



L'Integrazione di Strati Informativi Geospaziali 3D per la Condivisione in Rete Utilizzando Soluzioni Opensource

Opensource Solutions for Sharing Integrated 3D Geospatial Layers on the Web

Marcello La Guardia ^a

^a Dipartimento di Ingegneria, Università degli Studi di Messina, 98158, Sant'Agata, Messina, Italy;
marcello.laguardia@unime.it

Parole Chiave: WebGIS, Database, WebGL, modellazione 3D, IoT, Digital Twins

Keywords: WebGIS, Database, WebGL, 3D modelling, IoT, Digital Twins

Riassunto

L'utilizzo sempre maggiore di dataset geospaziali complessi risulta ormai essere una costante in numerosi campi applicativi. Ai fini dello sfruttamento ottimale di questi dati, la loro integrazione in ambiente geospaziale risulta necessaria per l'analisi e le elaborazioni successive. Nascono così i Digital Twin urbani, ovvero gemelli digitali a scala urbana connessi real-time al modello reale, e visualizzabili attraverso piattaforme WebGIS. Allo stesso modo la complessità, la dimensione e l'eterogeneità di questi dati ne complica la gestione, e, in particolare, la condivisione in rete. Alla luce di tali problematiche, il presente contributo analizza la strutturazione di un sistema integrato per la visualizzazione, l'analisi e l'elaborazione in rete di dataset 3D complessi, attraverso l'esclusiva implementazione di tecnologia open-source. Questo tipo di sistema è in grado di caricare mappe georiferite, modelli 3D, nuvole di punti, dati provenienti dalla sensoristica, database, e sistemi di calcolo in tempo reale. La scelta esclusiva di soluzioni open-source mira a prediligere soluzioni sostenibili ai fini della ricerca e della condivisione libera delle tecnologie sviluppate. Rispetto l'utilizzo di software proprietari, l'estrapolazione ed elaborazione di dati attraverso tecnologia open-source necessita competenze di scripting nei linguaggi html, JavaScript, Python, PHP e CSS. In futuro, nuove implementazioni di Machine Learning all'interno di queste piattaforme, potranno fornire nuove possibilità di integrare in tempo reale le elaborazioni provenienti dall'intelligenza artificiale, potenziandone ulteriormente le possibilità di utilizzo.

Abstract

The ever-increasing use of complex geospatial datasets is now a constant in many application fields. For the purposes of optimal exploitation of these data, their integration in a geospatial environment is necessary for the analysis and processing of the datasets. This is how urban Digital Twins are born, i.e. urban-scale digital twins real-time connected to the real model, and viewable through the WebGIS platform. Likewise, the complexity, size and heterogeneity of this data makes its management, and its web sharing online complex. In light of this, this contribution analyzes the structuring of an integrated system for the visualization, analysis and network processing of complex 3D datasets, through the exclusive implementation of open-source technology. This type of system is capable of uploading georeferenced maps, 3D models, point clouds, data from sensors, databases, and real-time calculation systems. The exclusive choice of open-source solutions aims to favor sustainable solutions for the purposes of research and free sharing of the developed technologies. Compared to proprietary solutions, open-source solutions require scripting skills in HTML, JavaScript, Python, PHP and CSS languages. In the future, new implementations of Machine Learning within these platforms will give the possibility of integrating the processing coming from artificial intelligence in real time, further enhancing the possibilities of use.

1. Introduzione

Lo sviluppo di connessioni di rete sempre più performanti ha dato la possibilità negli ultimi anni di condividere in rete dataset sempre più complessi e dimensionalmente notevoli. La possibilità di condividere in rete i Big Data e la velocità con la quale scambiare questo tipo di informazioni rappresenta ancora una sfida in molti settori applicativi, poiché se da un lato le connessioni sono sempre più performanti, dall'altro lato aumenta la mole di dati da gestire (Sagiroglu et al., 2013). Nel campo della Geomatica, ad esempio, l'utilizzo diffuso di un elevato numero di immagini ad alta risoluzione per ricostruire fotogrammetricamente aree complesse, o ancora di più, l'utilizzo di strumentazioni Laser Scanner per l'acquisizione di nuvole di punti ad alta densità, ha rivoluzionato e aperto nuove strade nel campo del rilievo, ma allo stesso tempo moltiplicato la dimensione dei dataset per la gestione di questi dati (Pirotti et al., 2022). Nuvole di punti, modelli 3D texturizzati ad alta risoluzione, modelli BIM (Building Information Modelling) parametrici, sono ormai tipologie di dataset 3D di elevata

complessità, la cui condivisione in rete risulta tutt'oggi una sfida (Arico et al., 2023; La Guardia and Koeva, 2023; Zhan et al., 2021).

