

LEONARDO DIGITALE, APPLICAZIONI VIRTUALI PER IL CINQUECENTENARIO LEONARDIANO ALLA MOSTRA

“LEONARDO E VITRUVIO. OLTRE IL CERCHIO E IL QUADRATO.”

di Paolo Clini, Renato Angeloni,
Mirco D'Alessio, Paolo Buroni,
Alex Buroni

Nei secoli numerosi modelli fisici delle macchine leonardiane sono stati realizzati al fine del loro studio e per poter dirimere l'annosa questione: visionare e profetiche intuizioni o veri e propri progetti funzionanti ed utilizzabili?

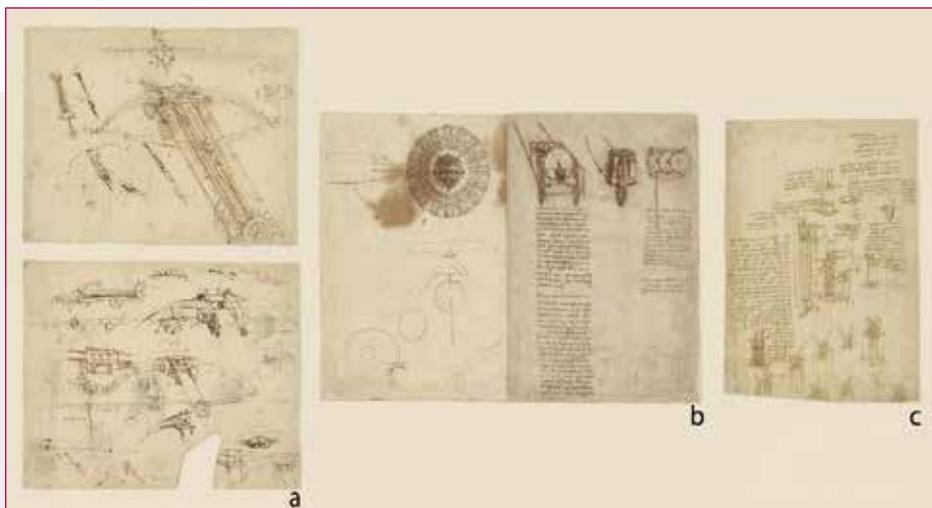


Fig. 1 - A) Leonardo da Vinci (1452-1519), Codice Atlantico (Codex Atlanticus), foglio 147 verso. Traino di una balestra da posta con un cavallo; balestra e sue componenti; B) Leonardo da Vinci (1452-1519), Codice Atlantico (Codex Atlanticus), foglio 1 recto. A sinistra, sedici bocche da fuoco montate su un sistema rotante; a destra, carriola dotata di uno strumento per misurare le miglia e carriola dotata di uno strumento per misurare i passi; C) Leonardo da Vinci (1452-1519), Codice Atlantico (Codex Atlanticus), foglio 943 recto. Orologio ad acqua con suoneria.

Oggi le possibilità offerte dalla rappresentazione digitale permettono un ulteriore avanzamento di questa analisi; superando i limiti propri dei modelli fisici, garantiscono la possibilità di riprodurre l'esatta configurazione dei diversi meccanismi, nonché di simularne in modo critico il funzionamento fino a penetrare l'esatta intenzione leonardiana nell'atto del loro disegno.

Contestualmente la creazione di modelli digitali dai disegni originali, straordinario patrimonio disegnativo costituito da immagini tanto affascinanti quanto "difficili", permette di renderli disponibili e fruibili ad un pubblico più vasto, favorendo, grazie alla mediazione dello strumento digitale, la loro diffusione e comprensione. Non si tratta quindi di semplici copie virtuali, bensì di strumenti in grado di comunicare ed offrire un'interpretazione del

disegno trasportandolo dalla sua realtà materiale a quella immateriale, generando nuove e innumerevoli possibilità di definire percorsi espositivi della meccanica leonardiana, accrescendone in maniera esponenziale la disseminazione, grazie alla riproducibilità delle soluzioni digitali.

