

S M
M U
A S
R E
T U
T U
M

MICHELA CIRELLI

Procedure algoritmiche per la
rappresentazione e gestione degli
allestimenti museali.
Il caso della sala delle esposizioni
temporanee del Museo Egizio di Torino.

SMART MUSEUM

Procedure algoritmiche per la
rappresentazione e gestione degli
allestimenti museali.

Il caso della sala delle esposizioni
temporanee del Museo Egizio di Torino.



Politecnico di Torino
Corso di Laurea Magistrale
in Architettura Costruzione Città
Anno Accademico 2018 / 2019

Candidata | Michela Cirelli

Relatore | Massimiliano Lo Turco

Correlatore | Michele Calvano

Correlatrice | Fiammetta Venuti

*"...dall'alto di un cielo, Diamante,
i nostri occhi vedranno."*

Alla mia famiglia



INTRODUZIONE

Strategie digitali per il museo

Strategie digitali per la gestione dell'allestimento

PROGETTARE PER ALGORITMI: L'IMPORTANZA DEI DATI

Progettare per algoritmi

L'ambiente contenitore

Il contenuto

ANALISI DEL DATO: PROCEDURE PARAMETRICHE

Definizione del campo grafico

Algoritmi per la visualizzazione del dato

| Idoneità ambientale

| Isovista

| Campi di vettori

SIMULAZIONE DEI FLUSSI

Analisi comportamento visitatori in ambiente museale

Agent based model per la simulazione del
comportamento dei visitatori

Algoritmi per la prefigurazione dei flussi

LA SALA DELLE ESPOSIZIONI TEMPORANEE

La sala delle esposizioni temporanee: "*Archeologia Invisibile*"

La procedura *Smart Museum*

| Il contesto e le collezioni: analisi per la corretta
conservazione preventiva

| Analisi della qualità visiva della sala

| Il potere attrattivo delle opere esposte

| La simulazione del flusso di utenza

Valutazione simulazione

CONCLUSIONI E CONSIDERAZIONI FINALI

— PREFAZIONE —

I reperti collezionati negli spazi museali sono caratterizzati da valori formali e valori invisibili, quest'ultimi sono attributi che si generano nel tempo e derivano principalmente dai trascorsi storici, artistici, sociali e mediatici che hanno caratterizzato gli oggetti esposti; proprietà informali importanti tanto quanto i valori formali dell'opera. La relazione ponderata tra questi valori contribuisce a creare un peso attrattivo dell'opera all'interno del progetto espositivo e per questo diventano oggetto di analisi per una corretta prefigurazione dei flussi di visitatori.

La tesi illustra lo sviluppo dell'applicativo *Smart Museum*, uno strumento di supporto al progettista per la gestione e rappresentazione degli allestimenti museali e dei flussi di utenza al loro interno attraverso procedure e approcci di tipo algoritmico. Le procedure di analisi racchiuse in *Smart Museum* consentono di mostrare attraverso delle grafiche i fenomeni complessi che si generano dall'interazione tra lo spazio architettonico (contenitore), gli elementi esposti al suo interno (contenuto) e gli utenti e di valutarne gli effetti sull'esperienza del visitatore. La connessione degli strumenti di analisi agli strumenti di modellazione parametrica apre le porte a processi di ottimizzazione, dove l'ipotesi progettuale diventa modello di verifica della qualità dell'allestimento e gli strumenti comunicano in un processo ad anello per trovare una soluzione maggiormente performante ed efficiente in termini di progettazione di ambienti fluidi a garanzia di un'esperienza museale efficace.

La procedura ideata, una volta automatizzata diventa un prodotto a supporto dell'allestitore per controllare il progetto di allestimento ed eventualmente renderlo più efficiente rispetto alle qualità degli oggetti esposti.

|

INTRODUZIONE

Strategie digitali per il museo

Il mondo dei musei si trova in una fase di cambiamento e trasformazione, in risposta ai numerosi progressi che stanno avvenendo nel campo della tecnologia nella società moderna. La tecnologia ha influenzato in modo sostanziale ogni aspetto della nostra vita, avendo effetto non solo sulla routine quotidiana ma sul modo in cui le persone si relazionano, si avvicinano e comunicano (Wayne Clough, 2012). I progressi digitali hanno dato alle persone l'opportunità di beneficiare del miglioramento delle strutture e dei servizi che derivano dall'uso di queste nuove tecnologie. Il successo delle nuove tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) si basa in particolare sulla capacità di questi strumenti di accelerare e semplificare le azioni delle persone, modificando il loro modo di comportarsi e pensare (Hempell et al., 2004).

Gli sviluppi nel settore tecnologico non si limitano ad ambiti selettivi, ma abbracciano settori disparati della società. Di conseguenza, tutte le istituzioni, compresa quella museale, sono state travolte dall'innovazione tecnologica. Per far fronte alle esigenze di una società in rapido cambiamento, i musei devono essere in grado di gestire e conformarsi con le diverse richieste poste dai cambiamenti sociali. La digitalizzazione per i musei diventa quindi essenziale per continuare ad essere rilevanti nella società di oggi. La necessità di adeguarsi alla nuova società dell'era digitale improntata sulla tecnologia si concretizza nella volontà dei musei di seguire dinamiche completamente nuove, che inducono queste istituzioni ad adattarsi ad un approccio digitale alla cultura e a rinnovare i loro mezzi di comunicazione della loro offerta al mondo (Pascual, 2012).

Lo sviluppo crescente delle tecnologie dell'informazione e della comunicazione (ICT) incoraggiano i musei a perseguire approcci unici e innovativi che consentono loro di confrontarsi e interagire, con i mezzi appropriati, sia con

il visitatore che con l'ambiente circostante e, allo stesso tempo, procedendo verso la loro missione primaria di conservazione e divulgazione della cultura del sapere. Il continuo stimolo dei musei a intraprendere attività sempre più innovative si traduce nella capacità di queste istituzioni di operare in modo più coinvolgente e interattivo, non solo nei confronti del pubblico ma dell'ente museale nel suo complesso.

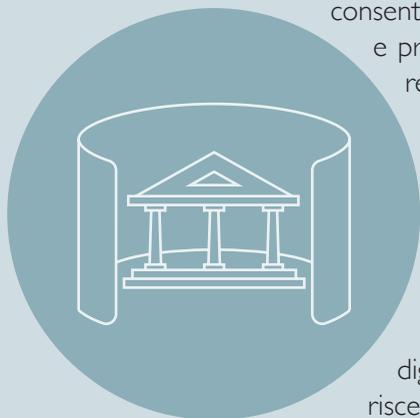
L'introduzione del digitale nelle dinamiche gestionali del museo conduce inevitabilmente l'organizzazione e gli operatori a ripensare e reinventare sé stessi, la loro missione, strategia, il modo in cui servono il pubblico, inducendoli a riflettere su come gestire e organizzare l'acquisizione di nuove conoscenze, competenze e mentalità.

L'utilizzo delle nuove tecnologie può aiutare ad aumentare le opportunità di scambio, accessibilità e partecipazione, aprendo le istituzioni culturali a nuove possibilità.

Nell'attuale panorama delle tecnologie in ambito museale si possono distinguere tre principali ambiti di applicazione:

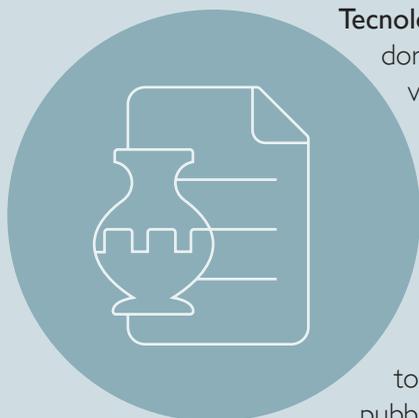
Tecnologie per la promozione della cultura, ovvero tutti gli strumenti tecnologici utilizzati dal museo per aumentare il grado di partecipazione del visitatore e l'accessibilità ai contenuti del museo sia prima che dopo la visita, il tutto tramite l'utilizzo dei social media e siti web dedicati. Attraverso queste piattaforme i musei possono diffondere e valorizzare il proprio patrimonio culturale più facilmente e raggiungere un pubblico più vasto, abbattendo i confini geografici. L'utilizzo del web e dei social inoltre

consentono di analizzare le esigenze e preferenze degli utenti per creare esperienze sempre più personalizzate e adeguate alle varie tipologie di pubblico.



Tecnologie per l'esperienza museale, riguardano gli strumenti utilizzati dal museo al fine di fornire esperienze significative durante la visita attraverso l'uso della tecnologia digitale. Per esperienze significative non ci si riferisce solamente all'utilizzo di tecnologie quali realtà

umentata, realtà virtuale, schermi multimediali interattivi che consentono di instaurare un rapporto opera-visitatore più coinvolgente, ma anche tutte quelle tecnologie smart che consentono di fornire informazioni e contenuti supplementari sulle opere esposte, aumentando l'apprendimento e guidando il visitatore verso diversi livelli di esperienza.



Tecnologie per le attività gestionali e organizzative, che comprendono gli strumenti atti a migliorare i processi di gestione della vita museale, a partire dai sistemi innovativi di archiviazione e digitalizzazione delle collezioni, fino ad arrivare all'utilizzo di procedure e tecnologie per facilitare e rendere maggiormente efficiente il flusso di lavoro quotidiano. La tecnologia utilizzata per la digitalizzazione delle opere consente di ricreare oggetti in versione digitale, promuovendo una maggiore facilità e velocità di accesso a tutta una serie di informazioni sulle collezioni memorizzate. La tecnologia, sotto forma di digitalizzazione del patrimonio, permette al vasto pubblico e agli stessi professionisti del settore di manipolare tutta una serie di informazioni relative alle singole opere per intraprendere progetti innovativi che coniugano differenti discipline.

Come si è visto, il processo di trasformazione dovuto all'introduzione delle nuove tecnologie non riguarda solamente il ripensamento in chiave digitale degli allestimenti tramite l'inserimento di strumenti interattivi e personalizzati per creare esperienze più coinvolgenti e significative, oppure la possibilità di ampliare l'esperienza conoscitiva e l'accessibilità attraverso l'utilizzo dei social media o siti web dedicati che favoriscono la democratizzazione del sapere. Le tecnologie digitali sono un mezzo per raggiungere la missione e gli obiettivi del museo e per questo motivo influenzano tutti gli ambiti e il lavoro del personale.

Le nuove tecnologie all'interno dei musei rivestono una notevole importanza non solo per l'utente, che soddisfa le sue esigenze attraverso l'esperienza museale efficace, ma soprattutto per il museo stesso, che può implementare il suo servizio favorendo una migliore valorizzazione del suo patrimonio (Srinivasan, 2009). L'introduzione delle tecnologie digitali nel flusso di lavoro tradizionale consente, infatti, di rendere i processi gestionali più fluidi ed efficienti sia per la gestione delle collezioni nonché per la complessa fase di progettazione degli allestimenti.



Heydar Aliyev Center, Baku, Zaha Hadid Architects, foto di Helene Binet

Strategie digitali per la gestione dell'allestimento

Un altro ambito museale fortemente influenzato dallo sviluppo tecnologico riguarda la gestione degli allestimenti. Così come sta avvenendo nel mondo dell'architettura, anche la gestione dell'allestimento museale sta andando incontro a nuove dinamiche progettuali, per rispondere con maggiore efficienza alle problematiche che curatori e progettisti si trovano a dover affrontare nel loro quotidiano. Lo sviluppo tecnologico, infatti, può apportare significanti benefici in termini di ottimizzazione dei tempi, costi e livelli prestazionali nel campo della progettazione degli allestimenti, ciò nonostante gli architetti mostrano ancora difficoltà a impegnarsi pienamente in un processo completamente digitale.

Nel campo degli allestimenti museali, attualmente, l'utilizzo della tecnologia si limita a scopi di rappresentazione e comunicazione dell'idea progettuale, convertendo sostanzialmente i mezzi tradizionali di rappresentazione in strumenti digitali. Per sfruttare a pieno le potenzialità offerte dal digitale occorre compiere una trasformazione in termini di come viene percepito il ruolo della tecnologia all'interno del processo progettuale. Le risorse digitali non devono essere considerate come semplici strumenti di produttività, ma il mezzo per poter sperimentare le diverse possibilità progettuali. Per fare questo occorre esplorare tutto il potenziale degli strumenti che si hanno a disposizione.

Le ultime frontiere della progettazione digitale hanno rivoluzionato il ruolo del modello nel processo progettuale, trasformandolo da elemento di rappresentazione grafica a modello informatizzato ad elevata interazione in grado di gestire informazioni di vario tipo e sul quale è possibile effettuare analisi e simulazioni per raggiungere l'obiettivo di creare ambienti con un sempre più elevato livello di efficienza in termini di qualità della fruizione degli spazi. L'integrazione di strumenti di analisi, valutazione e simulazione nel

processo progettuale è possibile tramite l'utilizzo di software di modellazione parametrica e scripting algoritmico, che consentono di incorporare nel modello architettonico un'ampia rete di informazioni che permette la gestione dei dati relativi alle interazioni tra lo spazio architettonico (contenitore), gli elementi presenti al suo interno (contenuto) e gli utenti. La connessione degli strumenti di analisi agli strumenti di modellazione parametrica apre le porte ai processi di ottimizzazione, dove i due strumenti comunicano in un processo ad anello fino a trovare una soluzione maggiormente performante ed efficiente.

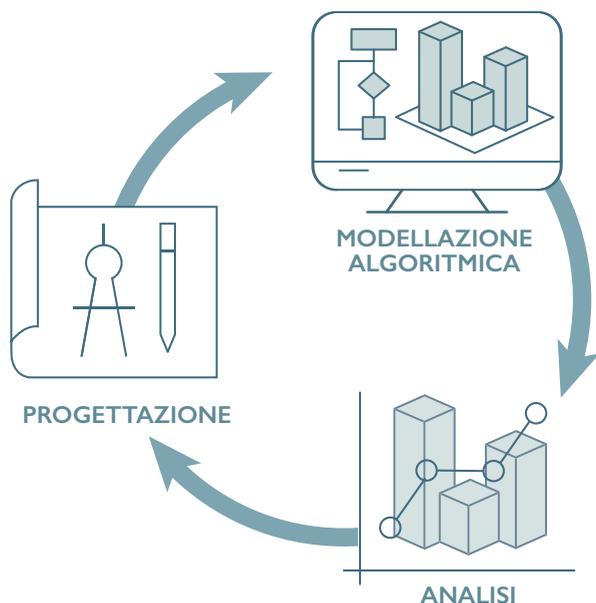


Figura 1 - Rappresentazione schematica del processo ad anello di collaborazione tra strumenti integrati.

L'avvicinamento al progetto attraverso la programmazione algoritmica, rispetto ai tradizionali programmi di modellazione, necessita di un approccio di tipo logico/matematico che rivoluziona le modalità di progettazione. Progettare per algoritmi, infatti, significa esplicitare la sequenza logica formulata per raggiungere un obiettivo progettuale. L'architetto non costruisce direttamente il modello, ma esplicita le procedure di generazione delle idee che si manifestano attraverso immagini, grafiche e il modello virtuale 3D.

Si parla di Visual Programming Language (linguaggio di programmazione visuale) applicato ai software di modellazione 3D avanzati, in cui l'utente manipola gli elementi del procedimento logico graficamente anziché tramite sintassi scritta, con il vantaggio di poter visualizzare i vari stati del processo in itinere. La progettazione del processo consente di creare associazioni tra geometrie e dati attraverso la gestione di parametri definiti dall'utente, generando modelli parametrici dinamici che consentono di esplorare scenari

progettuali alternativi al cambiamento delle variabili imposte. L'approccio algoritmico al progetto necessita uno sforzo maggiore in quanto al designer viene richiesto di trasformare le idee astratte in istruzioni precise. Tuttavia, i vantaggi di tale approccio sono enormi. La modellazione algoritmica, ovvero la definizione di modelli tridimensionali mediante algoritmi (Tedeschi, 2011), permette di lavorare in un ambiente virtuale condiviso nel quale l'interazione di diverse discipline quali informatica, programmazione, scienze matematiche, design e, nel caso del museo, le discipline che si occupano della gestione e del progetto degli spazi e delle collezioni museali, convergono per dare vita a scenari progettuali innovativi e creativi. L'approccio algoritmico al progetto non crea prodotti finali, ma è veicolo di esplorazione (Terzidis, 2003): porta ad avere un maggior controllo sul procedimento, rafforza la creatività dell'architetto, aiuta ad esplorare nuove soluzioni senza rinchiuderlo in rigidi schemi imposti dall'utilizzo in modo tradizionale del software.

La modellazione algoritmica applicata al campo museale consente di associare alla rappresentazione virtuale 3D procedure di simulazione e analisi, parallelamente allo sviluppo architettonico del progetto, traducendo l'ipotesi progettuale in un modello di verifica della qualità dell'allestimento. La progettazione di ambienti fluidi è fondamentale per garantire un'esperienza museale efficace, che connetta l'opera e l'utente per perseguire la missione di diffusione del sapere. Al fine di perseguire questo obiettivo, la possibilità di effettuare analisi riguardanti la prefigurazione del flusso di utenza che fornisce informazioni su come i visitatori si muovono all'interno di un ambiente oppure analisi che riguardano la corretta esposizione di un oggetto dal punto di vista delle esigenze conservative e della sua corretta visibilità, consente di supportare il progettista nel controllo del progetto di allestimento ed eventualmente renderlo più efficiente rispetto alle qualità degli oggetti esposti. L'analisi integrata al processo di progettazione può aiutare il miglioramento della progettazione in modi diversi, trasformandosi in un ciclo di feedback dinamico che influisce continuamente sul processo di progettazione.

Inserendoci in questo contesto di implementazioni tecnologiche, la tesi presenta lo sviluppo dell'applicativo *Smart Museum*, uno strumento di supporto al progettista per la gestione e rappresentazione degli allestimenti museali e dei flussi di utenza al loro interno attraverso procedure e approcci di tipo algoritmico. Si propone una prefigurazione del flusso di utenza a partire dallo sviluppo di procedure che consentono l'attribuzione di un peso attrattivo all'opera d'arte all'interno del progetto espositivo, generato dalla relazione ponderata tra valori formali e valori invisibili, ovvero attributi che si generano nel tempo e derivano principalmente dai trascorsi storici, artistici,

sociali e mediatici che hanno caratterizzato gli oggetti esposti. L'individuazione del valore di attrattività consente di considerare l'opera come oggetto di analisi per una corretta prefigurazione dei flussi di visitatori. La definizione dei criteri per la progettazione e la gestione degli allestimenti e dei flussi di utenza può avvenire tramite sistemi informativi integrati: lo sviluppo di modelli dinamici può configurarsi come un utile strumento per valutare scenari alternativi e sperimentare l'efficacia degli allestimenti e la progettazione di percorsi narrativi differenti, per razionalizzare i flussi a favore della sicurezza e per garantire all'utente un'esperienza museale efficace.

