

3D Documentation of an ancient wooden lock of the Navigli canals in Milan, based on da Vinci's studies

KERMES

107

DIGITAL SURVEY AND 3D DIGITALIZATION

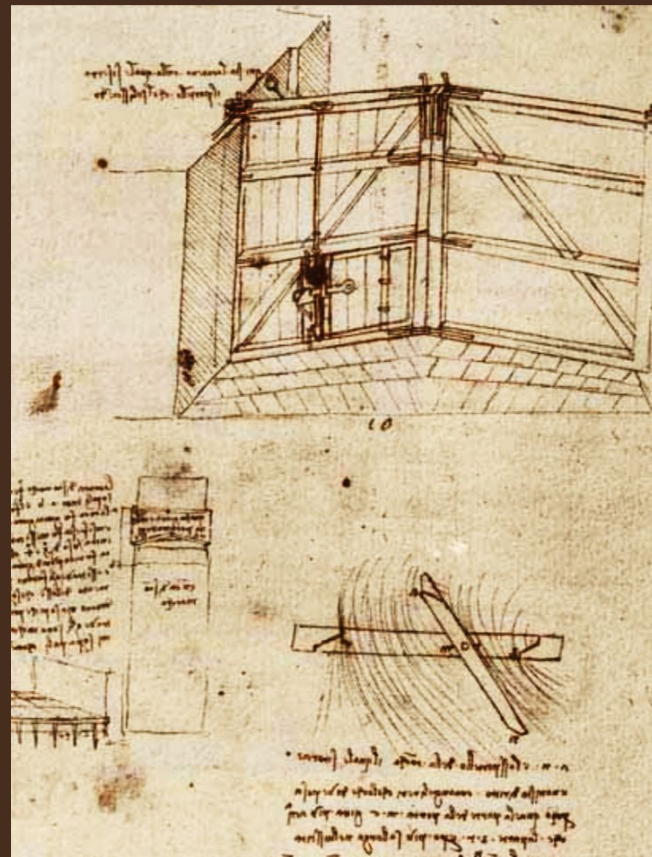
Presentazione di Chiara Catallo

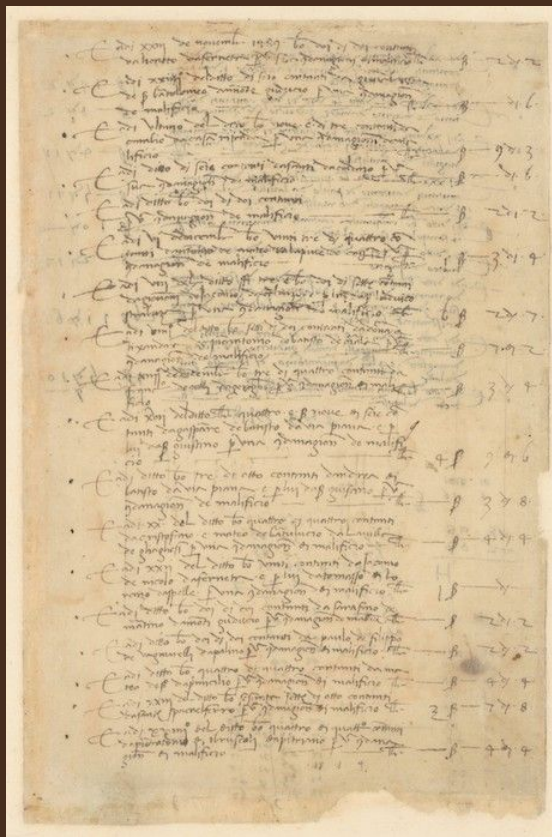
INTRODUZIONE

Questo articolo è incentrato sulla **documentazione 3D** nell'ambito di uno studio multidisciplinare su una **coppia di porte in legno** appartenenti a una **chiusa di un canale d'acqua**, ora conservate al **Museo Nazionale della Scienza e della Tecnologia Leonardo da Vinci (MUST)** di Milano.

L'obiettivo primario del progetto è stato quello di **promuovere** tali porte, **reintegrando** nel **patrimonio collettivo** della città, **restituendo** loro **dignità storica e artistica**.

Per raggiungere questo scopo, gli oggetti sono stati studiati nel dettaglio, a partire dall'acquisizione delle materie prime e dalla loro lavorazione, passando per la produzione e la distribuzione, l'uso, il riuso e lo scarto. Dunque, l'attenzione è stata posta sulla **storia dei canali** e delle **vie d'acqua di Milano**.