Alla base di questo processo rimane la rigorosità scientifica e si sviluppa anzi la necessità di maggiore studio e conoscenza dell'oggetto in relazione allo straordinario livello di dettaglio raggiungibile tramite la rappresentazione digitale. A tal proposito le macchine leonardiane si prestano come caso esemplare, Leonardo disegna infatti, in uno spazio estremamente ridotto, fino al più piccolo elemento, con parti spesso visibili unicamente al microscopio. Supportato da un'imprescindibile approfondita analisi dell'originale, il digitale supera questo li-

mite della rappresentazione in scala ridotta, garantendo un rapporto 1:1 e rendendo quindi immediatamente apprezzabili anche i più nascosti dettagli delle rappresentazioni su carta. Partendo da tali assunti, l'articolo presenta una possibile filiera di documentazione, analisi e fruizione digitale delle macchine di Leonardo applicata a tre dei disegni del Codice Atlantico esposti alla mostra di Fano dal titolo "Leonardo e Vitruvio. Oltre il cerchio e il quadrato." (Fig. 1).

Le due applicazioni qui presentate, sviluppate per diverse tipologie di supporti tecnologici, sono state pensate secondo il paradigma dell'*edutainment* (*education and entertainment*), superando la concezione di relazione tra bene culturale e utente come rapporto statico e spostando l'attenzione dall'oggetto esposto al suo rapporto con il visitatore.



Fig. 2 La balestra, l'odometro e l'orologio ad acqua. Studio e modellazione a cura del Prof. Massimo Callegari e dell'Ing. Stefano Brillarelli del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche.

Si è quindi voluto stimolare nell'ambito della mostra un processo di apprendimento dinamico che sfruttasse la tecnologia digitale come strumento di mediazione tra opera e utente, come mezzo di passaggio dalla pura contemplazione passiva ad una nuova modalità di fruizione maggiormente efficace perché interattiva e pensata per il visitatore.

PATRIMONIO CULTURALE E SOLUZIONI DIGITALI

A partire dalle istituzioni museali del tardo Settecento si è assistito alla sistematizzazione razionale del patrimonio culturale secondo una concezione che affonda le sue radici nel pensiero illuministico. Oggi, soddisfatto questo bisogno, la principale sfida risiede nella ricerca di una corretta relazione tra oggetto esposto e visitatore. La presenza fisica del bene culturale non è più sufficiente, si avverte la necessità di potersi rapportare a questo, di comprenderne i contenuti, le tecniche realizzative, il significato espressivo ed estetico e proprio a tal fine la tecnologia digitale si dimostra estremamente efficace.

L'utilizzo di *smartphone*, *tablet* e pc pervade ogni nostra attività quotidiana, lo schermo di tali dispositivi rappresenta una finestra privilegiata di accesso a informazioni e contenuti multimediali nonché un mezzo di relazione con persone e oggetti che nel tempo è arrivato a modificare le modalità stesse della comunicazione e dell'interazione sociale. Questo cambiamento ha coinvolto anche i processi di apprendimento ed in particolare tre sue componenti fondamentali: la componente cognitiva (legata alle abilità di percezione, comprensione, attenzione e memoria), quella emotiva (legata all'interesse, alla motivazione e al benessere personale) e quella sociale (legata all'esigenza di riconoscimento personale, di condivisione e collaborazione).

In questo scenario l'impiego della tecnologia digitale diviene pertanto imprescindibile come strumento di mediazione tra oggetto e utente, mezzo di passaggio dalla pura contemplazione passiva a nuove modalità di fruizione attiva e dinamica in grado di raccontare il patrimonio culturale con i modi propri della quotidianità di chi ne fruisce.