La possibilità offerta dai software di modellazione parametrica e scripting algoritmico di lavorare in un ambiente virtuale consente di simulare i fenomeni complessi che si generano dall'interazione tra l'ambiente (contenitore) e gli elementi esposti al suo interno (contenuto). Lavorare per simulazioni e prefigurazione dei comportamenti offre al progettista l'opportunità di sperimentare attraverso prove per errore differenti configurazioni e di verificare la qualità dell'allestimento tramite strumenti di analisi integrati già dalle prime fasi progettuali. La prefigurazione dei flussi in relazione alle caratteristiche fisiche e culturali che contraddistinguono le opere e l'ambiente espositivo consente di simulare il comportamento dei visitatori per individuare le eventuali criticità dell'allestimento ideato, come le zone di affollamento o di scarso interesse. Queste analisi, svolte in parallelo alla realizzazione del progetto architettonico, offrono l'opportunità al progettista di ripensare la disposizione delle collezioni e dell'arredo in modo più opportuno a fronte delle valutazioni ricavate dalla simulazione e di gestire, di conseguenza, il flusso in modo più intelligente e fluido.

L'ideazione dell'applicativo **Smart Museum** di supporto per la gestione e rappresentazione degli allestimenti museali e per la prefigurazione dei flussi di utenza in un ambiente museale prevede le seguenti fasi:

1. Definizione del campo grafico di analisi
2. Acquisizione dati visibili ed invisibili
3. Sintesi dei dati
4. Scelta dei metodi di visualizzazione ed analisi
5. Algoritmi per la simulazione dei flussi
6. Prefigurazione dei flussi

La procedura ideata, una volta automatizzata diventa un prodotto a supporto dell'allestitore per controllare il progetto di allestimento ed eventualmente renderlo più efficiente rispetto alle qualità degli oggetti esposti.

2

PROGETTARE PER ALGORITMI:
L'IMPORTANZA DEI DATI

Progettare per algoritmi

Le prime esperienze riguardanti l'utilizzo delle tecnologie digitali in campo architettonico consideravano lo strumento informatico come elemento di supporto per la progettazione allo scopo di creare e gestire geometrie complesse, ovvero come estensione dei metodi e processi progettuali tradizionali. Nella progettazione architettonica contemporanea gli strumenti digitali non sono semplicemente strumenti di rappresentazione e visualizzazione: l'architettura odierna sperimenta nuovi approcci che, attraverso il ricorso a processi basati su algoritmi computazionali e la ricerca di nozioni e concetti spesso estranei alla disciplina architettonica, consentono di indagare le forme e i fenomeni complessi ad essa associati, portando il lavoro dell'architetto a concentrarsi sempre più sul processo e sulle sue logiche generative. Gli strumenti informatici che si avvalgono dell'uso del calcolo o dell'elaborazione, attraverso il computer, e si esplicitano nei linguaggi di programmazione, tendono ora ad estendersi come parte integrante del processo di progettazione, diventano strumento di modifica e gestione dei processi generativi. Le ultime frontiere del computing (elaborazione con computer) stanno profondamente modificando le possibilità di applicazione dei processi computazionali e lo stesso ruolo dell'architetto: è la progettazione dello stesso strumento informatico a integrarsi nel processo progettuale e a consentire al progettista di non esserne più dipendente, ma di averne il pieno dominio che conferisce libertà di esplorare soluzioni innovative.

L'avvicinamento dell'architettura al campo dell'informatica ha sviluppato nei progettisti un sempre più crescente e consapevole pensiero algoritmico. Il termine algoritmo definisce un procedimento che permette la risoluzione di un determinato problema mediante l'applicazione di una sequenza finita di istruzioni esplicite ed elementari, descritte in modo esatto e completo, che, a loro volta, devono essere interpretate ed eseguite seguendo un preciso ordine. L'approccio algoritmico consiste sostanzialmente nella scomposizione

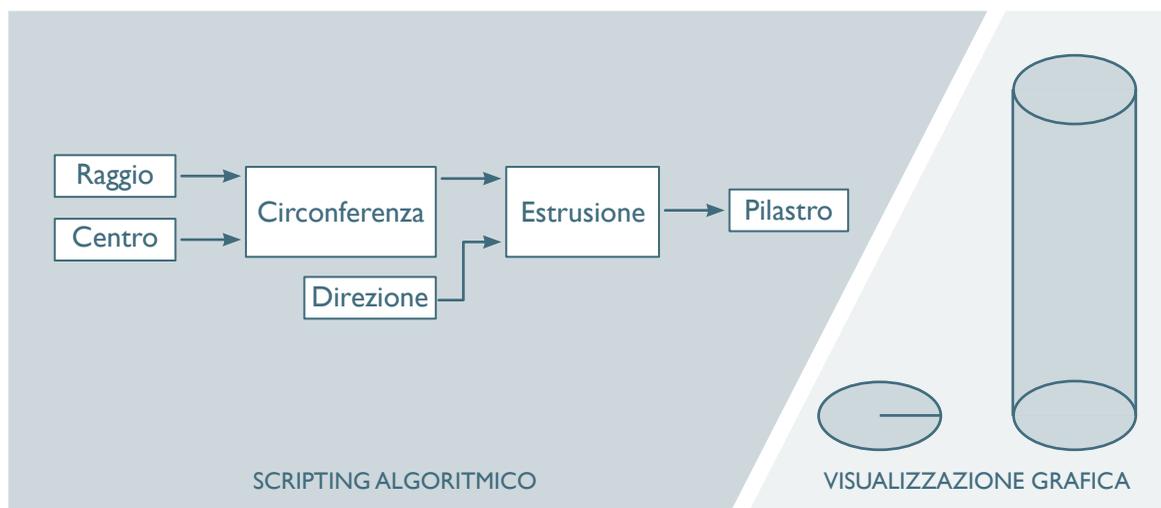
del problema in un numero finito di passaggi più semplici, e per questo il suo ambito di applicazione può interessare svariate discipline, anche apparentemente distanti dal campo dell'informatica. Progettare per algoritmi, significa quindi esplicitare la sequenza logica formulata per raggiungere un obiettivo progettuale: la risoluzione della problematica è attribuibile ad un'elaborazione con la quale si ottengono dei risultati (output), a partire da dati iniziali (input).



Figura 2 - Schema rappresentativo della definizione di algoritmo.

L'applicazione e l'esecuzione di algoritmi su un computer avviene attraverso linguaggi di programmazione, che consentono procedure di computing, ovvero la produzione di dati output a partire dall'insieme di istruzioni formulate attraverso il codice. Il codice non è altro che la serie di algoritmi utilizzati dal computer per creare rappresentazioni. Data la complessità del linguaggio informatico, sono state sviluppate, nel corso degli anni, applicazioni basate sul linguaggio di programmazione visuale (Visual Programming Language VPL) dotate di interfaccia grafica che consentono all'utente di manipolare gli elementi graficamente anziché tramite sintassi scritta, permettendo un'immediata visualizzazione dei risultati delle operazioni del codice. L'applicativo maggiormente diffuso per la modellazione algoritmica in architettura e utilizzato in questa tesi è il plug-in Grasshopper, piattaforma flessibile e open source, sviluppata come estensione del software di modellazione 3D Rhinoceros.

Figura 3 - L'ambiente di programmazione visuale. Rappresentazione del codice algoritmico applicato alla generazione di geometrie.

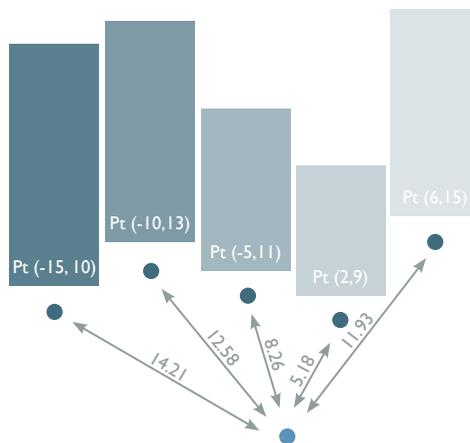


L'ambiente di programmazione visuale agevola l'ibridazione tra architettura e informatica: lavorare sui codici non è più un lavoro riservato a soli programmatori informatici ma figure come quelle dell'architetto hanno ora la possibilità di avvicinarsi alle potenzialità offerte dallo scripting senza necessariamente dover possedere competenze specifiche di programmazione. Quest'ultima condizione evidenzia la nascita di nuove figure che si pongono a cavallo tra programmatori e designer, inserendosi nel percorso progettuale chiamati designer computazionali.

Il termine **metadato** indica una serie di informazione sui dati, sono pertanto dei marcatori collegati a un oggetto informatico (immagine, documento, pagina web, brano musicale ecc.), o a una serie di oggetti informatici, e hanno lo scopo di descriverne il contenuto e/o gli attributi.

Avvalendosi delle logiche algoritmiche, l'architetto computazionale non costruisce direttamente il modello progettuale, ma esplicita le procedure di generazione delle idee che si manifestano attraverso immagini, grafiche e il modello virtuale 3D. L'utilizzo del VPL associato a software di modellazione 3D avanzati consente di creare associazioni tra geometrie e dati attraverso la gestione di parametri input definiti dall'utente, generando modelli parametrici informatizzati dinamici che consentono di esplorare scenari progettuali alternativi al cambiamento delle variabili imposte. Le nuove relazioni che si innescano così tra dati e geometrie, consentono ai dati di diventare metadati¹ delle geometrie a cui sono legate; le geometrie quindi assumono delle qualità formalmente invisibili ma che manifestano differenze qualitative tra elementi che compongono le figure.

Figura 4 - I punti blu hanno una qualità evidente che è la posizione assoluta nel campo grafico bidimensionale, ma si può ideare una qualità ulteriore che è la distanza da un punto (azzurro) di riferimento identificato. Posizione assoluta e distanza sono metadati dei punti.



La necessità è quindi visualizzare le qualità invisibili delle forme per renderle manifeste sulle geometrie e nello spazio in cui i fenomeni avvengono. La possibilità data dall'approccio algoritmico di incorporare nel modello architettonico un'ampia rete di informazioni permette quindi la gestione dei dati relativi alle interazioni tra lo spazio architettonico (contenitore), gli elementi presenti al suo interno (contenuto) e gli utenti, al fine di creare nuove pro-

cedure di analisi da integrare nel processo progettuale per la valutazione della qualità degli ambienti architettonici e agevolare alcune scelte progettuali. La possibilità di progettare in maniera creativa i processi tramite scripting algoritmico - l'insieme di istruzioni che definiscono il procedimento logico per il raggiungimento di un obiettivo – permette di integrare una grande quantità di variabili di natura eterogenea (parametri strutturali, materiali, ambientali, geometrici) durante il percorso che permettono al prodotto di mutare anche una volta terminato il processo. Le rappresentazioni che si generano come output dell'algoritmo sono facilmente regolabili anche dopo la realizzazione, per cui l'utente ha accesso in ogni momento a tutti gli elementi costituenti il modello, potendo apportare modifiche anche in fase di progettazione avanzata ed esplorare un maggior numero di soluzioni per determinare la più idonea durante l'iter progettuale, senza dover ricostruire il modello. Il processo quindi, racchiuso in un insieme di variabili messe a sistema, sotto forma di algoritmo, può essere manipolato infinite volte, dando luogo ogni volta a soluzioni differenti e visualizzabili in tempo reale. Le caratteristiche mostrate dell'approccio algoritmico introducono la possibilità per l'utente di manipolare il processo in ogni sua fase e avere un maggiore controllo sul processo generativo, migliorando il flusso di lavoro progettuale, sempre più rivolto allo scambio di dati e informazioni.

Come si è visto il concetto di algoritmo è inscindibile da quello di dato. L'efficienza di un algoritmo dipende in maniera critica dal modo in cui sono organizzati e strutturati i dati su cui l'algoritmo stesso deve operare. Per questo motivo è fondamentale effettuare, come prima fase, la corretta analisi delle variabili input, al fine di strutturarle in un organismo capace di generare una concatenazione di alternative sempre più aderenti alla natura del problema da affrontare. I parametri input utilizzati per la realizzazione dell'applicativo presentato in questa tesi si possono classificare in due principali categorie:

- **Parametri formali**
- **Parametri astratti**

I parametri formali fanno riferimento alle caratteristiche geometriche e di natura ambientale (temperatura, umidità relativa) e sono attribuibili sia all'ambiente architettonico (contenitore) che agli elementi presenti al suo interno (contenuto). I parametri astratti sono riconducibili esclusivamente agli attributi estetici e culturali intrinseci negli oggetti presenti nello spazio allestito, il contenuto del museo: queste caratteristiche richiamano nella mente dell'osservatore proprietà invisibili che, assieme agli attributi formali, conferiscono un peso attrattivo all'elemento contenuto.

L'ambiente contenitore

L'acquisizione delle informazioni relative alle caratteristiche fisiche dell'ambiente architettonico all'interno del quale il progetto di allestimento si sviluppa è fondamentale per impostare l'ambiente di lavoro virtuale sul quale effettuare analisi dei comportamenti innescati dalle interazioni tra contenuto e contenitore.

I modelli architettonici informati sono tali poiché non restituiscono solo le caratteristiche morfologiche dei modelli, ma rappresentano anche delle banche dati: ogni oggetto architettonico contiene, in maniera gerarchica, le informazioni che lo caratterizzano, la cui unione costituisce l'intera architettura. Il modello BIM di un edificio o più nello specifico di un ambiente architettonico, contiene una quantità variegata di informazioni relative la geometria, i materiali, la struttura, le caratteristiche microclimatiche e le prestazioni energetiche, gli impianti, i sistemi di sicurezza, la manutenzione e altre ancora.

Uno dei propositi del lavoro consiste proprio nell'automatizzazione del processo di sviluppo del tool di simulazione del comportamento della folla estraendo le informazioni relative al contenitore direttamente dal modello BIM dello spazio esaminato. Tra la grande quantità di informazioni che il modello BIM mette a disposizione dell'utente, i dati utili per l'impostazione delle procedure algoritmiche di analisi riguardano:

- la conformazione morfologica dell'ambiente: il volume e la superficie di calpestio,
- gli elementi di accesso all'ambiente: dimensioni (altezza e larghezza) e posizione delle aperture,
- le caratteristiche ambientali microclimatiche: temperatura e umidità dell'aria, radiazione luminosa naturale e artificiale.

In ambito museale, queste informazioni sono generalmente disponibili all'interno del Facility Report, un documento tecnico che descrive le caratteristiche di una sede espositiva in cui si vuole esporre un'opera, redatto da ogni istituzione museale in cui sono esposte le condizioni espositive e le installazioni di sicurezza (sistemi antincendio, antintrusione, valori termoclimatici, ecc.). Le indicazioni riguardano notizie storiche sull'edificio, sul tipo di sistemi di controllo (climatizzazione, riscaldamento, controllo umidità.), sull'impianto elettrico e sui sistemi di sicurezza (comprese le indicazioni specifiche di protezione antincendio).

Alcuni enti inseriscono anche indicazioni sull'allestimento e sugli elementi che potrebbero contribuire ai fattori di rischio, come ad esempio la capienza della sala e una previsione di quante persone saranno contemporaneamente in mostra. Nel caso di richiesta di prestito di un documento o artefatto museale, il Facility Report va inviato al museo prestante, per illustrare tutte le misure di sicurezza e di conservazione presenti nel sito espositivo. La realizzazione del modello informatizzato permette di digitalizzare il processo relativo alla redazione e lo scambio del protocollo del Facility report degli ambienti allestiti, promuovendo la creazione di una rete di informazioni condivisibile, accessibile e integrabile da diverse figure professionali e facilitando la gestione del patrimonio, sia in loco che nel corso delle procedure di movimentazione.

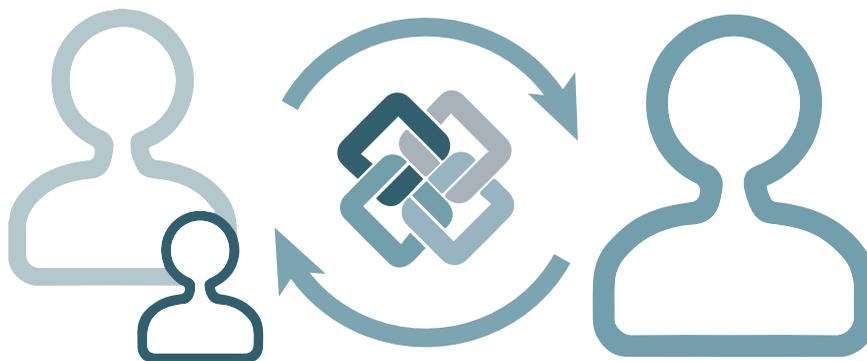


Figura 5 - L'ambiente di programmazione visuale. Rappresentazione del codice algoritmico applicato alla generazione di geometrie.

La possibilità data dalle procedure Visual Programming Language di connettersi con il modello BIM consente di avere accesso in tempo reale a questo vasto database di informazioni aggiornate e interagire con esse, trasformandole in parametri input nelle procedure algoritmiche con finalità di analisi. L'interoperabilità e l'interscambio dei dati in modo sicuro, senza errori e/o perdita di informazioni tra modello informatizzato BIM e VPL può avvenire grazie l'utilizzo del formato IFC. L'IFC (Industry Foundation Classes), svilup-

pato dal consorzio buildingSMART, è un formato dati aperto, non controllato da un singolo operatore, nato per facilitare l'interoperabilità tra le discipline di architettura, ingegneria e costruzione dell'industria dell'edilizia nei progetti basati sulla metodologia BIM. Il formato IFC costituisce uno strumento di collaborazione che consente a tutti gli attori coinvolti nel processo di comunicare informazioni tramite un linguaggio comune, indipendentemente dal tipo di strumenti software che vengono utilizzati.

L'adozione e la diffusione di standard è uno dei principali obiettivi che si è posta l'organizzazione buildingSMART fin dalla sua fondazione. Le varie definizioni e metodologie del modello dati IFC infatti, sono state recepite e normate dall'International Organization for Standardization (ISO) nella norma ISO 16739 - Industry Foundation Classes (IFC) per la condivisione dei dati nell'industria delle costruzioni e del facility management, implementando la sua diffusione per promuovere flussi di lavoro a collaborazione aperta e ottenere dei progetti meglio coordinati.

Pensati per consentire l'interscambio di un modello informativo senza perdita o distorsione di dati e informazioni, i file IFC creano un modello composto su una struttura predefinita, basata su semantica, relazioni e proprietà, che costruisce il modello in modo logico, consentendo di descrivere tutti i componenti di un edificio, come ad esempio impianti, spazi, zone, arredo, elementi strutturali, incluse le proprietà specifiche di ogni oggetto. Grazie a questa suddivisione strutturale, ad ogni oggetto è possibile associare determinate grandezze come ad esempio la forma, la posizione, connessione con altri oggetti, caratteristiche fisiche, ambientali e meccaniche, tutte codificate sul formato IFC. I modelli IFC contengono quindi una combinazione di entità geometriche e non geometriche che possono comprendere tutto o solo una parte delle informazioni contenute nei file BIM originali.