Allo stesso modo, i SIT (Sistemi Informativi Territoriali) inizialmente sviluppati all'interno di software locali, nell'ultimo ventennio sono diventati uno strumento fondamentale per la gestione di dataset geospaziali complessi in rete, associando informazioni geometriche georiferite con informazioni semantiche caricate all'interno di server ed accessibili in remoto (Brovelli and Negretti, 2006; Van Oostrom et al., 2002). Lo sviluppo di piattaforme GIS accessibili in rete, ovvero i WebGIS, ha dato la possibilità di gestire dati geospaziali in rete in svariati campi di applicazione che riguardassero lo studio del territorio, ovvero trasporti (Santoso et al., 2019), monitoraggio dell'inquinamento atmosferico (Yakubailik et al., 2018), telerilevamento (Piragnolo et al., 2021), analisi energetica degli edifici (Amado et al., 2018), fruizione di beni culturali (Scianna et al., 2021) ecc.

All'interno di questo scenario, il recente sviluppo e diffusione della sensoristica e, in particolare, della strumentazione IoT

(Internet of Things) hanno fornito un valore aggiunto fondamentale nello sviluppo dei SIT, offrendo la possibilità di reperire, analizzare ed elaborare dati in tempo reale in rete all'interno di piattaforme WebGIS (Congiu et al., 2023). L'analisi in tempo reale ha permesso di sviluppare dei gemelli digitali territoriali (Digital Twins), che non fossero dei semplici strumenti di visualizzazione e condivisione di dati. Infatti, il concetto del Digital Twin, inizialmente maturato nell'ambito industriale dell'ingegneria dell'automazione, si basa sulla creazione di una replica digitale di un modello esistente collegata in tempo reale con il suo gemello reale ai fini della sua analisi e suo controllo (Singh et al., 2021). Il recente sviluppo dei Digital Twin a scala urbana, quindi, ha permesso di analizzare ed eseguire elaborazioni in tempo reale all'interno del SIT (Weil et al., 2023). Nascono così i City Information Models (CIM) (Xue et al., 2021). In alcuni casi, lo sviluppo di sistemi WebGIS partecipativi pubblici (Public Participatory GIS), ha permesso, inoltre, di acquisire direttamente i dati inseriti dai cittadini, in maniera da ottenere con facilità grandi quantità di dati ad ampia diffusione (Radil and Jiao, 2015). Il rovescio della medaglia nell'utilizzo di questi sistemi partecipativi è la non semplice verifica dell'attendibilità dei dati acquisiti e la difficile risoluzione delle problematiche riguardanti la privacy (Hasanzadeh et al., 2020).

Alla luce di quanto detto sopra, la gestione del territorio richiede oggi l'integrazione di dataset complessi di molteplice provenienza (attività di rilievo, informazioni dei cittadini, sensoristica, etc) attraverso l'utilizzo di piattaforme accessibili in rete e dove sia possibile visualizzare ed analizzare il dato nel suo contesto geospaziale. La molteplicità e le grandi dimensioni dei dataset sovrapposti rendono complessa la gestione e l'integrazione di questi dati, considerando che tali piattaforme sono finalizzate non esclusivamente alla visualizzazione ma anche all'analisi ed all'elaborazione dei dati in ingresso. Allo stesso modo, il bisogno di integrare dati geospaziali complessi è un'esigenza in grande crescita in diversi settori della ricerca e dell'industria. All'interno di questo scenario, lo sviluppo di soluzioni opensource per la gestione di questi dataset geospaziali rappresenta un'opportunità per garantire uno sviluppo tecnologico sostenibile, garantito anche dallo sviluppo di standard liberi da parte dell'Open Geospatial Consortium (OGC). Tale politica si allinea perfettamente con lo sviluppo della sensoristica IoT, che ha dato la possibilità negli ultimi anni di sperimentare reti di sensori complesse utilizzando tecnologia a basso costo (Coetzee et al., 2020).