Tra il 1457 e il 1471 l'ingegnere ducale Bertola da Novate costruì il **Canale della Martesana**. Negli anni successivi, alcune chiuse furono incorporate e documentate da Leonardo da Vinci nei suoi disegni.

Il Museo della Scienza e della Tecnologia contiene diversi elementi relativi a varie chiuse del sistema dei canali di Milano. I componenti che sono stati esaminati includono:

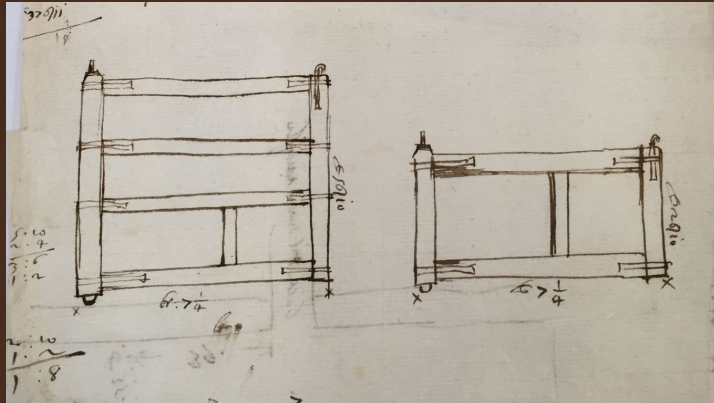
- 1) una **coppia completa di paratoie** appartenenti alla stessa chiusa, ciascuna con una piccola apertura controllabile;
- 2) un **set di pezzi di una paratoia** in legno smontata;
- 3) alcuni **componenti in pietra** che probabilmente rappresentano la struttura sommersa che bloccava la rotazione della paratoia quando la porta era chiusa.

Il lavoro è stato incentrato sulle chiuse meglio conservate e il cui peso è di un centinaio di chili, pertanto è stato utilizzato un complicato sistema per la loro movimentazione. Dopo di che, sono state posizionate su strutture appositamente progettate in modo da facilitare ogni genere di intervento.

HISTORICAL CONTEXT AND PLACEMENT IN THE MUSEUM

La chiusa lignea dei Navigli è considerata un'eccellenza del **patrimonio culturale lombardo** del **XV secolo**.
Ma che cos'è una chiusa?

- La **chiusa** era un dispositivo tecnico che consentiva la navigazione continua attraverso i canali milanesi e quindi dava origine a un fiorente commercio.



Leonardo da Vinci, fin dal suo arrivo a Milano nel 1482, studiò approfonditamente la materia per comprenderne l'ingegneria idraulica e fu in grado di offrire preziose miglierie a soluzioni già esistenti nel territorio circostante. Il riferimento più diretto è il noto disegno della **chiusa di San Marco**, rinvenuto nel **Codice Atlantico**.

1929-30: la rete dei Navigli abbandonata, il canale interno coperto e le autorità preservano le chiuse della Martesana in quanto di interesse storico.

1935: rimosse le porte della chiusa di San Marco.

1967: rimosse le porte provenienti dalla chiusa di Cascina dei Pomi.

Dopo vari spostamenti, le due porte sono state identificarle ed è stato effettuato un confronto sia fotografico che tecnico tra le paratoie e la documentazione presente negli archivi recuperati.