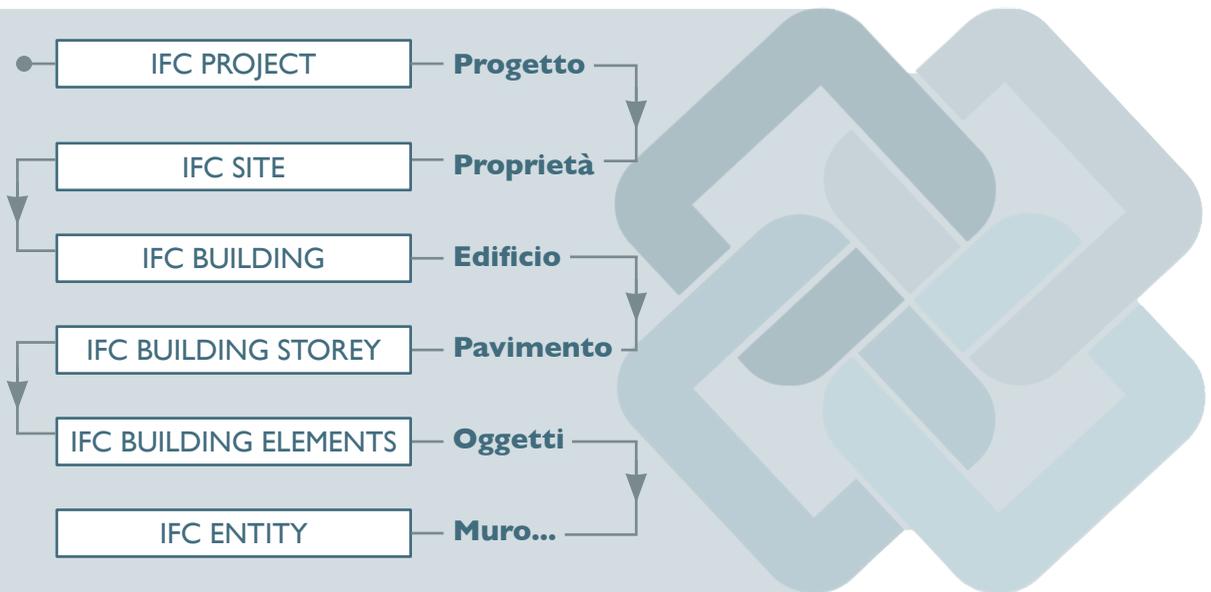
Quando viene creato, il formato di file IFC dispone in ordine gerarchico le unità IFC in base al loro tipo, come indicato di seguito:

- **IfcProject:** definisce tutte le informazioni condivise con l'intero progetto come il sistema di unità di misura, il sistema di riferimento per le coordinate, la precisione;
- **IfcSite:** include le informazioni sulle coordinate geografiche in funzione del sistema di riferimento definito nel project (longitudine, latitudine e la quota altimetrica) e indica l'indirizzo e il paese di riferimento;
- **IfcBuilding:** rappresenta la struttura fondamentale del progetto e for-

nisce informazioni aggiuntive come la quota di costruzione rispetto a quanto definito nel site;

- **IfcBuildingStorey**: indica l'elemento spaziale base nel quale vengono raggruppati tutti i componenti edilizi. Ogni storey viene identificato con un nome e con la quota (Elevation) rispetto a quella di riferimento indicata nel building.
- **IfcBuildingElements**: entità astratta nella quale vengono classificati e racchiusi i componenti edilizi che permettono di descrivere il mondo delle costruzioni. Come ogni elemento BIM, anche queste entità coniugano una rappresentazione geometrica a una descrizione delle proprietà.
- **IfcEntity**: oggetto univocamente definito nel modello di dati IFC.

Figura 6 - Rappresentazione della struttura gerarchica del formato IFC.

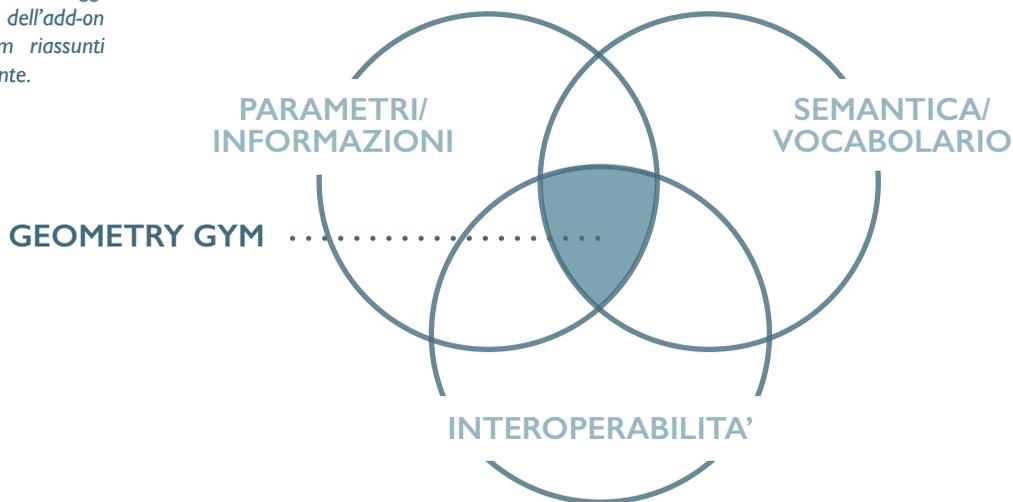


A seconda delle assegnazioni dell'entità e della definizione del tipo, all'oggetto vengono associati determinati attributi e dipendenze di default all'interno dello schema IFC. Scegliere la giusta entità da associare all'oggetto realizzato nel modello BIM è cruciale per l'esportazione di file IFC: se un muro non viene assegnato all'entità IfcWall, al muro non vengono associati tutti gli attributi di cui necessita per essere descritto chiaramente. Ciò significa che, a sua volta, non viene interpretato correttamente dagli altri programmi di coordinamento o valutazione. Grazie a questo sistema vengono generate strutture complesse che consentono la creazione di un modello di dati nel quale ogni elemento può essere geometricamente e alfanumericamente rappresentato e chiaramente identificato.

Uno dei grandi vantaggi dell'utilizzo dei modelli di dati IFC è il recupero delle informazioni relative agli attributi e parametri che possono essere interpretati e valutati su differenti strumenti. Le proprietà IFC possono essere interamente formulate usando attributi di default che sono memorizzati nella definizione dell'IFC con nomi in lingua inglese. Lavorare tramite un formato standard e condiviso permette di leggere in modo univoco i dati cercati e di individuare quindi, all'interno della sua complessa struttura gerarchica del modello, tutte le informazioni necessarie ai propri scopi progettuali.

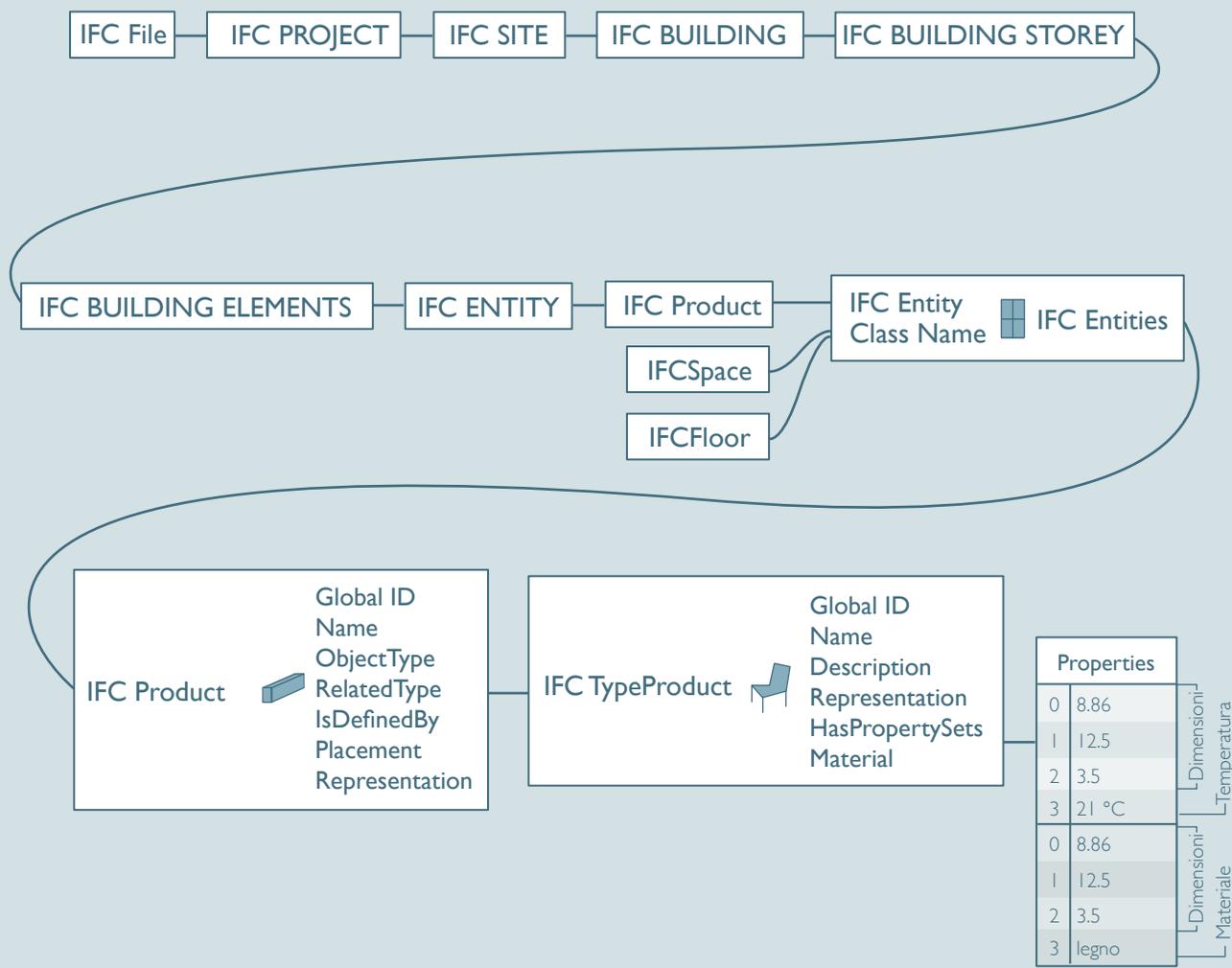
Le entità geometriche, gli attributi, le proprietà e le reciproche relazioni possono essere visualizzate, analizzati e modificati dall'applicativo VPL Grasshopper, consentendo l'interoperabilità e l'ampliamento delle possibilità di utilizzo della banca dati informativa realizzata con il modello BIM. Nello specifico, l'add-on *Geometry Gym* sviluppato da Jon Mirtschin permette di importare direttamente nell'ambiente di Grasshopper il modello IFC e di visualizzare e manipolare gli elementi specifici che lo costituiscono.

Figura 7 - I vantaggi dell'utilizzo dell'add-on *Geometry Gym* riassunti schematicamente.



La connessione tra modello BIM e ambiente VPL effettuata consente di acquisire i dati geometrici e le proprietà ambientali di uno spazio architettonico, rendendo effettiva la sintesi dei valori caratteristici dell'ambiente in parametri input necessari al fine di sviluppare procedure per l'analisi dei fenomeni generati dalle interazioni tra contenuto e contenitore.

Figura 8 - Algoritmo di estrazione dei dati dal modello IFC tramite Geometry Gym e di sintesi dei valori del contenuto nell'ambiente VPL.



Il contenuto

I reperti collezionati negli spazi museali sono caratterizzati da valori formali e valori invisibili, quest'ultimi sono attributi che si generano nel tempo e derivano principalmente dai trascorsi storici, artistici, sociali e mediatici che hanno caratterizzato gli oggetti esposti; proprietà informali importanti tanto quanto i valori formali dell'opera. Gli attributi estetici, insieme a quelli formali, richiamano nella mente dell'osservatore proprietà invisibili che conferiscono all'elemento contenuto un peso attrattivo, trasposizione del livello di interesse che l'oggetto suscita nell'utente. Le qualità formali e invisibili di un'opera influenzano lo sviluppo di fenomeni e comportamenti all'interno dello spazio architettonico in cui sono collocate e per questo diventano oggetto di studio e analisi. Per valori formali si intendono le informazioni relative alle dimensioni (altezza, larghezza, profondità) e ai materiali costituenti l'oggetto che consentono di porre il contenuto in relazione con il contenitore architettonico nel quale lo si vuole inserire.

Gli oggetti presenti in spazi confinati interagiscono con l'ambiente che li circonda e subiscono inevitabili alterazioni che sono fra i principali rischi del loro progressivo degrado. Una delle funzioni istituzionali di ogni museo è quella di conservare e proteggere il patrimonio del quale è responsabile, cercando di rallentare l'inevitabile processo di deterioramento legato a fattori come la luce, il calore, l'umidità a cui tutti i materiali sono soggetti, in modo che possa essere trasmesso indenne alle generazioni future.

Tale funzione viene svolta attraverso programmi di prevenzione e cura delle collezioni e degli edifici in cui esse sono conservate, che rientrano nella definizione generale di conservazione preventiva, una nozione più complessa di conservazione, che ruota intorno alle pratiche di prevenzione. Per conservazione preventiva s'intende l'insieme delle misure e delle attività adottate per prevenire o limitare i possibili danni e le situazioni di rischio connesse al bene culturale nel suo contesto.

Ogni materiale subisce nel corso del tempo un naturale processo di deterioramento che dipende in parte da cause interne legate all'instabilità del materiale, in parte da cause esterne legate alle condizioni di conservazione. Le condizioni microclimatiche di un ambiente museale, da sole o in concomitanza con altri fattori, giocano un ruolo di fondamentale importanza nei processi di degrado dei vari materiali. È noto infatti come i parametri ambientali, quali temperatura, umidità relativa, illuminamento, possano innescare o aggravare processi di degrado attraverso meccanismi di tipo chimico, fisico o biologico e come contribuiscano ad aumentare o ridurre le "aspettative di vita" di un bene culturale. In Italia, il Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 "Atto d'indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei" e la norma UNI 10829 "Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi" offrono indicazioni sui valori di riferimento raccomandati dei parametri ambientali da mantenere per la conservazione delle diverse categorie di materiali costituenti le opere d'arte al fine di prevenire danni di deterioramento. Risulta quindi evidente come il controllo della compatibilità microclimatica degli ambienti destinati all'esposizione e alla conservazione delle opere sia fondamentale per l'ottimale conservazione delle collezioni.



Statua della Principessa egiziana Redji. Museo Egizio. Fotografia tratta da Saqqar Stock Photo.

La conservazione preventiva quindi pone l'attenzione sulle modalità con cui si compiono operazioni quali, la movimentazione, la gestione delle collezioni in esposizione e in deposito e il monitoraggio microclimatico e si rivolge non al singolo oggetto, ma si incentra sulla protezione delle collezioni nel loro insieme, promuovendo azioni e procedure basate sul concetto di "non intervento", incentrate sul mantenimento delle condizioni microclimatiche ambientali ottimali per l'opera, piuttosto che su quello di intervento di restauro.

Sviluppare procedure in linea con la filosofia della conservazione preventiva consente di salvaguardare meglio le opere, riducendo la frequenza degli interventi di restauro e manutenzione e di risparmiarne i relativi costi. Come riporta Suzanne Keene “ è stato infatti stimato che l'intervallo di tempo che intercorre tra due interventi di manutenzione/restauro sulla stessa opera raddoppia nel caso in cui questa si trovi in condizioni microclimatiche ottimali, dando luogo così sia ad un risparmio monetario (costi dilazionati/evitati per restauri), sia ad un trauma risparmiato all'opera, poiché si posticipa di molti anni un'operazione comunque invasiva che può presentare aspetti rischiosi.” La capacità di assicurare parametri microclimatici adeguati pone, inoltre, il museo nella condizione di organizzare esposizioni temporanee potendo contare su prestiti di opere prestigiose da parte di altri musei, i quali accordano la cessione temporanea dei loro artefatti solo ad istituzioni in grado di garantire la loro perfetta conservazione.

L'azione preventiva per la conservazione dei beni culturali è favorita dallo sviluppo delle moderne tecnologie che, oltre a essere usate per portare a livelli più sofisticati e affidabili il controllo ambientale, possono essere utilizzate per automatizzare le procedure di verifica della compatibilità tra contenitore – contenuto.

La conoscenza delle caratteristiche materiche delle opere consente di sviluppare tali procedure automatizzate per verificare la compatibilità delle condizioni microclimatiche dell'ambiente con le caratteristiche specifiche delle tipologie dei materiali conservati al suo interno e destinati all'esposizione permanente, temporanea o anche al deposito e assicurarne così la loro conservazione in condizioni ottimali, in linea con gli standard e ai requisiti di qualità relativi alla conservazione preventiva delle opere fissati nel D.M. 10/05/2001, offrendo la possibilità di supportare il progettista nel controllo del progetto di allestimento o nelle scelte del luogo espositivo maggiormente adeguato rispetto le esigenze degli oggetti esposti.

Le informazioni riguardanti un bene culturale sono generalmente reperibili tramite la consultazione della scheda di catalogo, documento derivante dall'attività di registrazione, descrizione e classificazione di un bene, organizzata e codificata secondo precisi criteri stabiliti dal Ministero per i beni e le attività culturali (MIBAC). In Italia l'attività di catalogazione afferisce all'Istituto centrale per il catalogo e la documentazione (ICCD), uno degli enti del MIBAC. L'ICCD sovrintende il coordinamento metodologico delle attività di catalogazione, ha funzioni di ricerca, indirizzo e di coordinamento tecnico-scientifico allo scopo di costituire e gestire, in collaborazione con le Regioni e altri enti pubblici territoriali quali università, il Catalogo generale

dei beni culturali, che raccoglie e organizza le informazioni descrittive dei beni culturali catalogati in Italia. L'Istituto ha realizzato il Sistema Informativo Generale del Catalogo (SIGECweb), il sistema nazionale per l'acquisizione e la gestione integrata delle conoscenze sul patrimonio culturale italiano, con l'obiettivo di gestire, unificare e ottimizzare, attraverso strumenti informatici, tutti i processi connessi alla catalogazione del patrimonio. "Il sistema controlla l'intero processo legato alla produzione delle schede di catalogo in un unico ambiente omogeneo, gestendo tutti i flussi procedurali e permettendo, in tempo reale, la diffusione degli standard catalografici, gli aggiornamenti funzionali, l'immediata implementazione dei dati conoscitivi sul patrimonio culturale e la loro disponibilità alla fruizione e alla condivisione con altri sistemi. SIGECweb, grazie al controllo delle procedure applicate, assicura la qualità dei dati prodotti e la loro rispondenza agli standard nazionali; l'omogeneità delle informazioni è, infatti, il presupposto indispensabile per la loro immediata disponibilità, il corretto utilizzo e la condivisione." (ICCD) La consultazione della banca dati informatica relativa alle collezioni catalogate è possibile tramite l'accesso al sito del Catalogo generale dei beni culturali.

Vetrine espositive della sala storica di Deir el-Medina del Museo Egizio di Torino. Foto tratte da www.museoegizio.it



La gestione delle collezioni, come quelle museali, è quindi basata su una serie di archivi, registri e dossier che sempre più diffusamente vengono digitalizzati, con grande vantaggio per la consultazione, molto più rapida e accessibile da remoto. Specifici software – denominati Collection Management System (CMS) – configurati in base alle caratteristiche del luogo espositivo e delle collezioni, permettono una gestione centralizzata e integrata di tutti i dati relativi ai diversi archivi collegati all'oggetto di riferimento. Partendo da un'unica scheda in cui compaiono i dati identificativi dell'opera, le applicazioni del CMS permettono di accedere alle singole sezioni (ad esempio la collocazio-

ne attuale o abituale di un'opera, quando e a quali mostre è stata prestata, il suo valore assicurativo o la bibliografia aggiornata) per consultarle oppure inserire nuove informazioni. La digitalizzazione delle schede di catalogo facilita l'accesso ai dati relativi alle opere agevolando la loro integrazione in processi informatici come, nel nostro ambito di ricerca, l'ottimizzazione della gestione degli allestimenti.

