

## 3D Digital Models / Accessibility and Inclusive Fruition

Representation based on the visualization of reality, acquired through active and passive sensors, has allowed a rethinking of the traditional cognitive and communicative process. The Vitruvian approach has been replaced by the discrete visualization of large number of point-images. Image- or range-based coordinates allow to overcome the limitations of the drawing or photographic image, configuring a 3D model that can be explored in any direction and detail, even remotely. Automatic and semi-automatic procedures manage the information to be conveyed to the numerical control of the models.

Many scientific papers deal with the certified reliability of the data or the optimization of the models; several papers discuss the development of programmed instructions to automate the “intelligent” recognition of components in Building Information Modeling (BIM) and Heritage Building Information Modeling (H-BIM) workflows.

<http://disegnarecon.univaq.it>

However, few discussions focus on the heuristic value of using time-saving procedures. The phases of acquisition, processing, critical synthesis, and communication of results are now included in a single workflow centered on the use of Information and Communication Technologies (ICT) to capture and transfer the archived information framework. This unified process has affected research and teaching methods, as well as the way in which information is disseminated and citizens are involved, in order to obtain the approval and thus the resources needed for the political management of heritage.

Starting from these considerations, it seemed appropriate to recontextualize a process that is not limited to the improvement of fast and simplified operations, as an alternative to calculations congruent with the purpose of the project or survey. Indeed, the call for this issue was intended to propose and encourage a broader reflection of

DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.32.2024.ed>



**Adriana Rossi**  
Architect, Master degree cum laude ('84), PhD ('91), Post-Doc ('93), Researcher ('95), Associate Professor ('03), since 2016 Full Professor SSD 08/CEAR-11. Recent funded research (P.I. PRIN 22 and PrinPNR 22) focused on the heuristic value offered by the point cloud processing applications, the use of ICT and the transfer of digital information through the web.



**Luca Cipriani**  
PhD, associate professor of Drawing (ICAR/17) at the Department of Architecture, University of Bologna. The research activity is addressed to architecture, archaeology and Cultural Heritage. He is the scientific manager of numerous survey campaigns of sites of cultural interest belonging to the World Heritage List, and buildings and parts of cities belonging to the Italian historical and artistic heritage.



**Pedro M. Cabezos-Bernal**  
Phd. Architect and Professor at the Universitat Politècnica de València in the Graphic Expression Department. His research line is focused on new representation techniques such as 3D modelling, virtual reality, immersive photography, photogrammetry SfM (Structure from Motion) and ultra high resolution photography.

current research trends and to stimulate discussion on the limits and potentials of advanced automation processes in relation to the comparison of established and innovative practices.

The awareness gained from digital language shows the widespread reconsideration of geometric logic. A trend that can be clearly seen in the papers dealing with the digital representation of complex vaulted systems or design solutions based on the reinterpretation of the Vitruvian concept of scenography. Less obvious, but no less diriment for this reason, are the geometric considerations that support quad-dominant remeshing or retopology solutions, according to the lexicon of computer graphics.

Refined geometric solutions to improve analysis and details applicable to “reliable copies” of the virtually reconstructed object to control the change of state in the physical duplicate can also be observed in reverse modeling techniques.

In parallel, the evolution of digital language with services provided by the network enhances the physical experience, improving it with the help of virtual content to guide meaningful experiences. In this dual perspective, the title of the volume alludes to the path, cyclical and interactive, that unites, without confusing, the construction of image- and range-based, in order to use them as spaces of collaboration suitable for the active dissemination of knowledge.

#### ABOUT POINT CLOUDS AND 3D MODELS

In the field of digitalization of cultural heritage, point clouds have established their central role, giving rise to a highly specialized “digital ecosystem”, including tools, techniques, software, and algorithms dedicated to scientific research and the digital data management. The acquired data have generated huge digital archives, highlighting the growing need for automatic methods to attribute meaning and properties to 3D data. These methods include segmentation and classification, but despite the progress, significant human intervention is still essential to achieve satisfactory results. This human intervention is fundamental

for classification, reflecting the criteria imposed by experts.

