E., da Costa Machado Timmers, J. (2020). Pensando a geografia e seu ensino a partir de produções de realidade virtual. *Revista Verde Grande. Geografia e Interdisciplinaridade*, 2(2), 56-69. DOI: <https://doi.org/10.46551/rvg26752395202025669>

Wilkinson, M., Brantley, S., Feng, J. (2021). A Mini Review of Presence and Immersion in Virtual Reality. *Proceedings of the 2021 HFES 65th International Annual Meeting, Human Factors and Ergonomics Society*, 66(1), 1099-1103. DOI: <https://doi.org/10.1177/1071181321651148>

Yung, R., Khoo-Lattimore, C. (2019). New realities: A systematic literature review on virtual reality and augmented reality in tourism research. *Current Issues in Tourism*, 22(17), 2056-2081.

Zangrando, F. (1988). *Vajont. L'acqua e la terra*. Longarone, Associazione Pro Loco e Comune di Longarone.