Non è però sufficiente inserire dispositivi tecnologici all'interno dei musei per rendere soddisfacente l'esperienza dell'utenza; numerosi sono i fattori da tenere in considerazione nella progettazione di strumenti efficaci che favoriscano la fruizione del patrimonio culturale: un'interfaccia agile e intuitiva, una corretta strutturazione dei contenuti, soluzioni comunicative efficaci e modalità d'interazione adatte alla narrazione dei temi proposti sono solo alcuni di questi. Varie sono oggi le soluzioni tecnologiche disponibili per realizzare tali strumenti, qualsiasi sia la scelta fondamentale deve essere l'obiettivo di una fruizione centrata sull'utente che renda accessibile digitalmente il bene migliorandone la percezione indipendentemente dal fatto che questo avvenga sovrapponendo informazioni virtuali alla visione dell'oggetto reale (*augmented reality*), combinando reale e virtuale (*mixed reality*) o creando un ambiente e un'interazione del tutto virtuale (*virtual reality*).

LE MACCHINE DI LEONARDO

L'elaborazione dei modelli digitali delle macchine di Leonardo rappresentate nei disegni del *Codice Atlantico*, opere che esprimono forse il più alto livello dell'inventiva del genere umano, è stata realizzata nell'ambito della mostra "Leonardo e Vitruvio. Oltre il Cerchio e il Quadrato." ospitata a Fano in occasione del cinquecentenario leonardiano. L'intero lavoro è partito dall'interpretazione dei fogli del *Codice Atlantico* e dallo studio di macchine simili concepite in epoche diverse e già descritte da Vitruvio nel suo *De Architectura*. Intento della mostra è stato proprio quello di esplorare il legame fortemente radicato tra Leonardo e Vitruvio, l'autore dell'antichità più vicino al genio toscano come espressione di una sapienza multiforme ed enciclopedica. Un rapporto che supera quello sul tema dell'*Uomo vitruviano* andandosi ad inserire nel più ampio ambito della meccanica e della misurazione, materie a cui Vitruvio dedica due libri, il IX e il X, del *De Architectura* dando di fatto avvio alla storia di tali discipline. Nel libro IX Vitruvio descrive l'orologio idraulico di Ctesibio, nel libro X la costruzione e allestimento di baliste e la realizzazione di un odometro: tre fra le macchine a cui Leonardo dedica le maggiori attenzioni e che sono rappresentate proprio in tre dei cinque disegni del *Codice Atlantico* esposti alla mostra di Fano.

L'elaborazione dei modelli digitali di queste invenzioni si è dunque basata in primis sulle informazioni deducibili dai fogli, rappresentazioni grafiche ma anche sintetiche descrizioni testuali di alcuni componenti, e in seconda istanza su valutazioni di possibili ipotesi basate su meccanismi simili descritti da altre fonti. Ad esempio per la balestra (Foglio 147a) è indicata la lunghezza dell'arco, "braccia 42", considerando che un braccio fiorentino è pari a 0,5836 m, si è potuta quindi dedurre la sua dimensione complessiva pari a 24 m. Rapportando a questa le restanti parti della macchina se ne sono quindi determinate l'altezza, la dimensioni delle ruote per il traino e di quella, leggermente più piccola, per azionare la carica. Per alcune parti non descritte,



Fig. 3 - Inserimento del modello della balestra nel software Unity, utilizzato per lo sviluppo dell'app di realtà aumentata. Il disegno originale è preso come riferimento affinché l'oggetto tridimensionale si generi proprio a partire dai corrispondenti tratti rappresentati sul foglio da Leonardo.

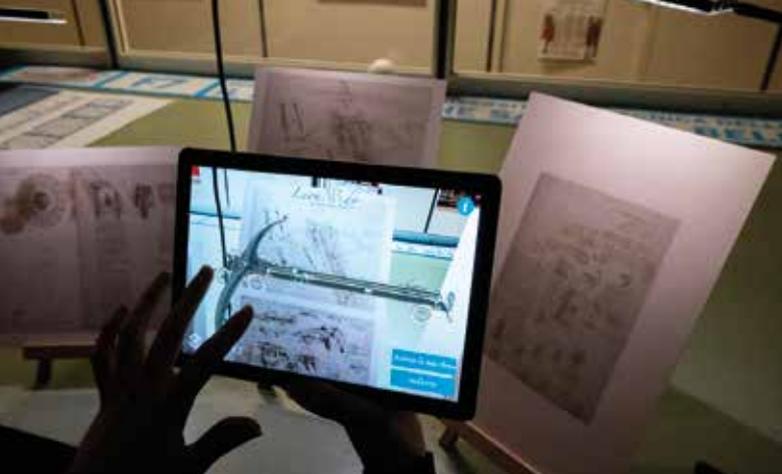


Fig. 4 Visualizzazione del modello della balestra nell'app di realtà aumentata. Una volta generato dal disegno, il modello può essere indagato ed è possibile attivarne il meccanismo per comprenderne il funzionamento.