The point cloud provides a discrete description of the object’s geometry, which must be reconstructed through an initial meshing process. The result is a polygonal mesh, which constitutes an approximation of the actual shape and requires further processing to improve the quality and description of the original geometry. The reconstructed surface must be optimized through remeshing techniques to improve its quality, portability, and topology, with particular attention to the mesh dimension, a crucial prerequisite for interactive visualization and for the preparation of digital assets for real-time rendering and game engines.

The issue of accuracy in the visualization and representation of shapes is central to numerous studies. The correspondence between the mesh and the geometric properties of the physical object, evaluated at different scales, has revealed the limits of discrete geometry, and led to numerous improvements in the use of salient maps and material characterization. The prevailing research direction is to provide extremely detailed representations through point cloud processing, SfM and DVS photogrammetry, and reverse modelling application workflows. The resulting products, characterized by high quality and density of morphological information, present evident usability limits that raise questions about the meaning of “reliability” of the representation in relation to different uses.

There is a significant dichotomy between 3D models generated by surveys and their interactive visualization: the high metric and chromatic rigor is almost opposed to their interactive visualization, which is characterized by topological rigor and optimized parameterization with perfect shading, often associated with less attention to measurement. Current research aims to synthesize these needs, using game engine techniques to achieve high visual performance through heavy model decimation while maintaining acceptable fluidity for most game engines and web applications.

Some conditions remain to be evaluated in the optimization of mesh models derived from point clouds: occlusion area integration and model pa-

rameterization. Integration through reverse modelling can lead to formal alterations if managed entirely by software, while hybrid manual and automatic solutions, although morphologically consistent, are often laborious and not always metrically verifiable. Model parameterization, even if morphologically and metrically consistent, can cause mapping problems, with overlapping errors and texture attribution.

Studies on the “compression” of high-detail digital models reveal two types of optimization processes: decimation (switching from high-poly to low-poly) to obtain a fixed-detail version, and software-based simplification of the level of detail (LOD) of the visualized shape. The first method involves restoring the texture of the high-poly model to the low-poly model, while the variable-detail models (LOD) are visualized using polygonal model edge-collapse systems that allow the resolution of the 3D model to be reduced as the user moves away from the areas of interest. The recovery of the geometric details is often achieved by applying displacement maps on the subdivision surfaces - SubD -: experiments show a very high compression of the geometry and an ability to fully adhere to the master model, but through laborious manual work sessions.

A common feature of cultural heritage research shows a tendency to seek solutions that preserve the authenticity of the objects and buildings surveyed, developing a workflow centered on the use of hybrid modeling techniques combined with the use of normal maps, where low selective model detail is achieved through semi-automatic procedures. This research direction produces a diversified range of products, from master models to optimized models for real-time rendering applications. The preservation and reuse of intermediate products are of great scientific interest, with an increasing focus on using the 3D model as a vector of information linked to databases. This approach goes beyond the use of the 3D model as a mere three-dimensional representation, promoting a multidisciplinary direction centered on the use of digital simulacra for the management, as also shown by the numerous applications of HBIM in this issue of the journal.

## ON ONLINE FRUITION OF THE RESULTS AND ACCESSIBILITY

Online fruition of 3D models and complex data, due to its ability to convey knowledge to a wide audience, has been an important innovation, especially in the field of cultural heritage. Web applications and digital platforms allow visualizing, exploring, and interacting with highly complex and accurate 3D models without the need for specific software or advanced skills. However, the dissemination of these results requires careful design of user interfaces to ensure accessibility and inclusivity. Exploration paths must be intuitive and supported by explanatory metadata, capable of contextualizing and explaining the salient features of the visualized models.