L'oggetto di questo contributo di ricerca analizza la composizione della struttura di un sistema geospaziale 3D informativo integrato, con particolare riferimento ad esempi di tecnologia open-source. Tale tipo di struttura permette l'analisi e l'elaborazione in tempo reale di dataset geospaziali complessi e rappresenta ad oggi uno strumento fondamentale in molteplici campi di applicazione. Nel prossimo paragrafo sarà analizzato il framework del sistema, considerando le relazioni tra le componenti e la loro composizione. Successivamente verranno considerati i risultati portati da questo tipo di tecnologia, analizzando i punti di forza e le sfide ancora da affrontare in questo campo. Infine, le conclusioni con riferimento ai possibili futuri sviluppi di queste tecnologie.

2. Materiali E Metodi

Un sistema informativo geospaziale 3D accessibile in rete presenta una struttura generale, alla quale possono essere affiancati e collegati differenti moduli che implementano ulteriori funzioni della piattaforma. Come anticipato precedentemente, questo contributo si sofferma sull'implementazione di soluzioni opensource per lo sviluppo

del sistema. La struttura generale di questi sistemi deve essere ospitata all'interno di un Server, ad esempio Apache (disponibile gratuitamente), che ne permetta l'accesso locale ed in remoto (Figura 1).

Struttura generale



Figura 1. Struttura generale del sistema informativo.

Un sistema di questo tipo è gestito integrando pagine sviluppate in ambiente .html con librerie JavaScript open-source che permettono la creazione di un ambiente 3D georiferito, basato su un modello virtuale tridimensionale della superficie terrestre. La recente diffusione di questi sistemi di visualizzazione sviluppati attraverso l'utilizzo di tecnologia WebGL, basata su standard HTML5, ha permesso agli utenti di utilizzare questi sistemi di navigazione 3D georiferiti all'interno delle pagine web senza bisogno di installare applicazioni specifiche. Questo tipo di sistema si avvale della presenza Tiles 3D, generati in tempo reale, necessari per snellire il caricamento della piattaforma e rendere più performante la navigazione. All'interno di questi sistemi è possibile caricare, inoltre, differenti layers all'interno della pagina web per la visualizzazione di mappe accessibili in remoto da server open. Tale modello può essere editato all'interno del codice html, con la possibilità di implementare servizi Web Map Services (WMS), in maniera da accedere a strati informativi originariamente di natura raster e vettoriale.

Questa struttura generale, come accennato in precedenza, può essere arricchita attraverso l'inserimento di moduli da implementare all'interno della piattaforma (Figura 2), che saranno di seguito descritti.

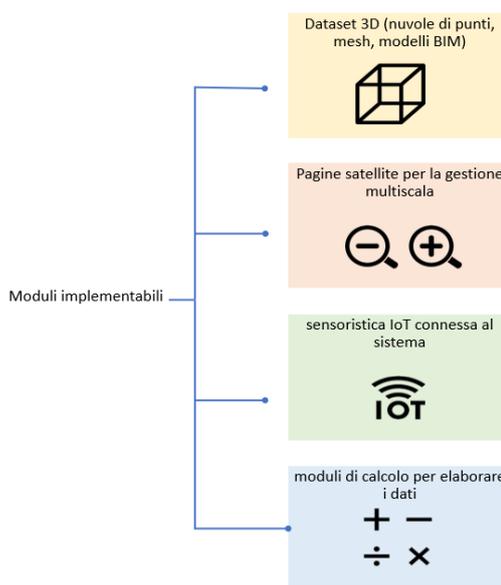


Figura 2. Moduli implementabili nella piattaforma.