Nella scheda di catalogo quindi è reperibile la descrizione corretta e non equivocabile del bene in tutti i suoi aspetti. La struttura della scheda si articola in diversi paragrafi e campi, rispondenti a domande fondamentali sia sul bene e sulla sua storia (che cos'è, da cosa è costituito, cosa rappresenta, quando e da chi è stato realizzato, dove e in quali condizioni si conserva ecc.), che sulla scheda stessa, con particolare rilievo alla definizione dell'oggetto e alla descrizione delle sue caratteristiche formali.

I paragrafi nei quali si articola la scheda di catalogo comprendono:

- **Codici:** contiene il numero identificativo del bene, stabilisce una corrispondenza univoca tra l'oggetto e la sua scheda.
- **Relazioni:** sono presenti informazioni riguardanti il collegamento con altre schede relative a un oggetto con struttura complessa.
- **Altri codici:** contiene le relazioni con eventuali altre schede dello stesso bene commissionate da Enti diversi dall'ICCD.
- **Oggetto:** in questo paragrafo viene identificato l'oggetto, in relazione al suo aspetto e alle sue caratteristiche funzionali.
- **Localizzazione geografico-amministrativa:** è distinta in localizzazione geografico-amministrativa e collocazione specifica. Il bene viene localizzato prima nel territorio in cui si trova e successivamente nel luogo/ contenitore di conservazione.
- **Ubicazione e dati patrimoniali:** questo paragrafo si compila solo nel caso di beni conservati nei musei, per indicarne il numero di inventario della collocazione di cui fanno parte e i relativi dati patrimoniali, ossia la stima del loro valore.
- **Altre localizzazioni:** si segnalano qui i luoghi che hanno ospitato il bene nel corso della sua storia conservativa, per esempio l'ubicazione originaria, un eventuale deposito temporaneo, la permanenza per un certo periodo in una collezione privata, la data di ingresso in un museo.
- **Georeferenziazione tramite punto:** si utilizza nei casi in cui il bene non abbia una collocazione all'interno di un luogo con un preciso indirizzo e una reperibilità toponomastica certa, o per localizzare il luogo di rinve-

nimento archeologico di un'opera.

- **Modalità di reperimento:** riportano le eventuali informazioni relative alle indagini archeologiche che hanno consentito il rinvenimento durante una campagna di scavo.
- **Rapporto:** si compila quando l'opera in esame si qualifica anche in rapporto a un'altra, come matrice, derivazione o parte di una serie.
- **Cronologia:** riporta la data esatta dell'opera. Se la datazione non è riconducibile a un anno preciso, si indicano gli estremi cronologici entro i quali potrebbe oscillare.
- **Definizione culturale:** paragrafo relativo alle informazioni sull'autore del manufatto.
- **Dati tecnici:** dati relativi alle dimensioni, alla materia e alla tecnica di esecuzione dell'opera. La corretta compilazione del campo materia e tecnica si deve fare riferimento a un vocabolario elaborato dall'ICCD.
- **Conservazione:** sono presenti le informazioni sullo stato di conservazione, espresse attraverso un sintetico giudizio complessivo e uno più specifico.
- **Restauro:** contiene indicazioni dei restauri documentabili effettuati sul bene.
- **Dati analitici:** dati relativi all'aspetto e al contenuto dell'opera, descritti prima in forma discorsiva e poi dettagliata.
- **Condizione giuridica e vincoli:** viene segnalato l'Ente o il privato che detiene il bene al momento della schedatura.
- **Fonti e documenti di riferimento:** si riporta tutta la documentazione relativa all'opera come disegni, fotografie, audio, video, altra documentazione multimediale.
- **Accesso ai dati:** indica il livello di visibilità dei contenuti della scheda, che potrebbero non essere tutti divulgabili per motivi di privacy o sicurezza per la conservazione.

I valori formali necessari per l'impostazione delle procedure automatizzate di analisi per verificare la compatibilità delle condizioni microclimatiche dell'ambiente con le caratteristiche specifiche delle tipologie dei materiali conservati al suo interno risultano così facilmente ricavabili dal paragrafo dei dati tecnici della scheda di catalogo.

A partire dalle informazioni relative ai materiali costituenti l'opera, è possibile associare i valori di riferimento dei parametri microclimatici da mantenere

nell'ambiente definiti dalla normativa grazie alla strutturazione di uno script algoritmico, in grado di relazionare gli attributi del contenitore e del contenuto ed effettuare analisi di compatibilità conservativa. Ponendo in relazione le caratteristiche del contenitore e del contenuto è possibile compiere altre tipologie di analisi riguardanti, per esempio, l'ottimizzare della gestione della movimentazione delle opere, che sia tra due musei o anche semplicemente tra due ambienti di uno stesso museo, confrontando i dati dimensionali dell'opera con le caratteristiche dimensionali degli ambienti architettonici e delle relative aperture di accesso.

I valori tecnici presenti nelle schede di catalogo costituiscono un importante fonte dalla quale estrapolare i dati iniziali per elaborare procedure per la valutazione dei reperti da esporre in un determinato ambiente o per scegliere il luogo espositivo che meglio si adatta alle esigenze espositive dei reperti. Le informazioni presenti nel data base illustrato non sono però sufficienti per individuare il valore attrattivo che un oggetto esposto esercita sull'utente, influenzando i suoi comportamenti.

L'attrattività di un'opera è una caratteristica complessa che coinvolge molteplici aspetti: i trascorsi storici, artistici, sociali e mediatici che si generano nel tempo e caratterizzano gli oggetti esposti, richiamano nell'osservatore degli attributi invisibili di natura sia oggettiva che soggettiva che investono l'oggetto di un peso attrattivo. A causa di questa sua natura complessa, l'identificazione del valore di attrattività necessita inevitabilmente dell'analisi di differenti parametri, il cui risultato definisce il **valore attrattivo globale** dell'opera. I parametri considerati pertanto sono: il **valore patrimoniale**, il **valore mediatico** e il **valore attrattivo derivato da rilievi precedenti**.



Il **valore patrimoniale** è la stima del valore monetario dell'opera, si ricava tramite le schede di catalogo e quantifica il valore artistico o culturale di cui è portatrice l'opera, sulla base di analisi e perizie svolte da esperti specialisti.

Il **valore mediatico** è un dato che rappresenta la popolarità dell'opera all'interno della nostra società, sempre più rivolta allo scambio di informazioni attraverso l'utilizzo del digitale e della rete. Il parametro mediatico si calcola attraverso l'analisi della quantità di ricerche online relative all'opera attraverso l'ausilio di piattaforme quali Google Trends, strumento che permette di conoscere la frequenza di ricerca sul web di una determinata parola. Esistono inoltre altre estensioni delle piat-



taforme di ricerca online, come Data Miner, che consente di estrarre le informazioni presenti all'interno di un sito web, come può essere la quantità di pagine web generate dalla ricerca correlata di una parola inserita su un motore di ricerca.

Per quanto riguarda il **valore attrattivo derivato da rilievi precedenti** ci si basa sull'interesse che la singola opera ha avuto sui visitatori durante i precedenti allestimenti. Il dato si ricava dal monitoraggio dell'opera e dall'attività degli utenti negli allestimenti precedenti attraverso l'installazione di appositi dispositivi. Quest'ultimo parametro è un dato sperimentale e dinamico, legato a specifici protocolli di monitoraggio che sono ancora in fase di studio, ma in un futuro improntato sulla digitalizzazione dei contenuti e dei processi si può auspicare che possa diventare un parametro standard da inserire tra i dati caratteristici di un'opera riportati nella scheda di catalogazione.



La relazione ponderata tra i valori presentati contribuisce a creare il peso attrattivo globale dell'opera d'arte all'interno del progetto espositivo e per questo diventano parametri input di partenza da analizzare e inserire nelle procedure per una corretta prefigurazione dei flussi di visitatori.

I valori formali e valori invisibili che caratterizzano le opere collezionate e influenzano lo sviluppo di fenomeni, possono essere associati alla geometria rappresentante l'opera all'interno di un modello virtuale tramite l'utilizzo del VPL. La progettazione dei processi innesca nuove relazioni tra dati e geometrie, consentendo ai dati di diventare metadati delle geometrie a cui sono legate, le geometrie quindi assumono delle qualità formalmente invisibili ma che manifestano differenze qualitative tra elementi che compongono le figure. Le informazioni riguardanti le caratteristiche dell'opera diventando metadati possono essere gestite e manipolate in qualità di parametri input per la definizione di procedure di visualizzazione dei fenomeni complessi, sviluppati dall'interazione tra spazio architettonico e contenuto, inteso ora come entità di attributi associati. La necessità è quindi visualizzare le qualità invisibili delle forme per renderle manifeste sulle geometrie e nello spazio in cui i fenomeni avvengono, creando una rappresentazione grafica dell'informazione.

3

ANALISI DEL DATO:
PROCEDURE AUTOMATIZZATE
PER LA RAPPRESENTAZIONE DI
FENOMENI COMPLESSI IN
AMBITO MUSEALE

La definizione del campo grafico

Il Visual Programming Language nei software di modellazione 3D avanzati consente di elaborare procedure per la visualizzazione di fenomeni complessi. In questo ambiente è possibile creare associazioni tra geometrie e dati sviluppando dei comportamenti. Le grafiche in grado di descrivere i comportamenti sono il risultato di algoritmi che uniscono in funzioni matematiche caratteristiche percettive dell'essere umano in relazione alla forma degli elementi e alla spazialità degli ambienti in cui sono inseriti; per questo è importante la definizione del campo in cui si tracciano le grafiche illustrative dei fenomeni.

I modelli architettonici informati sono tali poiché non restituiscono solo le caratteristiche morfologiche dei modelli, ma rappresentano anche delle banche dati: ogni oggetto architettonico contiene, in maniera gerarchica, le informazioni che lo caratterizzano, la cui unione costituisce l'intera architettura. Un elemento architettonico è anche il vuoto, caratterizzato da attributi morfologici e di natura ambientale. Nel nostro caso diventa uno degli elementi più importanti poiché il piano di calpestio rappresenta nella nostra ricerca il campo grafico.

Procedure di Visual Programming Language consentono di acquisire il modello BIM di un ambiente architettonico ed estrapolare le informazioni relative alle sue caratteristiche geometriche. Attraverso la definizione di algoritmi costruttivi siamo in grado di decostruire gli ambienti per estrarre le superfici pavimentate. Tale superficie verrà opportunamente tassellata per restituire una mesh di analisi.

La superficie costituisce la "tela" sulla quale proiettare le rappresentazioni grafiche di fenomeni generati dalle relazioni che si instaurano tra contenuto e contenitore, utilizzando le qualità topologiche della mesh per generare una corrispondenza tra i vertici della superficie e i fenomeni invisibili che avven-

gono negli ambienti esaminati. La mesh è generata attraverso la connessione tra elementi discreti, i vertici, tra loro connessi da spigoli definendo delle facce. Le facce costituiscono i pixel del campo di lavoro, diventando il quadro in cui rappresentare e porre in evidenza le analisi.

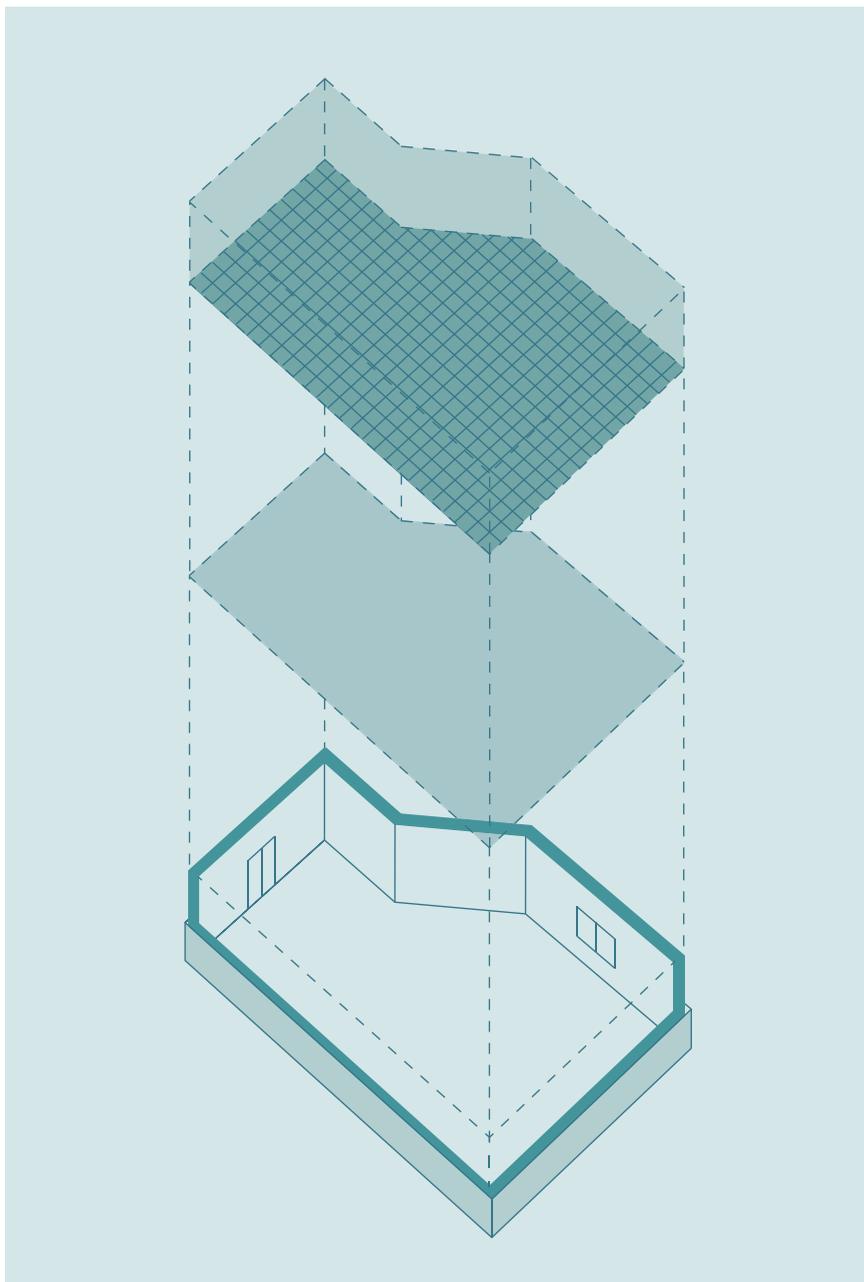


Figura 9 - La tassellazione del campo grafico.

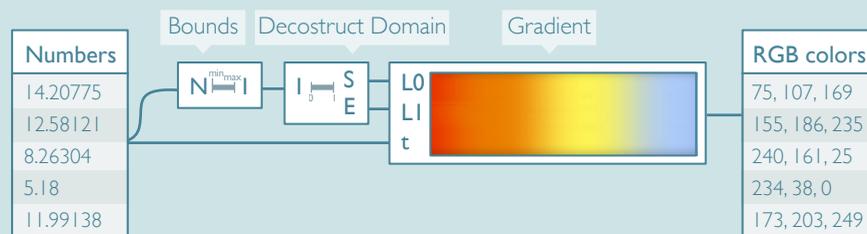
Algoritmi per la visualizzazione del dato

Gli attributi invisibili, quando generati da entità puntuali come avverrà nell'applicazione della ricerca, si manifestano con effetti variabili all'interno di un campo definito. Il colore e le variazioni cromatiche sono un ottimo strumento per le raffigurazioni sulla mesh di queste variazioni. Lo strumento per l'automatizzazione di processi creativi automatizzati utilizzato è Grasshopper; una piattaforma VPL efficiente e aperta. L'utilizzo di opportuni componenti del linguaggio di programmazione, permette di valutare quantitativamente e qualitativamente l'effetto di fenomeni che mettono in relazione gli elementi in scena (l'ambiente e gli elementi in esso contenuti).

Il computer generalmente restituisce i fenomeni utilizzando indici numerici; la variazione del fenomeno all'interno del campo grafico è recepita grazie ai vertici della mesh distribuiti omogeneamente all'interno dell'ambiente. Ogni punto della griglia sarà quindi caratterizzato da parametri che ne manifestano la posizione e gli attributi invisibili che sintetizzano il fenomeno analizzato.

Opportune relazioni che prevedono l'utilizzo di gradienti cromatici creano rappresentazioni grafiche basate sull'associazione dei valori puntuali calcolati e un range di colori RGB, traducendo misure quantitative di uno spazio in grafiche illustrative di fenomeni complessi.

Figura 10 - Corrispondenza valori numerici e colori RGB associati dall' algoritmo.



Definito il campo grafico occorre individuare gli strumenti che consentono di mettere in relazione la percezione dell'individuo all'interno di ambienti caratterizzati da fenomeni; i metodi analizzati sono:

- **Idoneità ambientale** - basato sulla relazione contenitore, contenuto.
- **La Isovista** - basato sull'analisi delle visuali.
- **I Campi di forza** - basato su nozioni fisiche dei campi vettoriali.



Idoneità ambientale

La procedura di verifica dell'idoneità ambientale consente di mettere in relazione le caratteristiche fisiche e materiche delle opere con le condizioni microclimatiche di un ambiente espositivo, al fine di verificarne la compatibilità e assicurare la conservazione dei reperti in condizioni ottimali, in linea con gli standard e ai requisiti di qualità relativi alla conservazione preventiva delle opere fissati nel Decreto Ministeriale 10 maggio 2001 "Atto d'indirizzo sui criteri tecnico-scientifici e sugli standard di funzionamento e sviluppo dei musei", offrendo la possibilità di supportare il progettista nel controllo del progetto di allestimento o nelle scelte del luogo espositivo maggiormente adeguato rispetto le esigenze degli oggetti esposti.

Nell'ambiente VPL è possibile associare i valori formali delle opere, ricavati dalle schede di catalogo, alle corrispondenti rappresentazioni geometriche, facendo diventare gli attributi (informazioni sul materiale e sulle dimensioni) metadati delle geometrie. L'associazione di tali attributi può avvenire tramite la connessione dello script algoritmico a un database contenente le schede di catalogo digitali della collezione del museo oppure attraverso l'estrapolazione delle informazioni direttamente dal modello informatizzato BIM attraverso la connessione con il formato IFC, qualora il modello contenga le rappresentazioni tridimensionali dell'opera con i relativi parametri formali impostati.

Stabilita la connessione, a partire dalle informazioni relative ai materiali costituenti l'opera, è possibile associare i valori di riferimento dei parametri microclimatici di temperatura e umidità relativa da mantenere nell'ambiente definiti dalla normativa grazie alla strutturazione di uno script algoritmico, in grado di relazionare gli attributi del contenitore e del contenuto ed effettuare analisi di compatibilità conservativa. I parametri ambientali relativi alla sala espositiva da valutare vengono acquisiti tramite l'importazione del modello

IFC nell'ambiente di Grasshopper; seguendo la procedura spiegata nel capitolo precedentemente.

Nella tabella I sono riportati i parametri microclimatici di riferimento da mantenere in un ambiente espositivo per la corretta conservazione dei beni di interesse storico e artistico, desunti dalla norma UNI 10829 "Beni di interesse storico artistico. Condizioni ambientali di conservazione. Misurazione ed analisi".