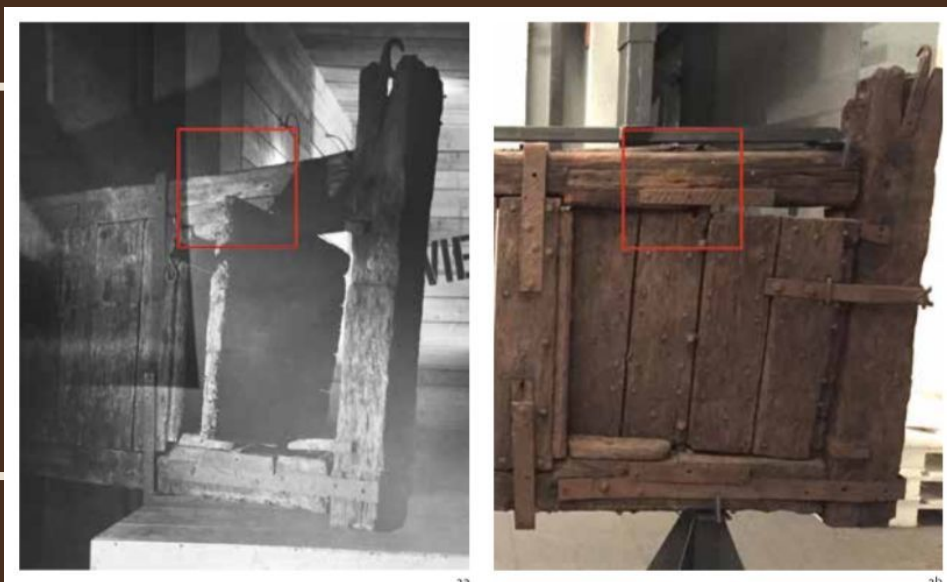


3D DIGITAL SURVEY AND MODELING

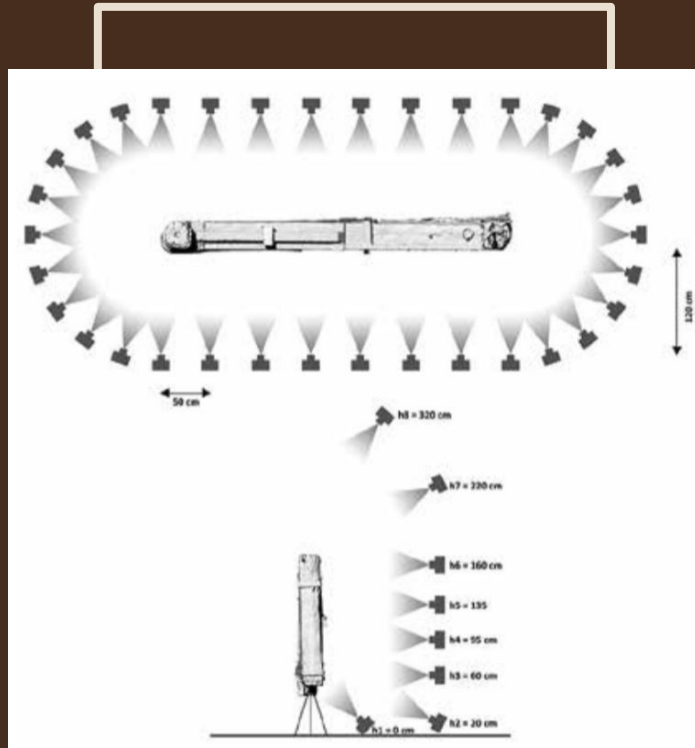
Uno dei punti cruciali dello studio condotto sulle porte è stata la loro digitalizzazione e modellazione 3D mirata a:

- **produrre una replica digitale** delle stesse da utilizzare come riferimento geometrico per misurare accuratamente il manufatto e i suoi componenti, come **riferimento visivo** texturizzato ad alta risoluzione e come “**blocco note 3D**” per allegare sulla sua superficie annotazioni e risultati provenienti da altre analisi;
 - **sezionare virtualmente il manufatto** per studiare lo spessore e la deformazione delle varie assi di legno che compongono ogni porta;
 - **posizionare** le due porte in un **unico sistema di riferimento** per verificare la loro reale appartenenza alla stessa serratura, simulando anche i movimenti relativi dei diversi componenti.
-

Il manufatto è stato digitalizzato con un approccio fotogrammetrico utilizzando la tecnica **Structure-from-Motion/Image Matching (SfM/IM)** che non comporta l'uso di attrezzature specifiche e ingombranti sul campo. Questa scelta è stata motivata dalla difficoltà pratica nel maneggiare oggetti così pesanti e dalla necessità di interagire negli stessi luoghi con altri gruppi di ricerca cercando di ridurre al minimo qualsiasi interferenza con il loro lavoro.



Chiusa di San Marco,
1950.



L'elaborazione **fotogrammetrica** è stata effettuata con **Agisoft PhotoScan**, con un'impostazione che prevede la generazione di un punto 3D ogni quattro pixel dell'immagine. Considerando la lunghezza focale dell'**obiettivo** utilizzato (**24 mm**) e la **dimensione dei pixel** ($4,78 \times 4,78 \mu\text{m}$), la **distanza** tra la fotocamera e l'oggetto è stata impostata a **120 cm**.