2.1 L'integrazione di dataset 3D

All'interno di questi sistemi è possibile caricare dataset 3D complessi come, ad esempio, nuvole di punti o mesh di poligoni texturizzate. Il caricamento di modelli 3D può essere considerato, quindi, un modulo implementabile nella piattaforma 3D (Figura 3). È possibile, infatti, inserire all'interno della piattaforma i risultati di una campagna di rilevamento provenienti da laser scanner o ricostruzione fotogrammetrica, con l'obiettivo di condividere e visualizzare in rete i modelli 3D all'interno dell'ambiente geospaziale. Per ottenere questo risultato è necessario caricare i modelli stessi all'interno del server e richiamarli all'interno della pagina .html attraverso l'inserimento di apposite stringhe JavaScript. La dimensione dei modelli da poter condividere è limitata dalle capacità del browser, visto che la tecnologia WebGL limita la dimensione dei contenuti geometrici all'interno di ogni singola pagina web. Maggiore è la dimensione dei modelli da visualizzare, maggiore è il rallentamento della visualizzazione in rete, con il rischio di bloccare la pagina web. Le digitalizzazioni da condividere in rete, devono essere, quindi, opportunamente discretizzate in termini di riduzione di numero di punti (considerando nuvole di punti) e numero di poligoni (considerando mesh 3D).

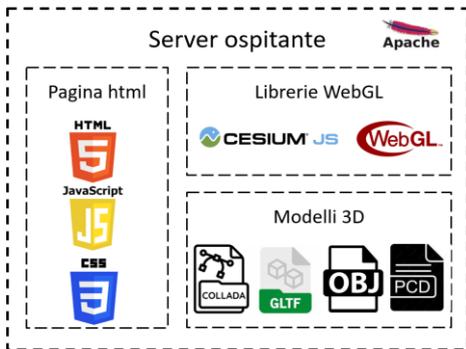


Figura 3. La composizione di un modulo per il caricamento di dataset 3D all'interno di un server, finalizzato alla sua visualizzazione in rete.

2.2 L'inserimento di pagine satellite per la visualizzazione multiscala

La limitazione relativa al numero di modelli 3D da visualizzare nella stessa pagina .html può essere superata collegando la pagina principale a delle pagine satellite, che rendano possibile la visualizzazione di ciascun modello 3D ad un maggiore livello di dettaglio. In questa maniera è possibile ottenere un sistema multiscala di visualizzazione, che rappresenta un ulteriore modulo implementabile nella piattaforma (Figura 4). Operativamente è necessario inserire un sistema di elementi pop-up all'interno della pagina principale che permettano la connessione con le pagine satellite tramite link, attraverso sempre l'implementazione di stringhe JavaScript. Le pagine satellite possono essere sviluppate utilizzando sempre la tecnologia WebGL, con la possibilità variare la tipologia delle librerie JavaScript implementate. Ad esempio, se la pagina principale è sviluppata utilizzando le librerie open source di Cesium.js, che permette la navigazione generale in un ambiente WebGIS 3D, le pagine satelliti, dove si visualizza il modello ad una scala di dettaglio, possono essere sviluppate utilizzando le librerie open source di Three.js. L'utilizzo di librerie differenti risulta in alcuni casi necessario perché le possibilità offerte da ogni libreria sono diverse, e per ogni scala di visualizzazione può essere opportuno l'utilizzo di una determinata libreria rispetto ad un'altra. L'utilizzo di librerie Three.js offre la

possibilità, ad esempio, di caricare il modello BIM, ed offre la possibilità di caricare diverse tipologie di modelli 3D.

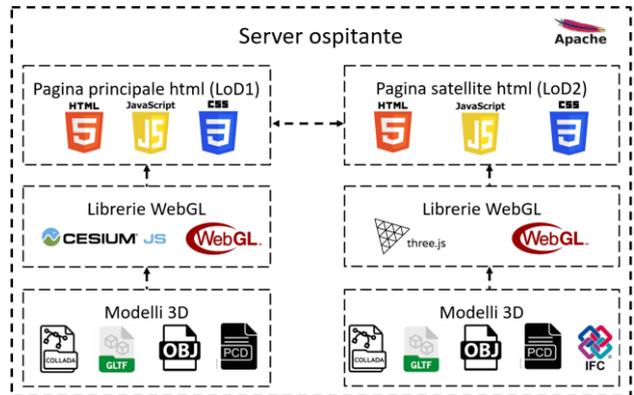


Figura 4. La composizione di un modulo per la gestione multiscala della visualizzazione in rete di dataset 3D.