MATERIALI ORGANICI	T0	UR0	Emax	UVmax
Manufatti artistici di carta, tappezzerie	18-22	40-55	50	75
Tessuti, abiti, materiali in fibra naturale	19-24	30-50	50	75
Cere, cere anatomiche	<18	NR	150	75
Erbari e collezioni	21-23	45-55	50	75
Collezioni entomologiche	19-24	40-60	50	75
Animali e organi conservati in formalina	15-25	NR	50	75
Animali, organi essiccati, mummie	21-23	20-35	50	75
Pellicce, piume, animali impagliati	4-10	30-50	50	75
Disegni su supporto cartaceo	19-24	45-60	50	75
Indumenti di cuoio	19-24	45-60	50	75
Dipinti su tela,	19-24	40-55	150	75
Documenti archivistici su carta	13-18	50-60	150	75
Legature di libri con pelle o pergamena	19-24	45-55	50	75
Lacche, mobili intarsiati, decorati	19-24	50-60	50	75
Sculture policrome di legno	19-24	50-60	50	75
Sculture di legno non dipinte, vimini	19-24	45-60	150	75

Tabella I - Parametri microclimatici per la corretta conservazione dei beni

MATERIALI INORGANICI	T0	UR0	Emax	UVmax
Porcellana, ceramiche, grès, terracotta	NR	NR	NR	-
Pietre, rocce, minerali	19-24	40-60	NR	-
Mosaici di pietre, pietre, fossili	15-25	20-60	NR	-
Metalli, leghe metalliche	NR	<50	NR	-
Metalli con siti di corrosione attivi	NR	<40	NR	-
Ori	NR	NR	NR	-
Gesso	21-23	45-55	150	75
Vetri instabili, iridescenti, sensibili,	20-24	40-45	150	75
OGGETTI MISTI	T0	UR0	Emax	UVmax
Pittura murale, affreschi, sinopie	10-24	55-65	NR	-
Pitture murali a secco (staccate)	10-24	50-45	150	75
Avori, corna, uova, nidi, coralli	19-24	40-60	150	75
Dischi fonografici	10-21	40-55	-	-
Fibre sintetiche	0-15	30-45	50	75
Film, fotografie in bianco e nero	0-15	30-45	150	75
Nastri magnetici	5-15	40-60	-	-
Materie plastiche	19-24	30-50	<300	75
LEGENDA T0: temperatura valore consigliato °C UR0: umidità relativa valore consigliato % Emax: illuminamento valore massimo lx UVmax: radiazione ultravioletta valore massimo mW/lm				

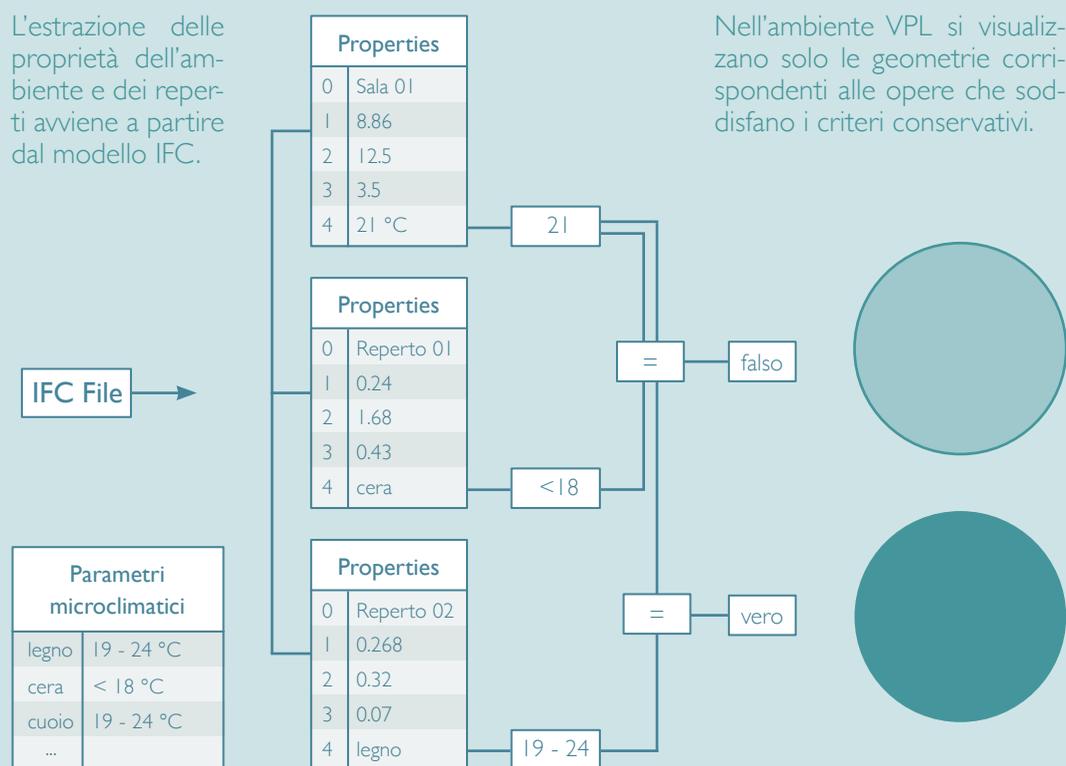
L'algoritmo identifica le geometrie associate ai valori idonei, ovvero i valori che soddisfano l'equazione:

$$T_{\text{opera}} = T_{\text{ambiente}}$$

Attraverso una selezione per colore, nel modello vengono visualizzate in verde le geometrie che soddisfano i requisiti conservativi, in rosso le opere che necessitano di una collocazione differente per essere esposte in circostanze di sicurezza.

La stessa procedura algoritmica può essere utilizzata per ottimizzare la gestione della movimentazione delle opere, che sia tra due musei o anche semplicemente tra due ambienti di uno stesso museo, inserendo come dati di input da confrontare i dati dimensionali dell'opera con le caratteristiche dimensionali degli ambienti architettonici e delle relative aperture di accesso.

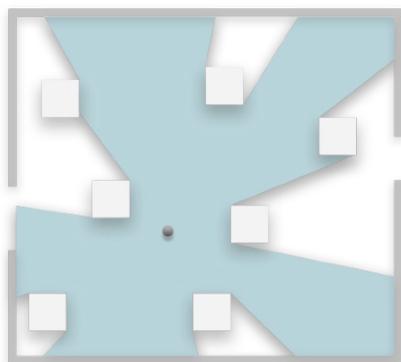
Figura 10 - Schema riassuntivo della procedura algoritmica di verifica dell'idoneità ambientale.



La tabella dei parametri microclimatici viene importata in ambiente VPL da Excel. Il materiale richiama i range di temperatura da confrontare.

La Isovista

La isovista è una procedura utilizzata per simulare staticamente l'esperienza spaziale attraverso l'analisi delle visuali: consente di calcolare la quantità di spazio visibile da un qualsiasi punto all'interno di un ambiente e fornisce una sintesi grafica della percezione di una parte dell'esperienza visiva umana in quel determinato spazio (Benedikt, 1979).



La isovista nelle applicazioni architettoniche è rappresentata generalmente su un piano bidimensionale; la sintesi grafica avviene proiettando una serie di vettori da un punto che rappresenta l'occhio dell'osservatore, connettendo con una spezzata le intersezioni tra le direzioni e le geometrie viste nello spazio ricavando l'area apprezzabile dalla vista dai punti analizzati (Nagy, 2017)(fig. 11).

La simulazione dell'esperienza visiva avviene per mezzo della sintesi dei parametri principali che ne determinano la qualità. L'impostazione dei parametri varia in base alla tipologia di analisi che si vuole affrontare. Le proprietà esaminate sono: la **risoluzione** e il **raggio di vista**.

La **risoluzione** è assimilabile alla caratteristica della visione umana chiamata acuità visiva, che è la capacità da parte dell'occhio umano di recepire il maggior numero di dettagli possibile. Aumentando il parametro della risoluzione, aumenta il numero di direzioni divergenti dal punto di vista e quindi il numero di dettagli intercettati nella scena; il perimetro del grafico è più aderente agli elementi intercettati (fig.12). Generalmente una risoluzione alta va utilizzata per rappresentazioni di pochi ambienti, mentre per analisi massive o

Figura 11 - La rappresentazione dell'isovista.

superfici estese è sufficiente impostare un valore di risoluzione contenuto, ottimizzando i tempi di calcolo.

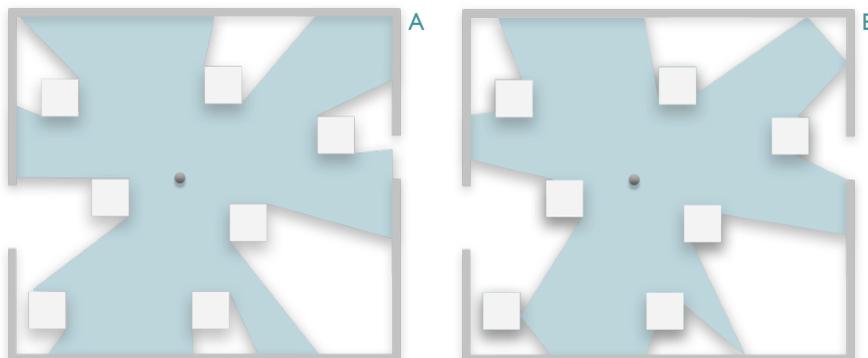


Figura 12 - Superficie spazio visibile con risoluzione = 1000 (A) e risoluzione = 25 (B).

Il **raggio di vista** è assimilabile alla nitidezza di visione, quindi la capacità di percepire oggetti lontani. Questo parametro viene regolato tramite la dimensione della lunghezza del raggio visivo che consente di definire la quantità di spazio percepito dall'utente. La nitidezza è un parametro influenzato da diverse condizioni ambientali ed umane ma la rappresentazione è effettuata su un utente medio con normali capacità visive e in presenza di un corretto illuminamento di una stanza per consentire la percezione adeguata dei particolari. Valori elevati del parametro esaminato permettono una visuale chiara di elementi e dettagli che si trovano in posizioni anche molto distanti dal punto di osservazione (fig. 13).

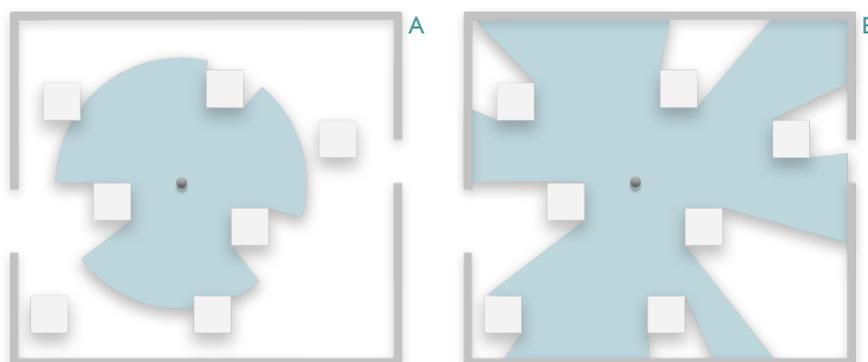


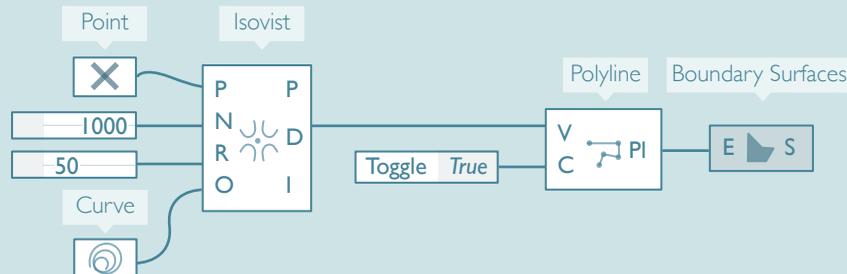
Figura 13 - Superficie spazio visibile con raggio = 10 (A) e raggio = 25 (B).

La sola rappresentazione grafica dell'isovista non consente di quantificare la percezione dello spazio architettonico. Occorre quindi convertire la rappresentazione geometrica della isovista in valori numerici che possano restituire la misura quantitativa dello spazio.

C'è stata una grande quantità di ricerche negli ultimi 40 anni sull'uso dell'isovista per estrarre le misure quantitative dallo spazio architettonico. Uno dei primi fu il lavoro di Michael L. Benedikt (1979), che ha fornito una serie di misure che possono essere estratte dalla isovista per quantificare l'esperienza spaziale. Due delle misure su cui Benedikt si è concentrato sono l'area dell'isovista (che descrive l'area totale visibile da un punto) e la lunghezza perimetrale del confine dell'isovista (che descrive la complessità della vista). Queste misure quantificano differenti aspetti di come una persona percepisce lo spazio e insieme consentono di realizzare una descrizione maggiormente completa dell'ambiente. Ad esempio, uno spazio ristretto come un corridoio avrà valori bassi sia per l'area che la lunghezza del perimetro. Uno spazio completamente aperto avrà alti valori per area e valori medi per lunghezza del perimetro. Uno spazio aperto con molti ostacoli che creano una maggiore complessità visiva, avrà valori medi per l'area e valori alti per la lunghezza del perimetro.

L'isovista rende evidente come le caratteristiche morfologiche della scena, quindi le dimensioni e la forma dell'ambiente e degli oggetti, influenzino notevolmente la percezione che si ha dello spazio. La graficizzazione reiterativa dell'isovista e la relativa estrazione dei valori in relazione a diversi punti di vista e diverse configurazione degli oggetti interni allo spazio, consente di analizzare e quantificare la qualità dell'ambiente agevolando alcune scelte progettuali.

Figura 14 - La definizione dell'algoritmo per il calcolo dell'isovista.





I Campi di vettori

In fisica, un campo di forze (vettori) è un campo vettoriale che descrive la presenza di una forza in ogni punto dello spazio. È una funzione che associa ad ogni posizione un vettore che ha l'intensità e la direzione della forza. Il campo di forze è un concetto introdotto nel XVIII secolo per descrivere l'interazione a distanza tra oggetti.

In sintesi possiamo dire che nel momento in cui si introducono delle entità con attributi all'interno di uno spazio, queste influenzano l'ambiente creando dei fenomeni invisibili. All'interno della procedura le entità analizzate sono i reperti collezionati la cui posizione è rappresentata da punti; ogni oggetto si porta dietro degli attributi legati al valore storico, patrimoniale, mediatico ed eventualmente il gradimento raccolto nel tempo.

La valutazione della variazione del campo di forza avviene a seguito della discretizzazione in punti dell'ambiente come definito nel paragrafo 3.1. I vertici della mesh regolare introdotta diventano punti campione per il rilevamento della qualità del campo di forza. Le perturbazioni create con i campi di forza assumono esiti formali che nell'ambito del design vengono utilizzate per la generazione di nuove trame su superfici mentre, nella ricerca presentata, vengono impiegate per generare mappe grafiche concettuali con cui illustrare le variazioni relazionali tra oggetti (collezioni museali) contenuti in un ambiente (sala espositiva) individuando allestimenti equilibrati degli elementi posizionati nello spazio.

Gli elementi presenti nell'ambiente si differenziano per morfologia ma anche per attributi associati creando un campo vettoriale; un campo che possiamo analizzare in VPL assumendo le regole dei campi elettromagnetici, in cui le diverse cariche presenti nello spazio, si influenzano vicendevolmente, caratterizzando lo spazio indagato. Utilizzando il paradigma del campo

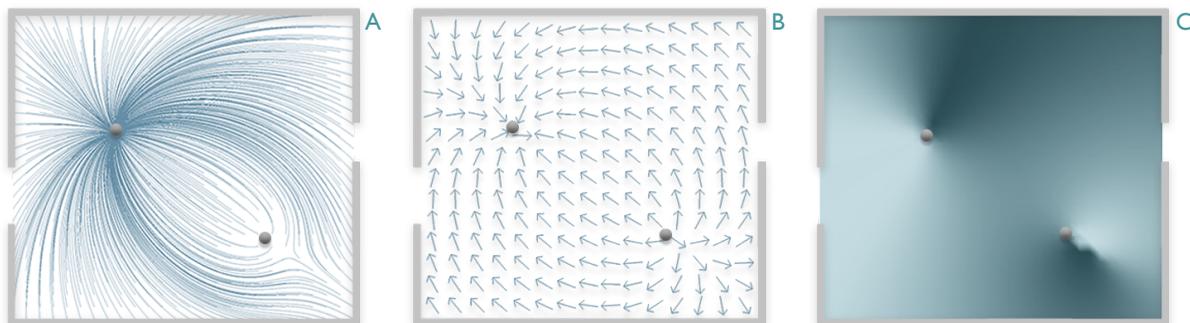
elettromagnetico, gli elementi contenuti nell'ambiente vengono ridotti ad entità adimensionali "caricate" dai metadati che caratterizzano le geometrie considerate. I valori dei metadati sono ponderati da due parametri che qualificano i campi di forza: l'**intensità** e il **decadimento**.

L'**intensità** della carica generata da un'entità puntuale è un parametro definito in relazione alle caratteristiche dei metadati associati: i punti con proprietà associate numericamente elevate, avranno valori di carica elevati, generando un campo di forza attrattivo più ampio rispetto ai punti con indici numerici più bassi. L'associazione tra carica e metadati di un punto consente di quantificare il "peso attrattivo di un oggetto" all'interno di un ambiente, creando una gerarchia dei contenuti.

Il **decadimento** invece rappresenta la velocità con cui gli effetti della carica diminuiscono all'interno del campo. Più è elevato il valore di decadimento e più rapidamente diminuirà l'effetto della carica.

La rappresentazione del campo vettoriale avviene utilizzando la mesh dell'area grafica dove i vertici diventano punti di applicazione di vettori che tramite il modulo, la direzione ed il verso sintetizzano localmente il valore del campo. La presenza dei vettori diventa strumentale alla costruzione di linee che seguono le indicazioni dei segmenti orientati, permettendo la valida graficizzazione del fenomeno attraverso "linee di forza" (fig. 15).

Figura 15 - Visualizzazione linee di forza (A), tensori (B) e direzione delle forze del campo di forza (C) generato da una carica con forza attrattiva e una con forza repulsiva con uguale intensità: charge 1 = -60, decay 1 = 0.3; charge 2 = +60, decay 2 = 0.3.



La densità delle linee di forza è direttamente proporzionale all'intensità del campo di forza. Tali linee identificano una prima rappresentazione grafica del fenomeno generato dalla relazione carica - metadato, ovvero il livello di influenza esercitato dagli elementi contenuti in un ambiente.

L'utilizzo dei campi di forza in relazione alle proprietà dei metadati associati agli elementi contenuti in un ambiente consente di valutare come un utente sarebbe portato a interagire con lo spazio e con gli elementi presenti al suo

interno. Le rappresentazioni grafiche che si ottengono costituiscono così un ulteriore strumento da affiancare all'analisi dell'Isovista per facilitare le scelte progettuali e ottimizzare il processo creativo (fig. 16).