In this context, the adoption of open and interoperable standards is crucial. Open standards, such as those defined by the Web3D Consortium (e.g., X3D), facilitate the sharing and integration of 3D models across different platforms and applications, promoting broader and more inclusive use. Moreover, compatibility with mobile devices and the use of responsive design technologies are crucial aspects to reach a wider audience, allowing access to content from any internet-connected device.

Platforms like Europeana, Unesco Memory of the World, Smithsonian 3D Digitization, and Morpho-source, facilitate the sharing of universal knowledge. Researchers can collaborate with these platforms or create dedicated websites, although the latter option requires significant maintenance effort.

Sharing research results implies mastery of specific software and techniques, often underestimated in academic environments. Researchers need to acquire skills in using digital tools to create virtual tours and manage digital content, a task that requires significant technical preparation.

Online fruition must also consider the needs of people with disabilities. Assistive technologies, such as screen readers, must be able to correctly interpret 3D content, and navigation interfaces must be designed according to Universal Design principles (e.g., W3C standards). The goal is to

ensure that everyone, regardless of physical or cognitive abilities, can access, understand, and interact with digital models.

Augmented reality (AR), virtual reality (VR), mixed reality (MR), or extended reality (XR) offer further opportunities to enhance the user experience. These technologies, integrating with online 3D models, can create immersive and interactive environments, allowing users to virtually explore archaeological sites, historical monuments, or artworks, overcoming physical and geographical limitations. The challenge is to make these experiences accessible to all, developing solutions that can be used by people with disabilities.

In conclusion, the online visualization of 3D models represents a powerful tool for the dissemination of knowledge and the enhancement of cultural heritage. To ensure that this use is truly inclusive, it is necessary to adopt a design approach that considers accessibility, interoperability, and usability, leveraging the potential offered by emerging technologies and open standards.

The papers collected in this issue of DISEGNARECON weave together the identified trends and illustrate some of the latest scientific developments in mesh processing for model construction and their shared usability. The detailed studies and variety of responses crown the commitment and the passion with which the co-editors wanted to construct a volume of interest. Indeed, the contributions, all of great importance, have drawn attention to remarkable case studies. The wide participation of a plurality of schools, not only national, demonstrates the centrality of the themes examined, which delve into identity issues of our scientific-disciplinary field. For this reason, the co-editors would like to thank the universities and polytechnics to which the numerous authors belong, who offered their valuable contributions by responding to the call.

## Modelli Digitali 3D / Accessibilità e Fruizione Inclusiva

La rappresentazione basata sulla visualizzazione della realtà acquisita mediante sensori attivi e passivi ha permesso di ripensare il tradizionale iter conoscitivo e comunicativo. L'approccio di vitruviana memoria è stato sostituito dalla visualizzazione discreta di grandi quantità di punti-immagine. Le coordinate image-/ range-based permettono di superare i limiti del disegno o dell'immagine fotografica, configurando un modello 3D esplorabile in ogni direzione e dettaglio anche da remoto. Procedure automatiche e semi-automatiche gestiscono le informazioni per passare al controllo numerico dei modelli.

Innumerevoli articoli scientifici trattano dell'attendibilità certificata dei dati o dell'ottimizzazione dei modelli. Diversi sono i saggi che discutono dell'avanzamento delle istruzioni programmate per automatizzare il riconoscimento "intelligente" delle componenti nei flussi di lavoro Building Information Modeling (BIM) e Heritage Building Information Modelling (H-BIM). Invece, sono an-

cora poche le trattazioni sul valore euristico indotto dall'impiego dei percorsi speditivi. Le fasi di acquisizione, elaborazione, sintesi critica e comunicazione delle elaborazioni sono oggi comprese in un'unica filiera che vede al centro l'uso delle Information and Communication Technologies (ICT) per rilevare e trasferire il palinsesto d'informazioni da archiviare. Questo processo di fusione è ricaduto sulle modalità della ricerca e della didattica, ma anche inerenti al modo di divulgare e coinvolgere i cittadini per attrarre consensi e con essi le risorse necessarie alla gestione politica dei beni ereditati.