2.3 L'integrazione di dati provenienti da reti di sensori

Come affermato in precedenza, negli ultimi anni lo sviluppo tecnologico nell'ambito della sensoristica, ed in particolare lo sviluppo della tecnologia IoT ha facilitato l'acquisizione in tempo reale da parte di reti di sensori di diversa provenienza. L'acquisizione di dati provenienti da questi sistemi rappresenta un ulteriore modulo da integrare nel sistema informativo geospaziale 3D, e, inoltre, rappresenta il tassello fondamentale per lo sviluppo di un Digital Twin a scala urbana (Figura 5). I dati acquisiti si possono dividere in base alla diversa tipologia di gestione in dati storici e dati in tempo reale. I primi vengono inseriti di volta in volta in un database relazionale che li registra man mano vengono acquisiti. Questi dati possono essere integrati nella visualizzazione della pagina implementando delle apposite stringhe JavaScript che ne permettano il collegamento. Per quanto riguarda, invece, i dati in tempo reale, essi possono essere richiamati e visualizzati istantaneamente attraverso la creazione di un file in formato GeoJson e l'implementazione di apposite stringhe JavaScript all'interno della pagina .html.

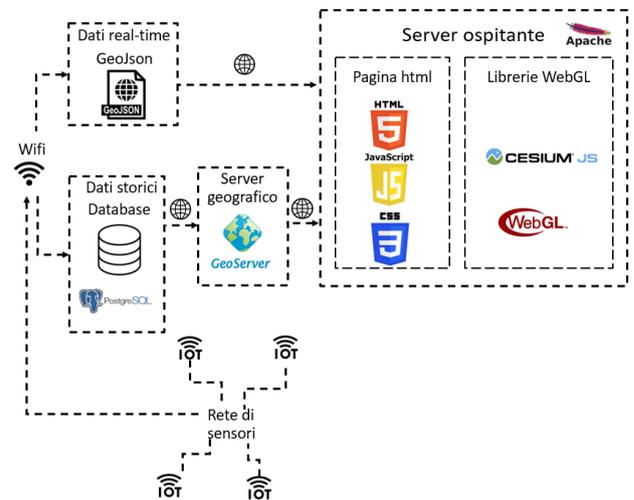


Figura 5. La composizione di un modulo per l'integrazione di dati provenienti da sensoristica IoT all'interno del sistema informativo geospaziale 3D.

2.4 Moduli di calcolo in ambiente python

Un ulteriore elemento da poter inserire all'interno della struttura del sistema consiste in un modulo computazionale che, sulla base dei dati caricati dalla rete IoT e dai dati presenti nel sistema georiferito, possa elaborare i dati in tempo reale e fornire dei risultati da visualizzare nel sistema informativo 3D (Figura 6). Queste elaborazioni possono essere implementate utilizzando dei moduli Python open source (ad esempio Pandas e Geopandas) capaci di caricare i dati dal database relazionale, avviare l'elaborazione, ed inserire il risultato all'interno del database stesso in ambiente georiferito. I dataset così generati possono essere caricati su un server geografico, ad esempio la piattaforma open-source di Geoserver, che ne permetta la visualizzazione all'interno del sistema informativo 3D utilizzando il servizio WMS.

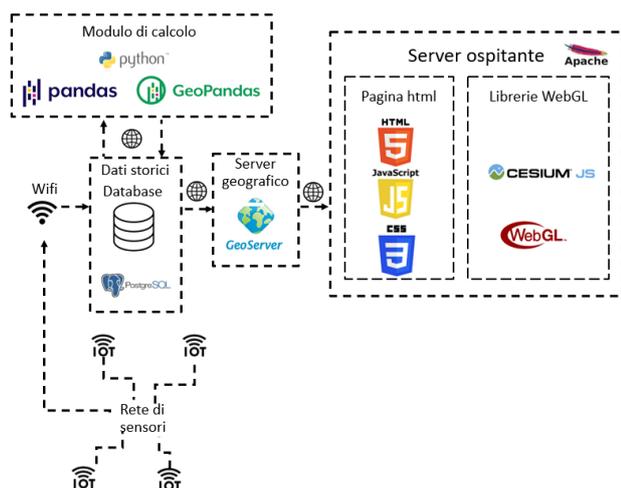


Figura 6. La composizione di un modulo per l'integrazione di dati provenienti da sensoristica IoT all'interno del sistema informativo geospaziale 3D.