LEONARDO DIGITALE: AR E IMAGE-WALL INTERATTIVO

Le forme digitali tridimensionali delle macchine leonardiane sono state quindi integrate con la loro rappresentazione bidimensionale su foglio grazie allo sviluppo di due applicazioni che permettono in maniera differente, di rendere accessibili tali capolavori ad un pubblico vasto, mediandone e favorendone la conoscenza in modi spettacolari, suggestivi e didattici.

leonARdo. Definito come “sistema che combina contenuti reali e virtuali, fornisce un ambiente interattivo in tempo reale e registra in 3D” la realtà aumentata (*augmented reality*, AR) completa la realtà senza sostituirla completamente. L'AR dunque migliora la visione del reale aggiungendo informazioni virtuali e combinandole in un'unica percezione con lo spazio circostante.

Sfruttando tali potenzialità è stata sviluppata “*leonARdo*”, un'applicazione di AR pensata come supporto alla visita della mostra in grado di aiutare il visitatore nella lettura e approfondimento del disegno. Per la sua realizzazione è stato impiegato il *game engine* di sviluppo *Unity* ricorrendo alla piattaforma *Vuforia* per il riconoscimento dei *target*. Su questa sono state caricate le immagini a risoluzione ridotta dei disegni leonardiani, utilizzate per individuarne le *features*, i tratti salienti, che l'app è poi in grado di identificare sugli originali. In ambiente *Unity* sono stati quindi importati i dati per il riconoscimento dell'immagine, l'*ARCamera*, ossia una fotocamera virtuale in grado di simulare quella del dispositivo su cui verrà utilizzata l'app, i modelli delle macchine opportunamente texturizzati e un sistema di illuminazione per renderne più realistica la visualizzazione (Fig.3). Avviando l'app, l'utente attiva la fotocamera del proprio *device* il quale, inquadrato un certo disegno, grazie al siste-



Fig. 5 - Visualizzazione del modello della balestra sullo *Stark Image Wall*. La video parete permette anche un'interazione con il modello, nello specifico di orientare la macchina e scagliare il proietto.

ma di riconoscimento immagine, ne visualizza sullo schermo il modello corrispondente generandolo proprio dai tratti rappresentati sul foglio (Fig. 6). La macchina può quindi essere indagata in maniera del tutto svincolata dall'originale, ne possono essere osservate le singole componenti e può esserne simulato il funzionamento. Inoltre è possibile accedere a una sezione sul disegno originale, qui visualizzabile in *HD*, dove vengono analizzate le scelte da un punto di vista meccanico operate da Leonardo nell'ideazione della macchina, confrontandole anche con i modelli del passato che certamente lo ispirarono. (Fig. 4).

Le Macchine Virtuali. Oltre che per la fruizione in AR gli stessi modelli virtuali sono stati utilizzati per la visualizzazione sullo *Stark Image-Wall*, un'elegante e innovativa video-parete di nuova concezione capace di creare veri e propri megaschermi con un'altissima definizione e qualità di immagine (Fig. 5).

In questo allestimento i modelli tridimensionali delle macchine leonardiane sono stati inseriti in un “racconto” spettacolare e avvincente che offre ai visitatori un coinvolgimento attivo ed emozionale legato agli aspetti più curiosi ed unici di queste straordinarie invenzioni. Attraverso lo *Stark Image-Wall* è possibile studiare i disegni di Leonardo in tre modalità complementari fra loro: leggendo una parte descrittiva tecnico scientifica a scopo didattico, visualizzando in 3D le sorprendenti macchine fin nei minimi dettagli e interagendo con esse per capirne e provarne il funzionamento. L'interattività *touchless*, tecnologia realizzata da Stark, consente di orientare, caricare e gestire la forza del lancio della Balestra, seguire il percorso dell'Odometro trainato da un cavallo e visualizzarne ogni singolo ingranaggio e infine scomporre le parti dell'Orologio ad acqua e studiarne i meccanismi (Fig. 6).