Da queste considerazioni ci è sembrato opportuno ricontestualizzare un processo che non si limiti alla valorizzazione di operazioni rapide e semplificate, in alternativa a calcoli congruenti con le finalità del progetto o del rilievo. Con la "chiamata" a questo numero, si è infatti voluto proporre e sollecitare una più ampia riflessione sulle tendenze di ricerca in atto, favorendo la discussione sui limiti

e sulle potenzialità dei processi di automazione avanzata in relazione al confronto fra prassi consolidate e innovative.

La consapevolezza maturata con il linguaggio digitale mostra il diffuso recupero della logica geometrica. Una realtà evidente nei testi che trattano della rappresentazione digitale dei sistemi volti complessi o delle soluzioni progettuali basate sulla rivisitazione del concetto vitruviano di scenografia. Meno evidenti, ma non per questo meno dirimenti, sono le argomentazioni geometriche che sostengono soluzioni quad-dominant remeshing o di retopology secondo il lessico della computer graphics.

Anche nei procedimenti di reverse modelling si riscontrano raffinate soluzioni geometriche per migliorare l'analisi e i dettagli applicabili a "copie fedeli" del prodotto ricostruito virtualmente per controllare il cambiamento del duale stato fisico. Parallelamente, l'evoluzione del linguaggio digitale con i servizi offerti dalla rete, valorizzano l'e-

sperienza fisica, ibridandola con l'ausilio di contenuti virtuali per orientare esperienze significative. In questa duplice prospettiva il titolo del volume allude al percorso, ciclico e interattivo, che unisce senza confondere, la costruzione di modelli image- e range-based per mediare al loro interno spazi di collaborazione adatti alla divulgazione attiva delle conoscenze.

## SULLE NUVOLE DI PUNTI E I MODELLI 3D

Nel campo della digitalizzazione dei beni culturali, le nuvole di punti (point cloud) hanno consolidato il loro ruolo centrale, dando origine a un "ecosistema digitale" altamente specializzato, che comprende strumenti, tecniche, software e algoritmi dedicati alla ricerca scientifica e alla gestione dei dati digitali. I dati acquisiti hanno generato vasti archivi digitali, evidenziando la crescente necessità di metodi automatici per attribuire significati e proprietà ai dati 3D. Tali metodi includono segmentazione e classificazione, ma nonostante i progressi, è ancora essenziale un significativo intervento umano per raggiungere risultati soddisfacenti. Questo intervento umano è fondamentale per la classificazione, che rispecchia i criteri imposti dagli esperti.

La point cloud fornisce una descrizione discreta della geometria dell'oggetto, che deve essere ricostruita tramite un primo processo di meshing. Il risultato è una mesh poligonale, che costituisce un'approximazione della forma reale e richiede ulteriori elaborazioni per migliorare la qualità e la descrizione della geometria originale. La superficie ricostruita deve essere ottimizzata attraverso tecniche di remeshing per migliorarne la qualità, la maneggevolezza, la topologia, ..., con particolare attenzione alla leggerezza della mesh, requisito cruciale per la visualizzazione interattiva nella preparazione di asset digitali per real time rendering e motori di gioco.

La questione dell'accuratezza nella rappresentazione e visualizzazione delle forme è al centro di numerosi studi. La corrispondenza tra la mesh e le caratteristiche geometriche dell'oggetto fisico, valutata su diverse scale, ha infatti rivelato i limiti della geometria discreta, generando nume-

rosi sviluppi verso l'utilizzo delle mappe salienti e verso la caratterizzazione dei materiali. La direzione prevalente nella ricerca è restituire rappresentazioni estremamente dettagliate attraverso filiere di applicativi per point cloud processing, fotogrammetria SfM e DVS, e reverse modelling. I prodotti risultanti, caratterizzati da elevata qualità e densità di informazioni morfologiche, mostrano tuttavia evidenti limiti di usabilità che sollevano interrogativi sul significato della "fedeltà" della rappresentazione in relazione ai diversi utilizzi.