3. Risultati

Lo sviluppo di un sistema informativo geospaziale 3D attraverso l'utilizzo di tecnologia open-source, se da un lato rappresenta uno strumento prezioso e sempre più necessario in svariati campi di applicazione, dall'altro lato presenta ancora delle sfide da affrontare. Le soluzioni open-source descritte in precedenza, sicuramente sostenibili per uno sviluppo equo della tecnologia e della ricerca, presentano delle limitazioni dovute alla complessità di utilizzo. È necessario, infatti, possedere delle competenze di scripting per editare in diversi linguaggi web (html, php, JavaScript, css), e non lavorare attraverso l'interfaccia grafica dei software. L'inserimento di dati 3D provenienti da attività di rilievo è limitato dalle capacità del browser, e necessita degli appositi processing di ottimizzazione dei dati, per ridurre la dimensione dei dataset ma, allo stesso tempo, non perdere l'informazione geometrica necessaria. L'implementazione dei moduli di calcolo richiede, inoltre, ulteriori competenze di programmazione in linguaggio Python. Allo stesso modo, però, la libertà di implementare qualsiasi tipo di operazione sui dati georiferiti e trasferirli in tempo reale sul sistema, rende molto utile questo tipo di soluzione in molteplici campi di applicazione. Analisi del traffico, analisi energetiche a livello urbano, monitoraggio del territorio per rischio idrogeologico, monitoraggio degli edifici, sono solo alcune delle possibili applicazioni di questo tipo di sistemi.

4. Conclusioni e Futuri Sviluppi

Lo sviluppo di sistemi WebGIS open-source in grado di integrare strati informativi geospaziali 3D complessi ha permesso negli ultimi anni di integrare diversi moduli utili per la gestione in tempo reale del territorio. Infatti, all'interno di questi sistemi è possibile caricare dataset provenienti da server geografici, modelli 3D e nuvole di punti generate a partire da attività di rilievo, inserire strati informativi da reti di sensori (storici da database relazionale o in tempo reale visualizzati direttamente nel modello). I dati provenienti dalla sensoristica possono essere elaborati in tempo reale da moduli open-source in linguaggio Python che elaborano ed implementano i risultati in ambiente geospaziale. I limiti tuttora esistenti per la piena fruizione di questo tipo di tecnologie riguardano la dimensione dei dataset 3D da poter visualizzare all'interno di ogni singola pagina web, e la qualità della connessione di rete che determina l'efficienza del sistema. La possibilità di integrare diversi tipi di dataset, analizzando i dati in remoto in tempo reale da una piattaforma web con interfaccia 3D, rende questo tipo di sistemi molto utile per sviluppi futuri, dove la componente dell'analisi sensoristica avrà un ruolo sempre più predominante. Inoltre, il recente sviluppo di elaborazioni real-time di intelligenza artificiale (machine learning e deep learning) può aprire nuove possibilità di utilizzo in termini di visualizzazione in tempo reale di classificazioni basate su linguaggio Python.