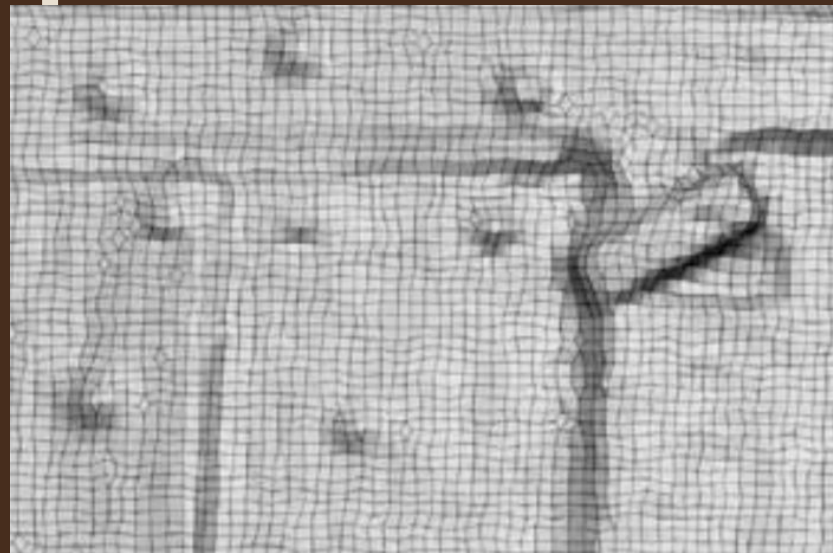
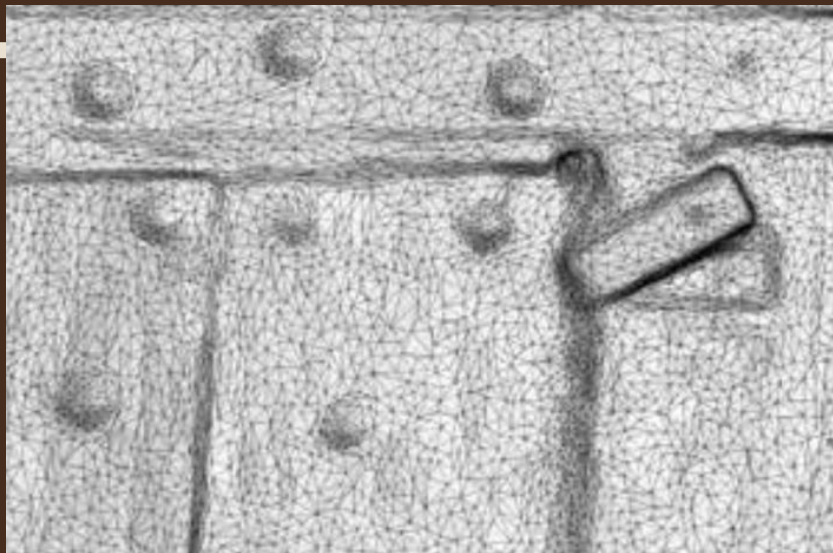
10 coppie di target codificati sono state posizionate attorno all'artefatto, riconoscibili automaticamente dal software fotogrammetrico. Sono state misurate alcune distanze tra target e target e utilizzate come riferimenti per la scalatura del progetto fotogrammetrico. Ogni cancello è stato catturato con circa **250 fotografie** paesaggistiche scattate a 1,2 m di distanza dalla superficie della fotocamera. Il set di immagini è stato generato **spostando la telecamera di 0,50 m** orizzontalmente tutt'intorno a ogni cancello, creando loop di immagini a diverse altezze.

Uno degli scopi del modello 3D era generare **video-animazioni** per mostrare il funzionamento della chiusa per la gestione dei livelli dell'acqua. È stato svolto un particolare lavoro di post-produzione per:

- a) **l'ottimizzazione del modello 3D acquisito;**
- b) **la suddivisione semantica delle diverse parti;**
- c) **l'animazione keyframe.**

I modelli 3D ottenuti tramite acquisizione digitale hanno in generale un'alta qualità, ma sono costituiti da una mesh con un numero enorme di **poligoni**. Il **processo di ottimizzazione** mira a ridurre il numero di poligoni del modello 3D quando ridondanti, mantenendo la **coerenza metrica** con quella originale. Il modello 3D ad alta risoluzione costituito da una fitta maglia di **poligoni triangolari**, è stato quindi ri-topologizzato con una nuovissima struttura di **poligoni quadrangolari** disposti sulla maglia originale.