Emerge quindi una dicotomia significativa tra i modelli 3D risultanti dal rilievo e la loro visualizzazione interattiva: all'elevato rigore metrico e cromatico quasi si oppongono il rigore topologico e la parametrizzazione ottimizzata con una perfetta ombreggiatura, associate spesso a una minore attenzione alla misura. Molte ricerche attuali mirano a sintetizzare queste esigenze, utilizzando tecniche di game engine per ottenere una elevata performance visiva attraverso la forte decimazione dei modelli per mantenere una fluidità accettabile nella maggior parte dei game engine e applicazioni web. Restano alcune condizioni da valutare nell'ottimizzazione di modelli mesh derivati dalle point cloud: l'integrazione delle aree di occlusione e la parametrizzazione dei modelli stessi. L'integrazione tramite reverse modelling può causare alterazioni formali se gestita interamente via software, mentre le soluzioni ibride manuali e automatiche, sebbene coerenti morfologicamente, sono spesso laboriose e non sempre verificabili metricamente. La parametrizzazione dei modelli, anche se morfologicamente e metricamente coerente, può presentare problemi di mappatura, con errori di sovrapposizione e attribuzione delle texture.

Gli studi sulla "compressione" dei modelli digitali ad alto dettaglio fanno emergere due tipologie di processo di ottimizzazione: la decimazione (passaggio da high-poly a low-poly) per ottenere una versione a dettaglio bloccato, e la semplificazione via software del livello di dettaglio della forma visualizzata (LOD). Il primo metodo prevede il ripristino della texture del modello ad alto dettaglio su quello a basso dettaglio, mentre i modelli a dettaglio variabile (LOD) sono visualizzati attraverso sistemi di fusione dei bordi dei modelli poligonali

- edge collapse - che consentono, all'allontanarsi dalle zone di interesse, di abbassare la risoluzione del modello 3D. Il ripristino del dettaglio geometrico è spesso affidato all'applicazione di displacement map sulle superfici di suddivisione - SubD -: le sperimentazioni evidenziano una elevatissima compressione della geometria e una capacità di aderire totalmente al modello master, tuttavia tramite laboriose sessioni di lavoro manuale.

Un tratto comune alle ricerche sul patrimonio culturale mostra la tendenza verso soluzioni idonee a preservare l'autenticità delle opere e degli edifici rilevati, sviluppando una filiera incentrata sull'impiego di tecniche ibride di modellazione associate all'utilizzo di mappe di normali nelle quali il basso dettaglio selettivo dei modelli è ottenuto attraverso procedure semiautomatiche. Questa direzione di ricerca produce una gamma diversificata di prodotti, dai modelli master ai modelli ottimizzati per applicativi di real-time rendering. La conservazione e il riutilizzo dei prodotti intermedi risulta di grande interesse scientifico, con un focus crescente sull'utilizzo del modello 3D come vettore di informazioni associate a database. Questo approccio supera l'uso come semplice rappresentazione tridimensionale, promuovendo una direzione multidisciplinare incentrata sull'uso gestionale dei simulacri digitali, come del resto mostrano anche le numerose applicazioni di HBIM proposte in questo numero della rivista.

## SULLA FRUIZIONE ONLINE E ACCESSIBILITÀ DEI RISULTATI

La fruizione online di modelli 3D e di dati complessi, per la sua capacità di veicolare conoscenze ad un ampio pubblico, ha rappresentato un'importante innovazione, specialmente nel campo dei beni culturali. Le applicazioni web e le piattaforme digitali permettono di visualizzare, esplorare e interagire con modelli tridimensionali di elevata complessità e accuratezza, senza la necessità di software specifici o competenze avanzate. Tuttavia, la disseminazione di questi risultati richiede un'attenta progettazione delle interfacce utente, per garantire accessibilità e inclusività. I percorsi di esplorazione devono essere intuitivi e suppor-

tati da metadati esplicativi, in grado di contestualizzare e spiegare le caratteristiche salienti dei modelli visualizzati.