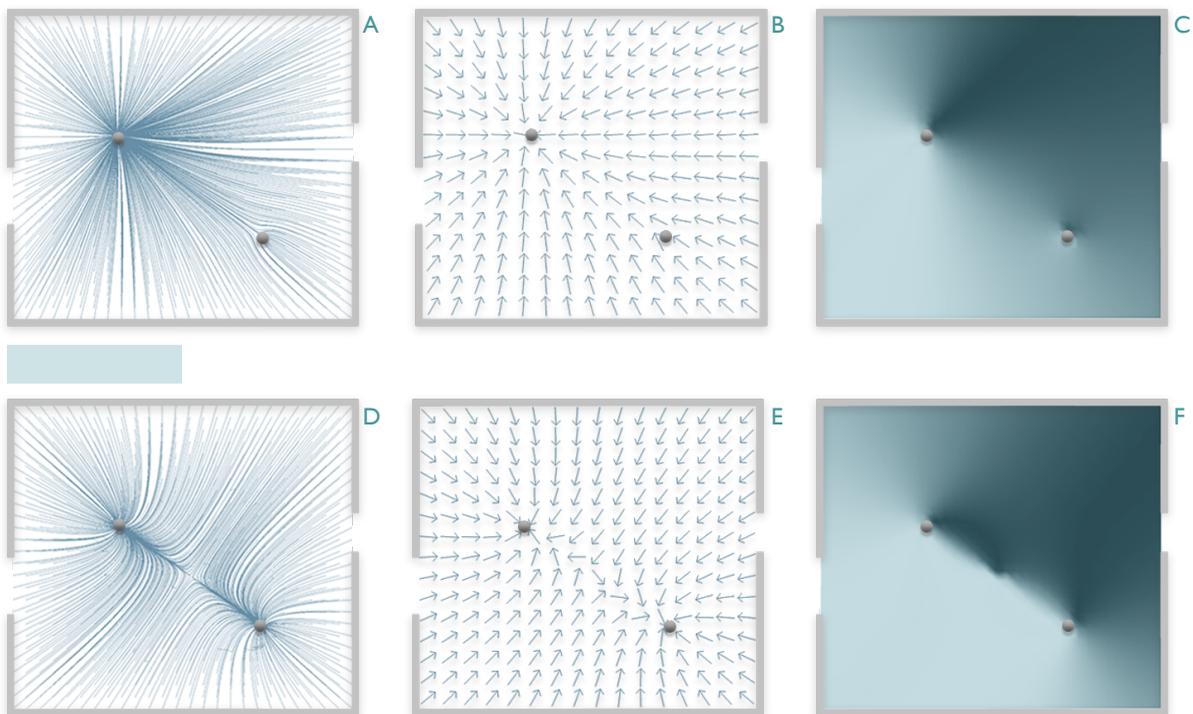


Figura 16 - Rappresen-
tazione campi di forza
generati da cariche attrat-
tive con intensità varia-
bile: cariche con valori di
intensità sbilanciati (A, B,
C), cariche in condizione
di equilibrio (D, E, F).

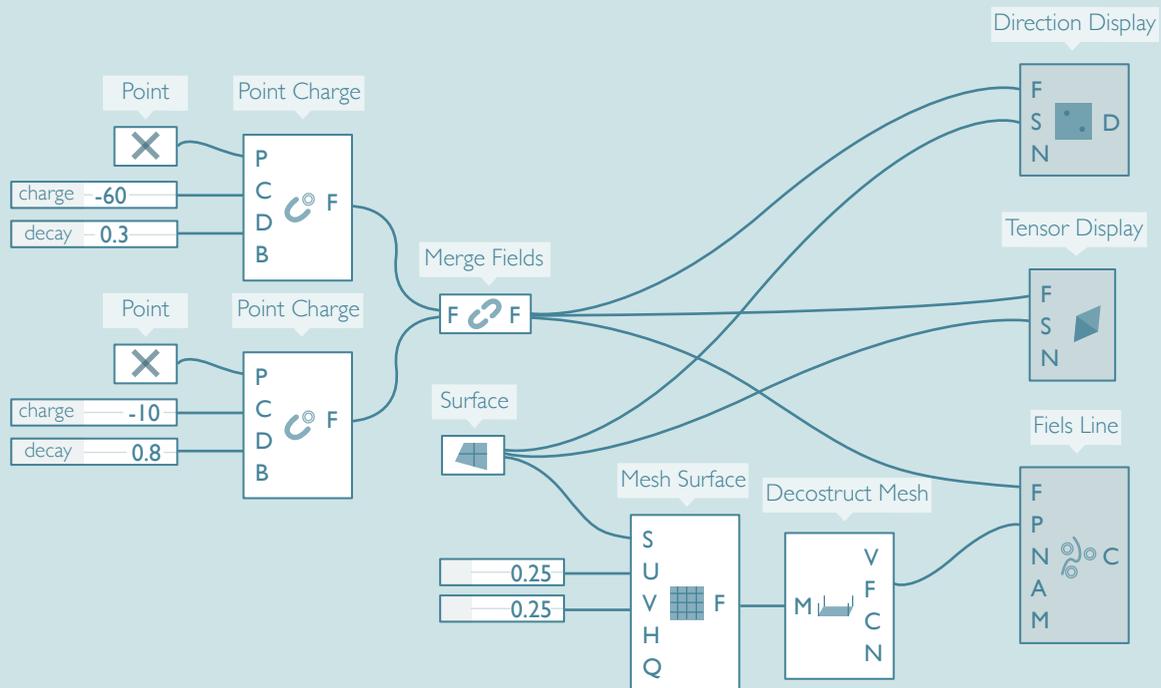


Figura 17 - La definizione dell'algoritmo per la creazione dei campi di vettori.



La simulazione dei flussi pedonali come strumento di valutazione progettuale

Comprendere come i visitatori si muovono all'interno del museo, conoscere il loro comportamento, quali sono gli oggetti esposti con successo, dove vanno le persone e, in generale, come le persone interagiscono con i contenuti e gli oggetti progettati è fondamentale per curatori e il personale del museo, al fine di progettare allestimenti efficaci che consentano all'istituzione museale di perseguire gli scopi di conservazione delle opere, divulgazione del sapere, educazione e diletto dell'utente (ICOOM)².

Lo studio e l'analisi delle dinamiche comportamentali dei visitatori all'interno degli ambienti museali può avvenire tramite l'utilizzo di strumenti digitali di simulazione della folla che permettono ai progettisti di analizzare criticamente il proprio lavoro, valutare come la collocazione e la disposizione degli oggetti nel museo influenzano il modo in cui i visitatori interagiscono, e consentono la pianificazione e il miglioramento delle pratiche attuali.

La procedura di prefigurazione dei flussi in relazione alle caratteristiche fisiche e culturali che contraddistinguono le opere e l'ambiente espositivo proposta in questa tesi vuole essere uno strumento di supporto al progettista che gli consenta di simulare il comportamento dei visitatori per individuare le eventuali criticità dell'allestimento ideato, come le zone di affollamento o di scarso interesse, e prevedere così l'efficacia dello stesso prima della sua effettiva realizzazione.

Questa tipologia di analisi offre l'opportunità di ripensare la disposizione delle collezioni e dell'arredo in modo più opportuno a fronte delle valutazioni ricavate dalla simulazione e di gestire, di conseguenza, il flusso in modo più intelligente e fluido, in favore non solo di un'esperienza culturale coinvolgente ma anche della sicurezza. Il grande vantaggio di questo approccio risiede

² Dalla definizione di museo nel Codice etico dei musei dell'International Council of Museums (ICOM).

nella possibilità di lavorare in un ambiente virtuale dinamico, nel quale è possibile effettuare infiniti test e verifiche della configurazione progettuale, individuando a priori i punti di criticità che, allo stato attuale, risultano identificabili solo a realizzazione compiuta, tramite l'analisi dei feedback di gradimento espressi dagli utenti o dal monitoraggio dei loro percorsi.

Lo strumento può consentire ai team museali di comprendere le debolezze, le esigenze, i punti di forza e le possibili soluzioni per un progetto di allestimento. Prevedere l'efficacia di un allestimento risulta quindi una grande opportunità per soddisfare la missione primaria dell'istituzione museale.

Lo studio e l'analisi del movimento pedonale nell'ambito della pianificazione urbana, dei trasporti e degli ambienti architettonici, è una disciplina che ha attirato un crescente interesse da parte di studiosi e specialisti nel corso degli ultimi decenni, portandoli a intensificare il loro impegno nella ricerca e a sviluppare modelli di simulazione dei flussi pedonali sempre più precisi e realistici, con grande beneficio per il lavoro di svariate discipline tecniche, tra le quali architettura e ingegneria civile.

I software per la simulazione dei pedoni e l'analisi del comportamento della folla vengono ampiamente utilizzati da ingegneri, architetti, designer e pianificatori per prevedere il movimento di centinaia di migliaia di personalità individuali negli ambienti 3D complessi. È importante che gli edifici, i grandi complessi e i quartieri della città siano progettati pensando ai loro occupanti e ai pedoni. Strumenti di simulazione, analisi e modellazione dei pedoni ricreano la folla in situazioni reali per testare rapidamente progetti di varia complessità, fornendo una testimonianza in tempo reale di come le persone utilizzeranno l'edificio o lo spazio che si sta simulando al fine di ottimizzare le configurazioni progettuali per l'utilizzo dello spazio e rendere così un ambiente più sicuro e confortevole per le persone.

Queste tipologie di strumenti di supporto vengono utilizzati in svariate situazioni, ad esempio per l'analisi dei processi di evacuazione per determinare il livello di sicurezza di una struttura e massimizzare l'efficacia della sua evacuazione, per la valutazione di zone congestionate da ingenti masse, per la pianificazione e ottimizzazione architettonica, per la realizzazione di sistemi di gestione dei pedoni per guidare le folle in tempo reale nei grandi complessi architettonici e altro ancora.

Più in generale, la simulazione della dinamica della folla in ambito architettonico si pone come scopi:

- La comprensione degli effettivi percorsi dei flussi pedonali
- L'identificazione dei punti di congestione
- La comprensione degli effetti del sovraffollamento
- La verifica della qualità di uno scenario per la gestione del sovraffollamento
- L'esecuzione di test di evacuazione antincendio - situazioni di panico (La Vista, 2017)

I punti di forza dell'utilizzo di uno strumento di simulazione del comportamento della folla sono riassumibili in quattro parole chiave:

CREARE

Creare con semplicità ambienti virtuali tri-dimensionali complessi direttamente nella piattaforma di simulazione



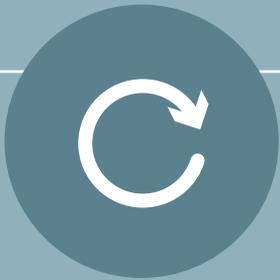
ANALIZZARE

Diagnosticare tempestivamente i potenziali problemi di capienza, flusso e congestione con prove verificate.





Indoor people tracking Infos



REVISIONARE

Risolvere i problemi in anticipo, risparmiando tempo, denaro e manodopera durante le fasi di pianificazione.

SIMULARE

Simulare scenari complessi come code, controlli di sicurezza, evacuazioni e chiusure di percorsi.



Agent Based Model per la simulazione della dinamica della folla

La letteratura relativa alla “scienza del movimento pedonale” identifica due principali approcci per modellare il flusso di persone nelle strutture architettoniche, corrispondenti a due grandi classi di modelli: i modelli macroscopici e i modelli microscopici.

Modelli macroscopici

I modelli macroscopici rappresentano i flussi pedonali considerando la folla come un unico gruppo omogeneo, ponendo l'attenzione sulle caratteristiche medie del sistema piuttosto che sul comportamento dei singoli individui. La folla viene trattata in analogia a un fluido continuo ed omogeneo e le sue variazioni vengono descritte attraverso grandezze macroscopiche ed equazioni derivanti dalla teoria della dinamica dei fluidi quali la velocità media, il flusso, la densità media (intesa come numero di pedoni per unità di superficie) e la direzione principale del gruppo di pedoni. L'approccio macroscopico, definito anche flow-based, deriva dagli studi della simulazione del traffico veicolare e risulta utile per analizzare il flusso di movimento di una folla numerosa e in situazioni di alta densità, situazioni nelle quali il comportamento dell'intero gruppo prevale sulle caratteristiche del singolo pedone.

Tuttavia, l'incapacità di trattare alcuni aspetti peculiari del comportamento umano del singolo individuo, rende l'applicazione di questi modelli limitata e in alcuni casi inadeguata alla rappresentazione realistica del comportamento della folla, mostrando problemi significativi nell'approccio a situazioni di emergenza, in cui il comportamento dell'individuo influenza notevolmente il sistema aggregato. Studi recenti hanno, infatti, dimostrato come l'approccio allo studio del flusso pedonale tramite l'analogia con le teorie della dinamica dei fluidi non sia pienamente accettabile. Come riportato da G. Keith Still in

Crowd Dynamics (2000)³, è necessario che le leggi alla base della dinamica della folla tengano conto del fatto che il comportamento delle persone del mondo reale non segue rigorosamente le leggi della fisica: esse scelgono arbitrariamente il senso di percorrenza, non conservano la stessa velocità per tutto il percorso e possono decidere di effettuare soste e di riprendere a camminare secondo la propria volontà (Spagnolo, et al. 2014).

3 G. Keith Still, professore di Crowd Science presso Manchester Metropolitan University (UK).

In ambienti chiusi e in presenza di flussi di domanda inusuali, la realizzazione di una simulazione dei flussi pedonali affidabile e realistica richiede la capacità di riprodurre i comportamenti dinamici dell'uomo attraverso la modellazione del processo decisionale e del comportamento individuale, fortemente influenzato dalla geometria, dalla casualità, dalle preferenze sociali, dal comportamento individuale e collettivo di altre persone. I modelli microscopici, in questo senso, presentano il potenziale per superare i principali limiti dei modelli sopra citati, incorporando una varietà di proprietà e regole comportamentali per simulare i movimenti di ogni singola persona (Camillen, et al., 2009).

Figura 18 - Rappresentazione schematica della differenza tra modello macroscopico e microscopico



Modelli microscopici

Nei modelli microscopici ogni persona viene modellata singolarmente, prendendo in considerazione i comportamenti individuali e le interazioni con gli altri pedoni presenti nell'ambiente. I valori che descrivono il comportamento dei pedoni riflettono la caratteristica eterogenea della popolazione: per ogni individuo si possono associare e controllare attributi personali relativi alla propria dinamica del moto quali velocità, tempo di reazione, abilità fisica, capacità cognitive, che consentono di valutare e gestire il comportamento del singolo e le interazioni dei moti individuali (Spagnolo, et al., 2014) (La Vista, 2017).

Una tecnica di modellazione che è intrinsecamente adatta a simulare l'interazione tra individui in un sistema dinamico è l'Agent Based Model (ABM), ovvero la modellazione basata su agenti.

Agent Based Model

La modellazione basata su agenti si caratterizza per la sua capacità di rappresentare chiaramente i singoli utenti, il loro comportamento e le interazioni tra essi, permettendo di simulare situazioni in cui il futuro è difficile da prevedere (Lampert, 2002). Il sistema viene modellato come un insieme di entità decisionali autonome chiamate agenti. Gli agenti sono singole entità mobili capaci di azioni autonome per raggiungere gli obiettivi prefissati.

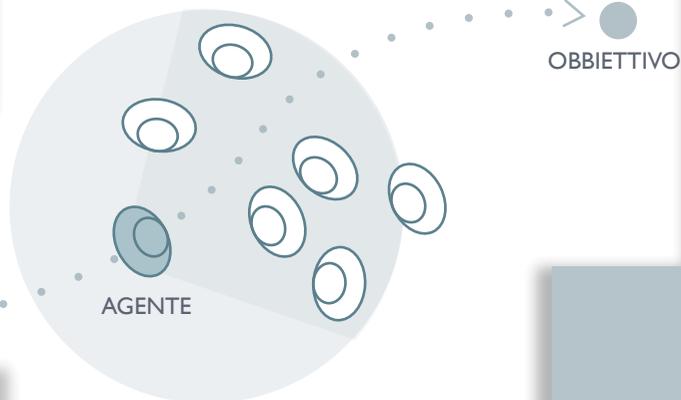
Jacques Ferber, in *Multi-Agent Systems: An Introduction to distributed artificial intelligence* (1999)⁴, definisce le principali caratteristiche degli agenti: sono in grado di percepire e agire sull'ambiente e di comunicare con gli altri agenti; sono dotati di una propria rappresentazione limitata del mondo e il loro comportamento è legato al soddisfacimento dei propri obiettivi, in funzione delle proprie percezioni e tenendo in considerazione le proprie risorse. In qualità di entità autonome, ogni agente valuta individualmente la propria situazione e prende decisioni sulla base di un insieme di regole comportamentali previste dal modello per il contesto specifico individuato.

⁴ Jacques Ferber, professore d'informatica presso l'Università di Montpellier (FR).

Figura 19 - Rappresentazione dell'agente.

L'AGENTE PERCEPISCE E AGISCE SULL'AMBIENTE, COMUNICA CON GLI ALTRI AGENTI, PER RAGGIUNGERE IL SUO OBBIETTIVO.

POSIZIONE DI PARTENZA



Anche se ogni agente è modellato da variabili e algoritmi, questo non determina un comportamento rigido. Al contrario, gli agenti sono capaci di un comportamento reattivo, proattivo e sociale: sono reattivi perché possono percepire e reagire ai cambiamenti e input esterni nel loro ambiente, proattivi perché possono prendere l'iniziativa per raggiungere i loro obiettivi e so-

ciali perché possono interagire con altri agenti per soddisfare i loro obiettivi (Camillen, et al., 2009). Altre caratteristiche importanti della modellazione basata su agenti sono l'integrazione e la flessibilità. All'interno di una stessa simulazione è infatti possibile aggiungere, in qualsiasi momento, una svariata quantità di nuovi agenti caratterizzati da un altrettanto ingente numero di parametri quantitativi e qualitativi che definiscono un particolare comportamento associato.

Le simulazioni con modelli basati su agenti servono come laboratori artificiali dove si possono testare idee e ipotesi su fenomeni che non sono facili da esplorare nel mondo reale, specialmente per fenomeni in cui è importante comprendere sia i processi rilevanti che le loro conseguenze. Il ricercatore può quindi avviare eventi simulati e osservare come reagiscono gli agenti, comprese le ramificazioni a cascata delle loro reazioni. Questo permette di testare numerosi scenari per misurare gli effetti di un evento reale e migliorare le capacità di pianificazione. (Crooks, et al., 2015)

Anche un semplice modello basato sugli agenti può mostrare complessi modelli di comportamento e fornire preziose informazioni sulle dinamiche del sistema del mondo reale che emula. L'ABM è una mentalità più che una tecnologia che consiste nel descrivere un sistema dal punto di vista delle sue unità costitutive. Questo aspetto è la ragione per la quale spesso, in letteratura, si trovano testi nei quali il termine e la definizione Agent Based Model (ABM) vengono usati come sinonimo del concetto di modello microscopico (Bonabeau, 2002).

Social Force Model

Negli anni successivi all'introduzione dell'Agent Based Model (1987), grazie ai miglioramenti nella potenza di calcolo, ci sono stati notevoli progressi nella modellazione del comportamento dei pedoni a livello microscopico (Rindsfuser, et al., 2007) che hanno portato allo sviluppo di nuove tipologie di modelli. Degno di nota è il Social Force Model (SFM) proposto da Dirk Helbing e Peter Molnar nel 1995, modello microscopico che viene attualmente utilizzato dalla maggior parte dei software per elaborare gli algoritmi che si occupano della simulazione numerica della folla.