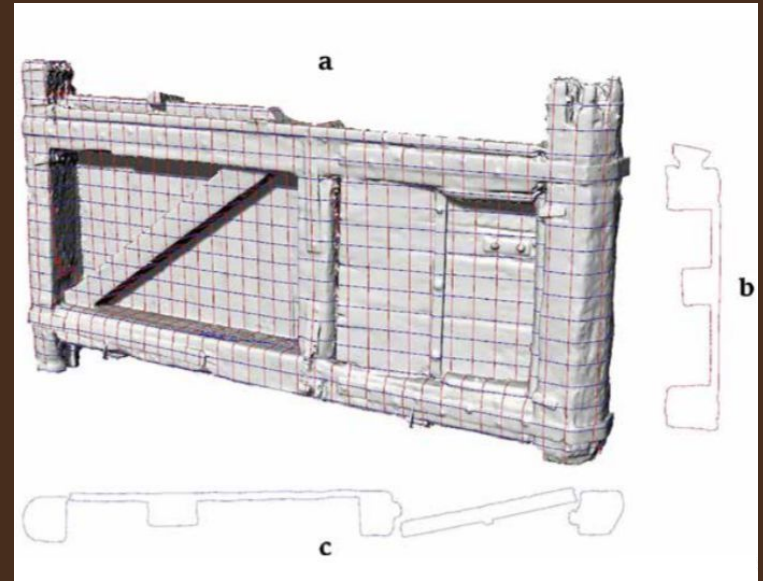
Dopo la semplificazione, ogni modello è stato **segmentato** in parti secondo **criteri semantici**, per ottenere diversi oggetti digitali indipendenti a partire dalla stessa mesh univoca. La segmentazione ha dato origine a un **modello 3D** composto da **4 livelli**, ciascuno contenente un singolo modello di mesh: **cancello sinistro, meccanismo del cancello sinistro, cancello destro, meccanismo del cancello destro.**



APPLICATIONS OF THE 3D MODEL

Grazie al **modello 3D digitale**, gli studiosi hanno avuto l'opportunità di osservare gli oggetti da ogni angolazione possibile. Invece, grazie all'**alta risoluzione** del modello geometrico e della **texture** associata, e grazie alla **flessibilità** intrinseca della **visualizzazione 3D**, il modello poteva essere facilmente ingrandito anche oltre la scala 1:1.

- La versione digitale della serratura e dei suoi componenti è stata utilizzata, ad esempio, per **riposizionare correttamente** le varie parti e in modo diverso da come erano disposte nella mostra, con le due porte della serratura non vicine tra loro e con una porta capovolta rispetto all'altra.



Nell'uso di modelli tridimensionali c'è la possibilità di utilizzarli per eseguire vari tipi di **simulazioni**. Grazie a questi modelli è stato possibile, ad esempio, simulare il **movimento** delle diverse parti, i cancelli principali e le piccole porte, durante le varie fasi di gestione dei livelli dell'acqua nel passaggio di imbarcazioni da un livello superiore a uno inferiore e ritorno. Dopo di che, è stata progettata un **animazione key-frame** in cui i diversi componenti del modello 3D sono impostati in configurazioni specifiche di tempo e in diverse posizioni, creando una scena in movimento.



DISCUSSION AND CONCLUSIONS

L'uso di **approcci interdisciplinari** è cruciale per scoprire nuove informazioni su un bene del patrimonio. La modellazione 3D basata sulla realtà e sull'acquisizione digitale accurata della forma e dell'aspetto visivo dell'oggetto in studio, ha dimostrato di essere uno strumento essenziale per supportare questo approccio.

- Può essere infatti utilizzato come riferimento per **associare analisi diverse** allo stesso manufatto, come immagini RX, datazione C14, mappatura del DNA dei materiali organici coinvolti, ecc.

L'indagine sulle porte della chiesa conservate al MUST dimostra come, anche su manufatti di dimensioni limitate, un modello digitale 3D sia di per sé una **forma di documentazione** molto utile. La presenza di un modello 3D consente di testare rapidamente diversi posizionamenti dei componenti in uno spazio digitale e questa **flessibilità** rappresenta un aiuto significativo in particolare per i **manufatti mal conservati** e **spezzati** in più parti che devono essere ricollegate nello spazio per riacquistare il loro **senso originario**.

In conclusione, i lavori svolti confermano che la modellazione 3D basata sulla realtà di un manufatto è un passaggio cruciale per lo studio di un oggetto del patrimonio la cui origine non è chiara, soprattutto quando è costituito da parti diverse la cui coerenza geometrica può confermare o meno particolari ipotesi storiche.

Tutti questi report, utili in generale per studiare l'origine e il profilo storico di un oggetto del patrimonio, sono anche una documentazione di supporto per qualsiasi futura azione di restauro. L'associazione di tali dati con il modello 3D migliorerebbe ulteriormente la leggibilità e l'usabilità di tali informazioni.