In questo contesto, l'adozione di standard aperti e interoperabili risulta fondamentale. Gli open standard, come quelli definiti dal Web3D Consortium (ad esempio X3D), facilitano la condivisione e l'integrazione dei modelli 3D tra diverse piattaforme e applicazioni, promuovendo una fruizione più ampia e inclusiva. Inoltre, la compatibilità con i dispositivi mobili e l'uso di tecnologie responsive design sono aspetti cruciali per raggiungere un pubblico più vasto, permettendo l'accesso ai contenuti da qualsiasi dispositivo connesso a Internet.

Piattaforme come Europeana, Unesco Memory of the World, Smithsonian 3D Digitization e Morpho-source facilitano la condivisione della conoscenza universale. I ricercatori possono collaborare con queste piattaforme o creare siti web dedicati, sebbene la seconda opzione richieda un impegno significativo nella manutenzione.

La condivisione dei risultati della ricerca implica una padronanza di software e tecniche specifiche, spesso sottovalutate negli ambienti accademici. I ricercatori devono acquisire competenze nell'uso di strumenti digitali per creare visite virtuali e gestire contenuti digitali, un compito che richiede una significativa preparazione tecnica.

La fruizione online deve, inoltre, tener conto delle esigenze delle persone con disabilità. Le tecnologie assistite, come gli screen reader, devono essere in grado di interpretare correttamente i contenuti tridimensionali e le interfacce di navigazione devono essere progettate secondo i principi dell'Universal Design (ad esempio W3C standards). L'obiettivo è garantire che tutti, indipendentemente dalle abilità fisiche o cognitive, possano accedere, comprendere e interagire con i modelli digitali.

La realtà aumentata (AR), virtuale (VR), mista (MR) o estesa (XR), offrono ulteriori opportunità per migliorare l'esperienza di fruizione. Queste tecnologie, integrandosi con i modelli 3D online, possono creare ambienti immersivi e interattivi, permettendo agli utenti di esplorare virtualmente siti archeologici, monumenti storici o opere d'arte, superando le limitazioni fisiche e geografiche. La sfida consiste nel rendere queste esperienze

accessibili a tutti, sviluppando soluzioni che siano utilizzabili anche da persone con disabilità.

In conclusione, la fruizione online dei modelli 3D rappresenta un potente strumento per la diffusione della conoscenza e la valorizzazione del patrimonio culturale. Affinché questa fruizione sia realmente inclusiva, è necessario adottare un approccio progettuale che consideri l'accessibilità, l'interoperabilità e l'usabilità, sfruttando le potenzialità offerte dalle tecnologie emergenti e dagli standard aperti.

Gli articoli raccolti in questo numero di DISEGNARECON intrecciano le traiettorie individuate, illustrando alcuni tra i più recenti sviluppi scientifici nel trattamento delle mesh per la costruzione dei modelli e la loro fruibilità condivisa. La profondità e l'estensione delle risposte coronano l'impegno e la passione con cui i co-curatori hanno tentato di costruire un volume di interesse. Le trattazioni, tutte di grande importanza, hanno infatti posto all'attenzione casi studio di notevole impatto. La partecipazione allargata ad una pluralità di Scuole, non solo nazionali, ha dimostrato la centralità delle questioni messe a tema, approfondendo questioni identitarie della nostra area scientifico-disciplinare. Per tale motivo si ringraziano la moltitudine di Università e i Politecnici cui afferiscono gli autori che numerosi hanno voluto offrire il loro prezioso contributo rispondendo alla call.