Questo concept è stato ideato dai visual designer Paolo Buroni e Alex Buroni con l'intento di ricreare un rapporto emozionale tra il visitatore e le opere, dando vita a un'esperienza di vera interazione con esse. Un risultato, questo, frutto dell'esperienza ventennale della Stark costruttore e partner tecnico dell'allestimento.

Grazie a una costruzione modulare e compatta lo *Stark Image Wall* permette di creare pareti video ultrasottili di qualsiasi dimensione e forma con un'estrema flessibilità di installazione, generando scenari immersivi e interattivi molto spettacolari. Non più monitor al centro di una parete ma un'intera superficie digitale capace di trasformare completamente la percezione dello spazio in cui ci troviamo aprendo uno scenario sul mondo.

Nella versione *Holo* offre la possibilità di visualizzare vere e proprie immagini tridimensionali che sembrano “galleggiare nell'aria” grazie all'esclusiva superficie *StarkHolofoil* che oltre a conferire un'estetica elegante e raffinata, anche da spenta, garantisce un effetto 3D.

Nella sua versione interattiva permette all'osservatore di interagire senza alcun tocco con le immagini creando racconti personalizzati ideali per tutte le esigenze museali di approfondimento e per ottenere straordinari effetti speciali in sincronia con i movimenti del pubblico. (Fig.7).

Queste modalità permettono di interpretare in maniera del tutto innovativa architetture e design di interni per ville e showroom, e nell'ambito museale grazie agli effetti speciali 3D e interattivi offrono un'esperienza unica al visitatore mettendolo a contatto emozionale con le opere d'arte. È possibile quindi con semplici gesti ricostruire il congegno di Leonardo partendo dai suoi diversi meccanismi isolati e ricomposti (Fig.9); è possibile, sempre con gesti intuitivi, ingrandire ogni particolare fino al minimo dettaglio accompagnati da apparati didattici e illustrativi che permettono una comprensione esperienziale e sensoriale del suo funzionamento.



Fig. 6 - L'osservatore interagisce con la macchina con il semplice movimento delle mani, azionandola o scomponendola per comprendere il funzionamento dei diversi meccanismi che la compongono.

Fig. 7 - Una volta selezionato il modello è possibile interagire senza più il bisogno di toccare lo schermo. Il movimento della macchina risponde in maniera sincrona al movimento delle mani dell'osservatore.

CONCLUSIONI

È auspicabile, dunque, la costituzione di un patrimonio digitale della meccanica leonardiana che sfrutti le possibilità concesse dalle moderne tecnologie per nuove forme di indagine, di fruizione, di narrazione e di comprensione. Un approccio digitale ad una materia così complessa scioglie nodi spesso legati all'incomprensibilità dei disegni e all'articolato passaggio dal momento dell'ideazione a quello della rappresentazione, permettendo inoltre di aggiungere quello del funzionamento.