Secondo il Social Force Model, i pedoni vengono descritti come particelle puntiformi il cui movimento è soggetto alla risultante di quattro forze: la **Preferred Force** (forza desiderata) che rappresenta il desiderio dei pedoni di camminare seguendo una velocità preferibile; la **Interaction Force** (forza di repulsione dai pedoni), cioè la volontà dei singoli individui di evitare collisioni con altri pedoni; la **Obstacle Force** (forza di repulsione dagli ostacoli) la

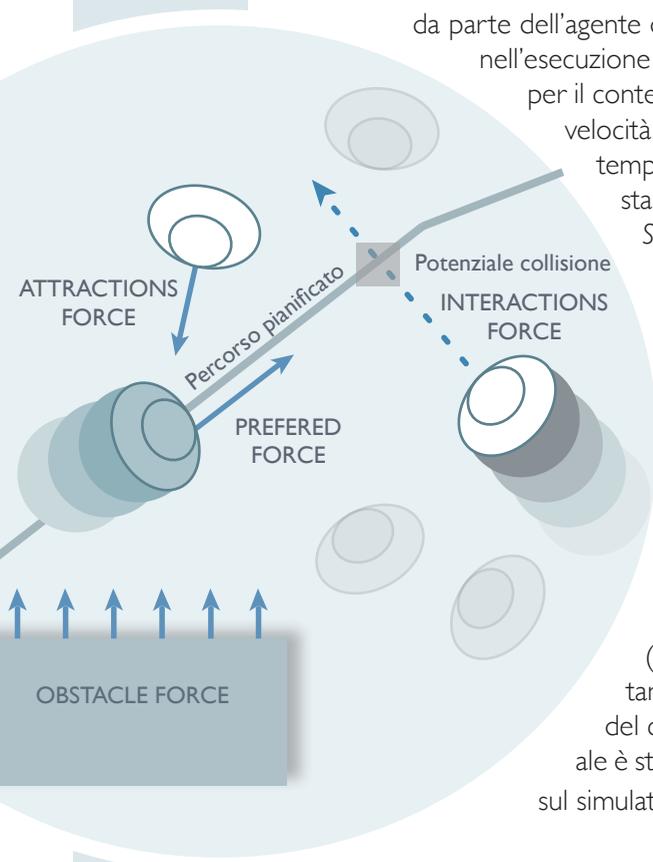
pedoni), cioè la volontà dei singoli individui di evitare collisioni con altri pedoni; la **Obstacle Force** (forza di repulsione dagli ostacoli) la quale permette che ogni pedone eviti l'urto con ostacoli presenti nell'ambiente e i limiti del dominio della stanza; la **Attraction Force** (forza attrattiva) che rappresenta l'influenza che alcuni individui o oggetti possono esercitare sul comportamento di un pedone (LaVista, 2017)(Helbing, et al., 1995). La sommatoria di queste forze descrive la **Social Force** (forza sociale), la misura delle motivazioni interne degli individui a compiere determinate azioni (movimenti) e la sua influenza sulle variabili dinamiche delle persone (velocità, accelerazione, distanza) (Camillen, et al., 2009).

Social Force = Preferred + Interactions + Obstacle + Attractions

Nello specifico, nella simulazione SFM ogni pedone è modellato come un agente individuale, con caratteristiche fisiche e personalità uniche, al quale è associato un vettore posizione che descrive la posizione dell'individuo nel tempo. Ogni agente cerca di raggiungere il suo obiettivo mentre si muove all'interno della scena: lo schema di movimento consiste nel riconoscimento da parte dell'agente del contesto nel quale è inserito e successivamente nell'esecuzione delle regole comportamentali previste dal modello per il contesto individuato. La variazione della posizione e della velocità di ciascun agente viene calcolata ad ogni intervallo temporale, sulla base della posizione degli agenti circostanti e della presenza di ostacoli, ovvero tramite la *Social Force*. Il principio alla base del SFM è dunque quello di manifestare l'influenza degli elementi, intesi come oggetti e altri utenti, presenti nell'ambiente sul comportamento dei pedoni.

I modelli basati su agenti possono essere implementati su piattaforme software commerciali in grado di simulare un mondo spaziale virtuale dove gli agenti interagiscono tra loro e con l'ambiente spaziale, secondo un sistema di controllo che definisce il loro comportamento alla scala microscopica, cioè la loro reazione agli stimoli esterni (Camillen, et al., 2009). Per rappresentare il comportamento dei visitatori in relazione alle caratteristiche del contenuto esposto all'interno di un ambiente museale è stato sviluppato un ambiente di prefigurazione basato sul simulatore della dinamica della folla MassMotion.

Figura 20 - Rappresentazione delle forze coinvolte nel modello Social Force.



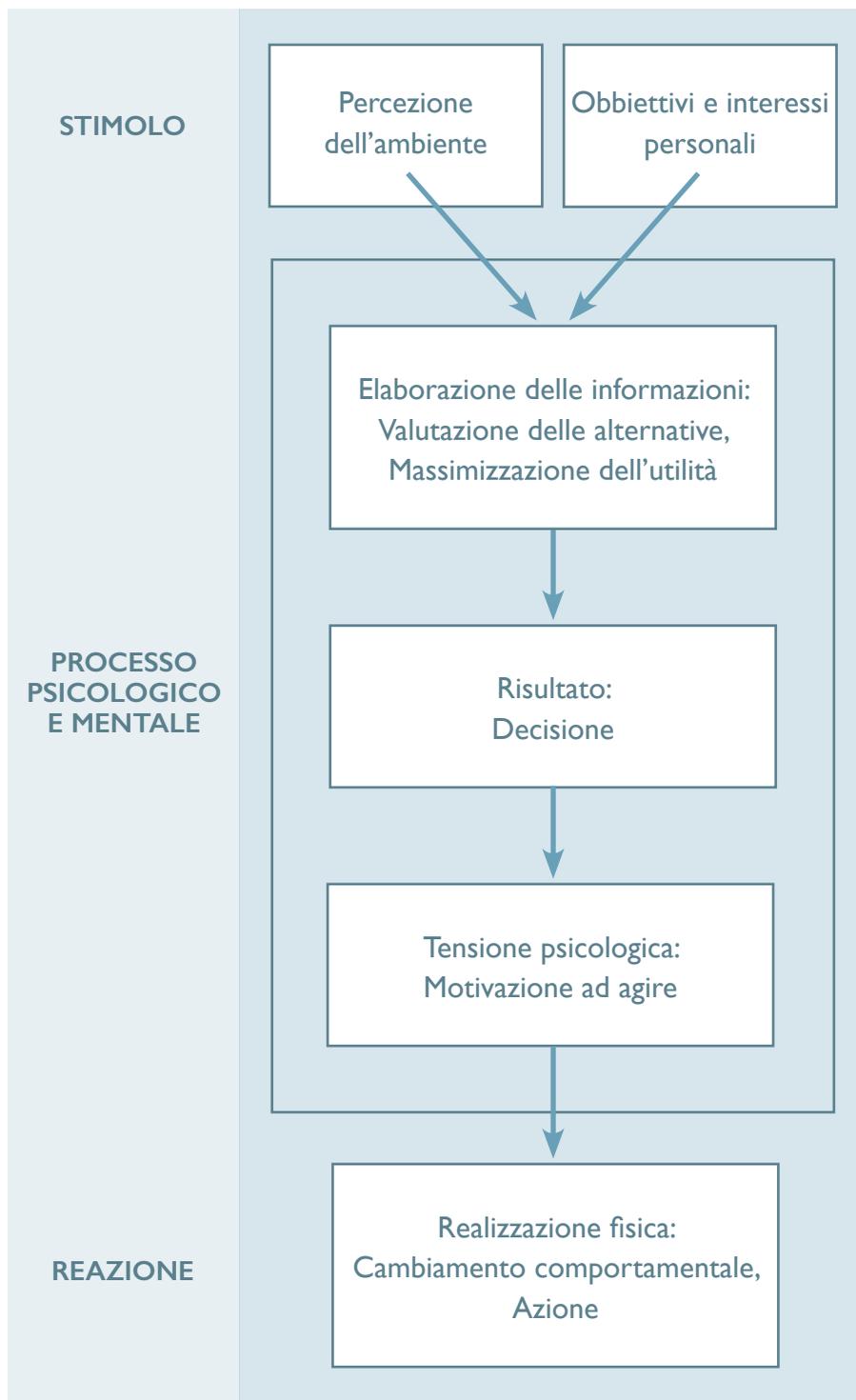


Figura 21 - Rappresentazione schematica del processo di Helbing e Molnar (1995).

MassMotion

MassMotion è una piattaforma per la simulazione della dinamica della folla sviluppato da Oasis (Ove Arup SYStems) per consentire a progettisti e pianificatori di testare e analizzare rapidamente il movimento delle persone in molteplici tipologie di ambienti e situazioni. Per fare questo MassMotion fornisce agli utenti una serie di strumenti per creare e modificare ambienti 3D, definire scenari operativi, eseguire simulazioni dinamiche e sviluppare potenti analisi. La struttura del software si basa sul sistema di microsimulazione ad agente che consente di gestire le interazioni tra pedoni e l'ambiente circostante sia in situazioni ordinarie che di emergenza, producendo simulazioni verosimili dei flussi reali.

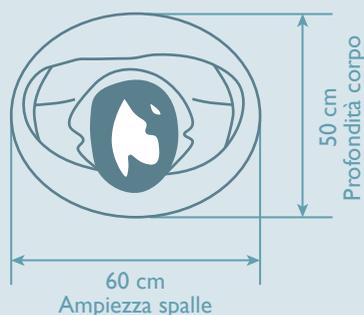
MassMotion modella gli spazi del mondo reale all'interno di un ambiente tridimensionale, suddividendoli in componenti e classificando le parti in base alla funzione. Il modo in cui sono disposti gli oggetti può avere un grande impatto su come le persone navigano in uno spazio, influenzando la loro velocità, i loro schemi di movimento e le loro scelte di percorso.

Figura 22 - Rappresentazione dell'ellisse corporea definita da Fruin. Immagine tratta da *Pedestrian planning and design*. (Fruin, 1987).

I pedoni, simulati nell'ambiente attraverso gli agenti, si muovono in base alle caratteristiche personali, alla geometria dello spazio che li circonda e alla prossimità di altri pedoni. L'agente, in qualità di entità autonoma, ha la capacità di monitorare e reagire al proprio ambiente secondo un insieme

unico di caratteristiche e obiettivi. Ogni entità viene creata a partire da una serie di proprietà che definiscono la personalità e le caratteristiche fisiche del pedone. Parametri come velocità e dimensione possono essere definiti per ogni agente all'interno dell'*Agent Profile*. MassMotion propone dei valori di default derivanti da studi empirici relativi al movimento pedonale, effettuati e validati nel corso degli anni. Per la dimensione della circonferenza del corpo si assume il valore del raggio a 0,25 m, corrispondente sommariamente all'area dell'ellisse corpo-

“THE BODY ELIPSE”.
Definito da Fruin in *Pedestrian planning and design*. (Fruin, 1987)



5 John Fruin, ingegnere e pianificatore urbano, nel testo *Pedestrian Planning & Design* (1987) definisce i principali criteri per la progettazione di ambienti confortevoli e sicuri.

reo definito nel *Pedestrian Planning & Design* di John Fruin (1987)⁵. Il valore relativo la velocità media desiderata deriva anch'esso dalle valutazioni di Fruin ed equivale a 1,35 m/s. Questa misura viene adottata per condizioni di moto pianeggiante in un ambiente privo di ostacoli. In presenza di un'alta densità pedonale o in situazioni che prevedono l'utilizzo di scale/scalate mo-

bili, il valore della velocità desiderata viene ridotto o adeguato alla velocità della scala mobile. Nell'*Agent Profile* è possibile definire anche dei parametri rappresentanti le preferenze culturali, come la tendenza a deviare sul lato destro in presenza di un flusso di persone opposto al proprio percorso.

Gli agenti così definiti, vengono posizionati nella scena tramite la gestione degli *Events*. Gli eventi stabiliscono la tipologia di scenario che si vuole simulare, come una situazione di evacuazione o un semplice percorso verso una destinazione, e i relativi compiti che gli agenti devono svolgere all'interno della simulazione.

Figura 23 - Rappresentazione schematica del processo seguito da *MassMotion* per la gestione degli agenti.



Tutti gli agenti posizionati nella scena tentano di eseguire dei compiti (*Task*) seguendo due processi indipendenti: *Navigation* e *Movement*. L'interazione dell'agente con la scena segue la seguente struttura:

Task: stabilisce gli obiettivi o lo scopo di un agente. Ogni agente all'interno della simulazione dispone di una lista di compiti da svolgere che vengono eseguiti uno alla volta, secondo l'ordine stabilito. Qualsiasi decisione e azione viene intrapresa dall'agente con la finalità di portare a compimento la task assegnata. Le tasks maggiormente utilizzate nella simulazione della folla sono:

- dirigersi verso una destinazione;
- evacuare una zona;
- attendere in un punto per un determinato periodo di tempo.

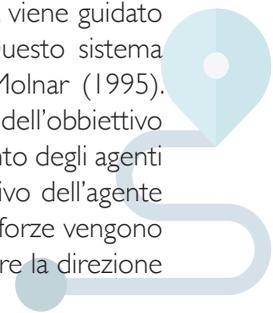
Navigation: rappresenta il processo decisionale che porta le persone a svolgere un compito, determinando la strada migliore per svolgerlo. Nella ricerca della destinazione finale, l'agente deve valutare l'ambiente circostante e determinare il percorso migliore per raggiungerla. Questa valutazione si basa sulla conoscenza dell'ambiente, in termini di distanze, disposizione degli oggetti nell'ambiente e percezione delle altre entità che determinano l'affollamento. È importante ricordare che gli agenti sono in grado di percepire

solo le caratteristiche dell'ambiente in cui si muovono, non possiedono alcuna informazione delle stanze o piani adiacenti. Le opzioni del percorso vengono costruite durante l'inizializzazione della simulazione tramite l'algoritmo di tracciamento e memorizzate nell'albero dei costi. L'albero dei costi (che rappresenta l'insieme dei possibili percorsi che un agente può intraprendere per raggiungere l'obiettivo) viene poi utilizzato dall'agente durante la navigazione per aiutarlo a scegliere il percorso più breve, in termini di costi, per raggiungere un determinato obiettivo. Le principali componenti utilizzate per determinare i costi di un percorso comprendono:

- Distanza orizzontale o verticale: la distanza orizzontale o verticale più breve tra l'agente - l'obiettivo intermedio (target) e l'obiettivo intermedio - meta finale (goal).
- Flusso contrario: attribuisce una penalità di tempo basata sull'entità del flusso in direzione opposta che l'entità incontra dirigendosi verso l'obiettivo intermedio.
- Tempo di coda: quantità di tempo previsto in attesa in coda per raggiungere l'obiettivo intermedio, stimata considerando il numero di persone in fila davanti alla agente e il flusso di uscita attraverso l'obiettivo intermedio.
- Penalità di impossibilità di accesso: una penalità di tempo basata sulla possibilità che l'obiettivo intermedio sia temporaneamente ostruito o inaccessibile all'agente
- Penalità di ritorno: una penalità di tempo se l'agente risulta essere già passato per l'obiettivo intermedio.

Una volta scelta una strada, tale scelta viene periodicamente rivalutata man mano che l'agente procede lungo il percorso, sulla base delle situazioni di criticità che l'agente intercetta.

Movement: una volta che l'agente ha scelto il suo percorso, viene guidato verso il suo obiettivo tramite il sistema di movimento. Questo sistema si basa sull'algoritmo del *Social Force Model* di Helbing e Molnar (1995). L'algoritmo genera una serie di forze in base alla direzione dell'obiettivo verso cui l'agente si vuole dirigere, alla posizione e al movimento degli agenti prossimi, ovvero delle sole entità presenti nel raggio percettivo dell'agente considerato, e alla posizione degli ostacoli a lui vicini. Queste forze vengono calcolate e sommate ad ogni passo e utilizzate per determinare la direzione e la velocità dell'agente.



Output di valutazione

MassMotion offre un efficiente set di strumenti di analisi che consentono di formulare valutazioni sulla qualità compositiva di un ambiente in termini di sicurezza e comfort per le persone. Terminato il processo di simulazione, il software è in grado di elaborare tutti i dati registrati nel corso del processo per produrre i report di analisi sotto forma di tabelle, grafici e mappe, necessari ai progettisti per compiere le valutazioni.

Le analisi sicuramente più interessanti sono la *Average Density Map* e la *Time Occupied Map*. La mappa della densità utilizza una rappresentazione a gradiente di colore che descrive come i valori di densità vengono convertiti in colori nelle mappe e grafici relativi. I valori di densità derivano dagli standard dei *Livelli di Servizio (LoS)* di Fruin, indicatori del livello di comfort percepito dall'utente. Questa tipologia di analisi risulta molto utile per identificare le aree di criticità e determinare la qualità dell'ambiente sulla base di standard riconosciuti e approvati a livello internazionale. Allo stesso modo anche la mappa del tempo di permanenza, che descrive il tempo per il quale ogni punto viene occupato da un agente, è un utile strumento di analisi per individuare situazioni di congestione.

Ulteriori strumenti che possono essere utili per i progettisti sono: il grafico *Flow Count* che permette di identificare il numero di agenti che attraversano determinati elementi di transizione della scena, in un intervallo di tempo definito e le tabelle riassuntive delle attività degli agenti che hanno preso parte alla simulazione (velocità media, densità media, velocità e posizione dell'agente in ogni frame, e altro). Infine, i risultati della simulazione possono essere esportati in formato CSV per eseguire ulteriori analisi e visualizzazioni dei dati su piattaforme esterne, come la definizione del tracciato del percorso effettuato dagli agenti a partire dalle informazioni della loro posizione in ogni frame.

Il grande vantaggio dell'utilizzo di MassMotion risiede nella possibilità di gestire un'elevata quantità di agenti autonomi, con caratteristiche e obiettivi personalizzati, che consentono di individuare percorsi realistici in ambienti tridimensionali complessi, riuscendo allo stesso tempo a mantenere una sorprendente velocità di analisi. MassMotion, inoltre, consente di importare modelli informatizzati BIM attraverso la connessione con il formato IFC. Questo aspetto rende MassMotion un potente strumento di analisi, facilmente integrabile nel flusso di lavoro progettuale.

Analisi del comportamento dei visitatori in ambiente museale

Nei sistemi di simulazione basati su agenti, le entità autonome prendono decisioni per raggiungere l'obiettivo sulla base di regole comportamentali definite dal contesto in cui si trovano. Le regole comportamentali degli agenti si basano su dati empirici o qualitativi che derivano da osservazioni e studi effettuati nel corso degli anni. A tal proposito si è già citato precedentemente il lavoro di John Fruin, fondamentale per la definizione delle dimensioni dell'ellisse corporea e dei valori della velocità media dei pedoni, nonché per la classificazione dei livelli di servizio di comfort.

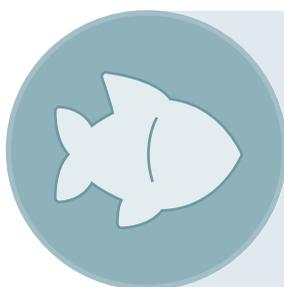
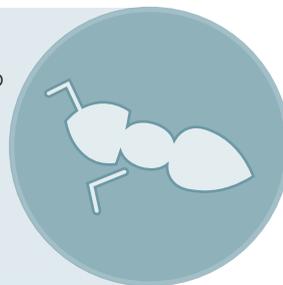
Per prefigurare un flusso di utenza realistico nell'ambiente museale, è necessario integrare il modello di simulazione con un nuovo set di regole che riproducano le caratteristiche comportamentali responsabili della natura delle relazioni che si creano tra l'utente, le opere e l'ambiente allestito in cui il visitatore si inserisce. Il profilo comportamentale del visitatore proposto in questo lavoro deriva dall'adozione della classificazione degli stili di visita elaborata in ambito etnografico dagli studiosi Eliseo Veron e Martine Levasseur (1983)⁶.