Bibliografia

- Amado M, Poggi F, Ribeiro Amado A, Breu S., 2018, E-City Web Platform: A Tool for Energy Efficiency at Urban Level. *Energies*, 11(7):1857. <https://doi.org/10.3390/en11071857>
- Aricò M, La Guardia M, Lo Brutto M., 2023, 3D Data Integration for Web Fruition of Underground Archaeological Sites: A Web Navigation System for the Hypogaeum of Crispia salvia (Marsala, Italy). *Heritage*, 6(8):5899-5918. <https://doi.org/10.3390/heritage6080310>
- Brovelli M.A., Negretti, M, 2006, MapServer e servizi web: introduzione e prime verifiche. *BOLLETTINO DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FOTOGRAMMETRIA E TOPOGRAFIA*, 4, 9-23.
- Weil C., Bibri, S.E., Longchamp R., Golay F., Alahi A., 2023, Urban Digital Twin Challenges: A Systematic Review and Perspectives for Sustainable Smart Cities. *Sustainable Cities and Society*, Volume 99, 104862, ISSN 2210-6707, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104862>
- Coetzee S, Ivánová I, Mitasova H, Brovelli MA., 2020, Open Geospatial Software and Data: A Review of the Current State and A Perspective into the Future. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(2):90. <https://doi.org/10.3390/ijgi9020090>
- Congiu E, Desogus G, Frau C, Gatto G, Pili S., 2023, Web-Based Management of Public Buildings: A Workflow Based on Integration of BIM and IoT Sensors with a Web-GIS Portal. *Buildings*, 13(5):1327. <https://doi.org/10.3390/buildings13051327>
- Fan X., Liupengfei W., Weisheng L., 2021, Semantic enrichment of building and city information models: A ten-year review. *Advanced Engineering Informatics*, Volume 47, 101245, ISSN 1474-0346. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2020.101245>

- Hasanzadeh K., Kajosaari A., Häggman D., Kyttä M., 2020, A context sensitive approach to anonymizing public participation GIS data: From development to the assessment of anonymization effects on data quality. *Computers, Environment and Urban Systems*, Volume 83, 101513, ISSN 0198-9715. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2020.101513>
- La Guardia M, Koeva M., 2023, Towards Digital Twinning on the Web: Heterogeneous 3D Data Fusion Based on Open-Source Structure. *Remote Sensing*, 15(3):721. <https://doi.org/10.3390/rs15030721>
- Piragnolo M, Pirotti F, Zanrosso C, Lingua E, Grigolato S., 2021, Responding to Large-Scale Forest Damage in an Alpine Environment with Remote Sensing, Machine Learning, and Web-GIS. *Remote Sensing*, 13(8):1541. <https://doi.org/10.3390/rs13081541>
- Pirotti F., Piragnolo, M., Vettore, A., Guarnieri, A., 2022, COMPARING ACCURACY OF ULTRA-DENSE LASER SCANNER AND PHOTOGRAMMETRY POINT CLOUDS. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLIII-B1-2022, 353–359. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B1-2022-353-2022>
- Sagiroglu S., Sinanc, D., 2013, Big data: A review. *2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS)*, San Diego, CA, USA, pp. 42-47. doi: 10.1109/CTS.2013.6567202
- Santoso M., Gulemar R.G., Irawan B., 2019, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* 673 012072
- Scianna A., Gaglio G.F., La Guardia M., Nuccio G., 2021, Development of a Virtual CH Path on WEB: Integration of a GIS, VR, and Other Multimedia Data. In: *Ioannides, M., Fink, E., Cantoni, L., Champion, E. (eds) Digital Heritage. Progress in Cultural Heritage: Documentation, Preservation, and Protection. EuroMed 2020. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 12642. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-73043-7_15
- Singh M, Fuenmayor E, Hinchy EP, Qiao Y, Murray N, Devine D., 2021, Digital Twin: Origin to Future. *Applied System Innovation*, 4(2):36. <https://doi.org/10.3390/asi4020036>
- Radil S.M., Jiao J., 2016, Public Participatory GIS and the Geography of Inclusion. *The Professional Geographer*, 68:2, 202-210. DOI: 10.1080/00330124.2015.1054750
- Van Oosterom P., Stoter J., Quak W., Zlatanova S., 2002, The Balance Between Geometry and Topology. In: *Richardson, D.E., van Oosterom, P. (eds) Advances in Spatial Data Handling*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56094-1_16
- Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V. WEB Geographic Information System and the Hardware and Software Ensuring Rapid Assessment of Air Pollution. *Optoelectron.Instrument.Proc.* 54, 243–249. <https://doi.org/10.3103/S8756699018030056>
- Zhan W, Chen Y, Chen J., 2021, 3D Tiles-Based High-Efficiency Visualization Method for Complex BIM Models on the Web. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(7):476. <https://doi.org/10.3390/ijgi10070476>