I modelli fisici delle macchine leonardiane non sono in grado di descrivere pienamente questo passaggio, non permettendo variazioni o simulazioni che la natura digitale della ricostruzione consente invece di verificare. Le tecniche di ricomposizione digitale accoppiate a quelle descritte per la fruizione statica e dinamica consentirebbero di creare oggi un nuovo e completo repertorio digitale delle macchine leonardiane e, come in questo caso specifico, di ricostruirne anche il processo di creazione attraverso nuove forme di ricognizione e confronto con le fonti. Proprio la possibilità di esplorare i meccanismi leonardiani in scala reale ha permesso un confronto più diretto con la fonte primaria vitruviana mettendone "meccanicamente" in evidenza analogie e reinterpretazioni. Si sono inoltre descritte e definite metodiche e buone pratiche tecnologiche per il passaggio dal modello cognitivo a quello comunicativo generando modalità di interazione che rendono fruibile e comprensibile il disegno di una macchina pensata dinamicamente ma che il disegno limita naturalmente in una sua forma parziale e statica. Le nuove piattaforme di realtà aumentata e virtuale, attivate nella filiera presentata, restituiscono invece quei disegni nella forma del pensiero dell'artista ricreando per tutti (in particolar modo per il mondo della scuola e della formazione) quel fascino e quella suggestione che permettono di penetrare con sempre maggiore attenzione e precisione e con percezioni sensoriali multiple la mente del più grande genio della nostra storia.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare il Comune di Fano per l'organizzazione della mostra "Leonardo e Vitruvio. Oltre il cerchio e il quadrato." ed i suoi curatori il Prof. Guido Beltrami, la Prof.ssa Francesca Borgo e il Prof. Paolo Clini; il Prof. Massimo Callegari e l'Ing. Stefano Brillarelli del Dipartimento di Ingegneria Industriale e Scienze Matematiche dell'Università Politecnica delle Marche per lo studio dei disegni leonardiani dal punto di vista della meccanica e per la

modellazione digitale delle tre macchine. Si ringrazia inoltre l'Arch. Adriana Formato del Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Architettura dell'Università Politecnica delle Marche per le scelte grafiche nella realizzazione dell'applicazione di realtà aumentata.

BIBLIOGRAFIA

- Bacca, J. et al. (2014). Augmented reality trends in education: A systematic review of research and applications, *Educational Technology and Society* 17(4), 133-149.
- Clini, P., Nespeca, R. & Ruggeri, L. (2017). Virtual in real. Interactive solutions for learning and communication in the national archaeological museum of Marche, in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 647-654. doi: 10.5194/isprs-archives-XLII-5-W1-647-2017.
- Damala, A. et al. (2013). Exploring the Affective Museum Visiting Experience: Adaptive Augmented Reality (A 2 R) and Cultural Heritage, in *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 2(1), 117-142. doi: 10.1260/2047-4970.2.1.117.
- Guttentag, D. A. (2010). Virtual reality: Applications and implications for tourism, in *Tourism Management*, 31(5), 637-651. doi: 10.1016/j.tourman.2009.07.003.
- Liarokapis, F. (2007). An augmented reality interface for visualizing and interacting with virtual content, in *Virtual Reality*, 11(1), pp. 23-43. doi: 10.1007/s10055-006-0055-1.
- Yuen, S. C.-Y., Yaoyuneyong, G. and Johnson, E. (2017). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education, *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1). doi: 10.18785/jetde.0401.10.

ABSTRACT

The development of tools for digital representation and the diffusion of media to display it offer an effective mean for the creation and dissemination of cultural contents. This article presents a research work for the exhibition "Leonardo e Vitruvio. Oltre il cerchio e il quadrato." hosted in the city of Fano for the celebration of the 500th anniversary of Leonardo's death. Starting from the original drawings exposed, Leonardo's crossbow, odometer and water clock were 3D modelled reproducing up to the smallest component and virtually simulating their exact functioning. Hence, two different applications were developed using these digital reconstruction to support visitors. They explain the represented machines from conception to use and compare Leonardo's models with those of the past, making possible a dynamic fruition that goes beyond the passive experience of contemplating the original work of art.

PAROLE CHIAVE

LEONARDO; RAPPRESENTAZIONE DIGITALE; REALTÀ AUMENTATA; REALTÀ VIRTUALE; ALLESTIMENTI MUSEALI

AUTORE

PAOLO CLINI P.CLINI@UNIVPM.IT
 RENATO ANGELONI R.ANGELONI@PM.UNIVPM.IT
 MIRCO D'ALESSIO M.DALESSIO@PM.UNIVPM.IT
 DICEA
 DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E ARCHITETTURA
 UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE
 PAOLO BURONI INFO@STARK1200.COM
 ALEX BURONI ALEX@STARK1200.COM
 STARK, CREATIVE DESIGN & ADVANCED TECHNOLOGY