Partendo dalle osservazioni del comportamento di un certo numero di visitatori di una mostra svoltasi presso la Biblioteca di pubblica informazione del centro Georges Pompidou a Parigi, Veron e Lasseur hanno sostenuto che i movimenti dei visitatori possono essere classificati in quattro categorie di stili comportamentali, il cui nome deriva dal comportamento tipico di alcuni animali. La ricerca è stata condotta affrontando il tema dello studio del comportamento del pubblico da un punto di vista etnografico, basato quindi "sull'osservazione sistematica dei percorsi, delle attrazioni, dei commenti, integrata da una serie di interviste approfondite con i visitatori" (Veron, Levasseur, 1983).

⁶ Gli stili di visita vengono descritti da Veron e Levasseur all'interno del testo *Ethnographie d'une exposition* (1983).

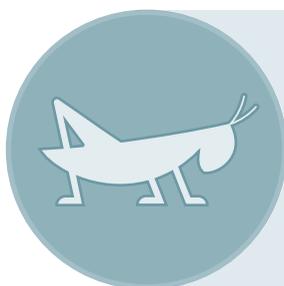
Nel particolare identificano: il visitatore **formica**, il visitatore **pesce**, il visitatore **farfalla** e il visitatore **cavalletta**, classificati sulla base del tempo dedicato alla visita, del movimento nello spazio museale e dell'attenzione prestata alle singole opere.

Il visitatore **formica** tende a seguire il percorso suggerito e passa molto tempo ad osservare quasi tutti gli oggetti esposti in modo ravvicinato e accurato. Posto a confronto con le altre tipologie di visitatori, il tempo di visita dell'utente formica risulta il più prolungato.



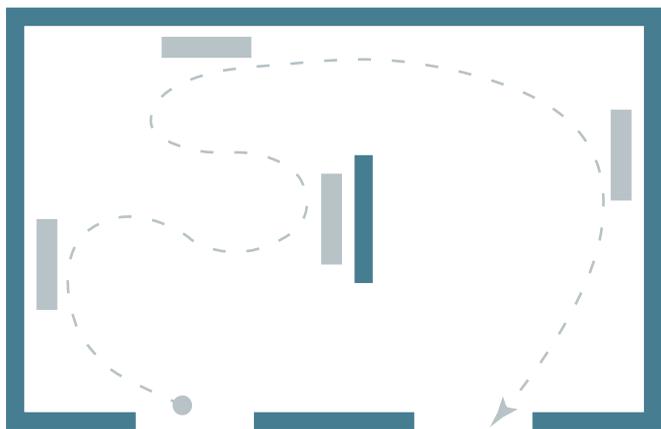
Il visitatore **pesce** si sposta per la maggior parte del tempo al centro della sala e di solito evita di guardare i dettagli degli oggetti esposti. Osserva la maggior parte delle opere, ma per breve tempo, avendo così una visione generale del contenuto della sala.

Il visitatore **farfalla** esegue una visita "oscillante" con frequenti cambi di direzione: non segue un percorso specifico, ma è guidato dalle caratteristiche fisiche (posizione, orientamento, grandezza, colore) degli oggetti esposti. Si ferma frequentemente per cercare maggiori informazioni, anche se i tempi di osservazione variano per ogni opera.



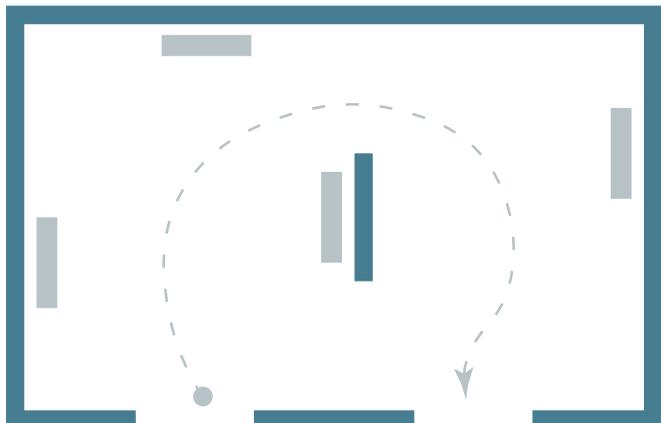
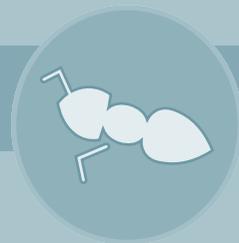
Il visitatore **cavalletta** è un visitatore selettivo: presenta una preferenza specifica per alcuni oggetti preselezionati e passa molto tempo ad osservarli, mentre tende ad ignorare gli altri. Non segue il percorso previsto; si ferma raramente, ma il tempo che impiega per osservare gli oggetti selezionati è piuttosto lungo. La visita, nel complesso, è comunque breve.

Sulla base dei vari studi effettuati ne deriva che: il 30% dei visitatori di una mostra è costituito da formiche, il 20% da pesci, il 40% da farfalle e il 10% da cavallette (Oppermann, et al., 2000).



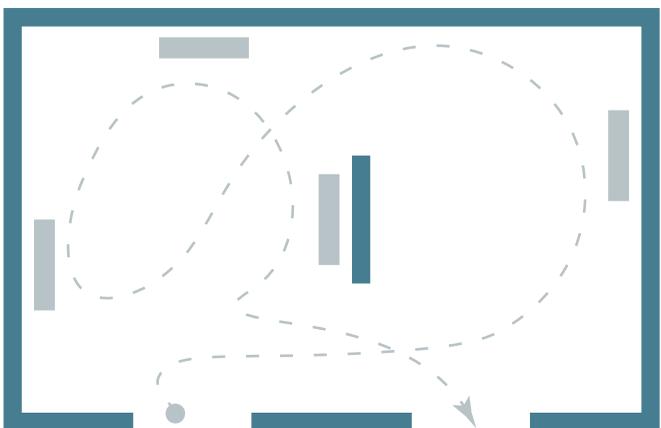
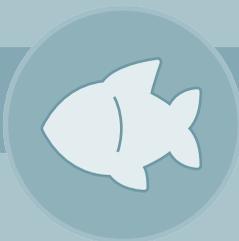
IL PERCORSO DEL VISITATORE FORMICA

- Osserva tutte le opere
- 30% dei visitatori



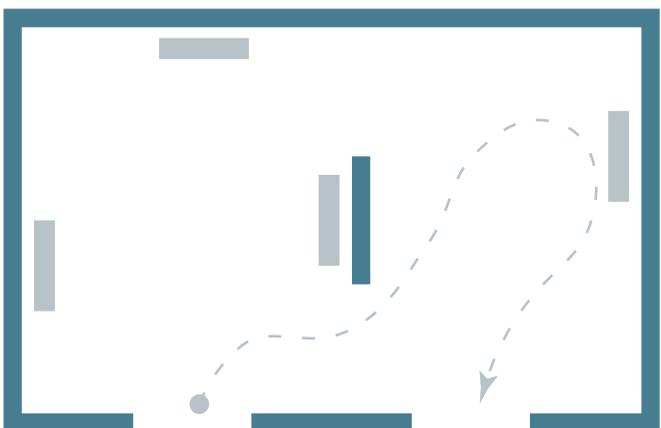
IL PERCORSO DEL VISITATORE PESCE

- Visione generica della mostra
- 20% dei visitatori



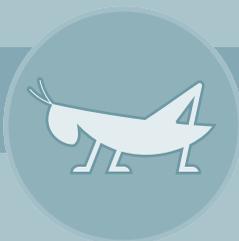
IL PERCORSO DEL VISITATORE FARFALLA

- Osserva prima le opere maggiori e poi le minori
- 50% dei visitatori



IL PERCORSO DEL VISITATORE CAVALLETTA

- Visita selettiva
- 10% dei visitatori



Naturalmente, ci si può aspettare che un visitatore possa cambiare il suo comportamento durante una lunga visita, ed è anche possibile che lo stile sia influenzato dagli interessi specifici di ogni utente, come evidenziato negli scritti di Falk (2009)⁷ incentrati sulla nozione di identità, nei quali egli definisce le caratteristiche personali, sociali e culturali ulteriori elementi condizionanti.

La letteratura di settore presenta un'ampia produzione di contributi sul tema dell'analisi del comportamento dei visitatori del museo. Varie sono le ricerche e indagini messe in campo in diversi contesti. Il lavoro di ricerca sul monitoraggio dei percorsi nell'ambito dello studio di una guida multimediale condotto da Tsvi Kuflikl, Zvi Boger e Massimo Zancanaro⁸, si è occupato di validare le osservazioni etnografiche del comportamento dei visitatori nel muso svolte da Veron e Levasseur, ragione per la quale le quattro tipologie di visitatori presentate sono state adottate, in questo lavoro, come base teorica per strutturare i profili comportamentali per la simulazione del flusso di utenza in ambienti museali.

7 G. Keith Still, professore di Crowd Science presso Manchester Metropolitan University (UK).

8 G. Keith Still, professore di Crowd Science presso Manchester Metropolitan University (UK).

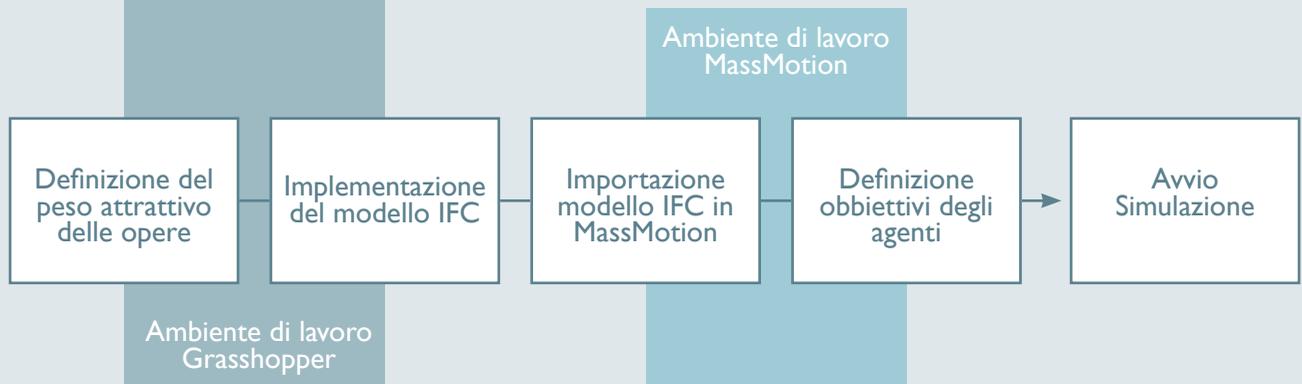


Algoritmi per la prefigurazione dei flussi

La prefigurazione dei flussi in relazione alle caratteristiche fisiche e culturali che contraddistinguono le opere e l'ambiente espositivo può avvenire tramite lo sviluppo di una procedura basata sull'integrazione della modellazione algoritmica mediante VPL e del simulatore Agent Based Model.

Figura 24 - Rappresentazione schematica della procedura di simulazione della folla.

Nel contesto del presente studio, la procedura di simulazione della folla è semplificata come segue:



Come visto precedentemente, il VPL consente di manipolare i valori formali e invisibili che caratterizzano le opere, associarli alle geometrie del modello 3D virtuale e determinare, tramite la procedura di analisi dell'attrattività e dei campi di vettori, il valore attrattivo globale dell'oggetto, parametro che consente di individuare il grado di interesse che un oggetto esposto esercita sul visitatore, influenzando i suoi comportamenti. L'identificazione degli oggetti esposti di maggiore e minore interesse è essenziale per determinare gli obiettivi specifici degli agenti all'interno della simulazione ABM e ripro-

durre così il movimento diversificato dei profili comportamentali di Veron e Levasseur. L'elaborazione all'interno dell'ambiente VPL di Grasshopper della mappa grafica dei campi vettoriali, rappresentanti il livello di influenza esercitato dagli elementi contenuti in un ambiente, consente di esprimere graficamente i valori del potere attrattivo e di individuare, nel modello tridimensionale rappresentante l'ambiente espositivo, la posizione nella quale impostare i target che gli agenti dovranno raggiungere. Il modello risultante dall'applicazione dell'algoritmo basato sui campi vettoriali può essere importato nell'ambiente di lavoro del simulatore MassMotion grazie all'utilizzo del formato IFC. L'add-on Geometry Gym infatti, oltre a consentire l'importazione e la manipolazione di modelli IFC nell'ambiente di Grasshopper, permette di trasformare gli output dell'algoritmo dei campi di vettori in elementi IFC, rendendoli trasferibili e riproducibili su svariate piattaforme, tra le quali MassMotion.

L'informazione relativa al livello di attrattività delle opere esposte rappresentato dalla mappa grafica viene trasferita al simulatore MassMotion tramite la realizzazione, nel modello VPL in corrispondenza della posizione delle opere, di figure geometriche a base circolare, la cui dimensione del raggio varia proporzionalmente al livello di intensità della carica. La mappatura del livello di influenza delle opere effettuata viene integrata al modello IFC iniziale dell'allestimento grazie l'add-on Geometry Gym. Il modello IFC arricchito delle nuove informazioni può ora essere importato nell'ambiente di lavoro di MassMotion per effettuare la simulazione del flusso di visitatori nella mostra "Archeologia Invisibile" in relazione al peso attrattivo delle opere esposte. Questa operazione consente di distinguere immediatamente le opere maggiori da quelle minori

Una volta importato il modello in MassMotion, gli obiettivi specifici degli agenti per i quattro profili comportamentali vengono impostati come segue:

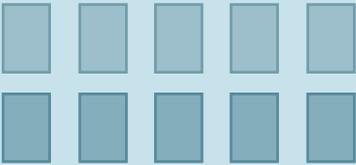
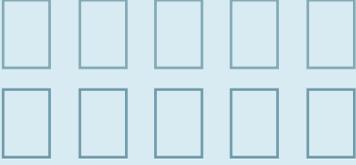
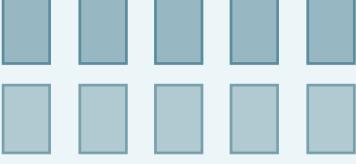
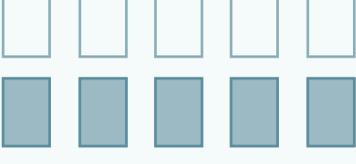
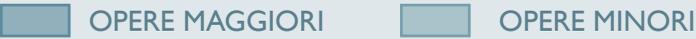
- **Visitatore formica:** il target verso il quale deve dirigersi è costituito da tutte le opere presenti nell'allestimento, che osserverà in modo accurato seguendo il percorso previsto dalla mostra.
- **Visitatore pesce:** il suo obiettivo è percorrere l'ambiente verso l'uscita senza soffermarsi ad osservare le opere, per questo motivo non presenta un target specifico da soddisfare.
- **Visitatore farfalla:** il suo comportamento può essere visto come un ibrido tra il movimento del visitatore formica e quello del visitatore cavalletta. Di conseguenza, i target saranno tutte le opere come per il visitatore formica, ma l'agente si dirigerà prima verso gli oggetti con ele-

vato potere attrattivo, per poi proseguire verso le restati opere minori.

- **Visitatore cavalletta:** per riprodurre la natura selettiva del suo comportamento, i target sono definiti dalle opere che presentano un potere attrattivo di elevata intensità. Pertanto, nella simulazione, il visitatore cavalletta si dirigerà solamente verso le opere di maggiore interesse, ignorando le restanti.

Terminata la fase di impostazione dei profili comportamentali, si può procedere con l'avvio della simulazione e la successiva fase di analisi dei dati per formulare valutazioni sulla qualità compositiva di un ambiente in termini di sicurezza e comfort per le persone.

Figura 25 - Tabella riassuntiva dell'impostazione delle Task con associazione opere visualizzate dai quattro profili comportamentali.

		T A S K
		T A S K
		T A S K
		T A S K
		



5

LA SALA DELLE ESPOSIZIONI
TEMPORANEE

La sala delle esposizioni temporanee:
“Archeologia Invisibile”

La procedura *Smart Museum*

- | Il contesto e le collezioni: analisi per la corretta conservazione preventiva
- | Analisi della qualità visiva della sala
- | Il potere attrattivo delle opere esposte
- | La simulazione del flusso di utenza

Valutazione simulazione

La sala delle esposizioni temporanee: “Archeologia Invisibile”

La procedura mostrata vuole essere uno strumento da mettere a disposizione di registrar e curatori responsabili del processo di allestimento per ottimizzare e agevolare le fasi di progettazione e gestione delle opere presenti all'interno di una mostra. Per questo motivo le analisi proposte sono di seguito applicate alla sala per le esposizioni temporanee del Museo Egizio di Torino considerando l'allestimento realizzato per la mostra “Archeologia Invisibile”. La sperimentazione è utile a validare la procedura con cui verificare la qualità dell'allestimento e suggerire eventuali variazioni al progetto di organizzazione della sala.

Archeologia Invisibile

Archeologia invisibile è una mostra temporanea il cui scopo è illustrare principi, strumenti, esempi e risultati della meticolosa opera di ricomposizione di informazioni, dati e nozioni resa oggi possibile dall'applicazione delle scienze e delle nuove tecnologie alla propria disciplina e, in particolare, allo studio dei reperti. L'obiettivo dell'allestimento è fare comprendere al pubblico come la collaborazione tra egittologia e scienze esatte nello studio dei reperti dischiuda informazioni, inaccessibili e invisibili a occhio nudo, che permettono di ricomporre la storia e il contesto del reperto e di sviluppare i metodi migliori per la sua conservazione.

La mostra nasce dall'incontro tra il lavoro di ricostruzione storica degli archeologi e dei conservatori del Museo Egizio sulla propria collezione e l'attività di ricerca e studio che i moderni strumenti tecnologici consentono di effettuare sui reperti. Per questo motivo il progetto espositivo mostra un taglio fortemente scientifico-tecnologico, il cui perno principale è il dialogo tra cultura digitale e materiale (Chiappori, 2019). L'allestimento, infatti, è un percorso tra reale e virtuale, nel quale i reperti materiali vengono affiancati

da installazioni multimediali e spazi d'interazione digitale che consentono di esplorare il manufatto in modo immersivo.

Struttura della mostra

La mostra è strutturata in cinque sezioni. Le tre sezioni centrali sono suddivise a loro volta in sottosezioni tematiche dedicate alle indagini scientifiche che fanno luce sulla storia dei reperti e della civiltà egizia. Il visitatore, dopo una breve introduzione (Sez. 1, *La biografia dell'oggetto*), viene condotto attraverso un percorso che scandisce le tappe della vita dell'oggetto dal suo ritrovamento (Sez. 2, *Lo scavo*) alla restituzione di un contesto, per mezzo di analisi scientifiche che ci danno informazioni sul passato dell'oggetto (Sez. 3, *Diagnostica e ricerca storica*) e che ci aiutano a sviluppare i metodi più efficaci per la conservazione e il restauro (Sez. 4, *Conservazione e restauro*). Nell'ultima tappa del percorso (Sez. 5, *Materialità e virtualità: quale futuro?*) al visitatore viene proposta una riflessione sul rapporto tra digitale e materiale nell'ottica della valorizzazione di un patrimonio culturale intangibile, costituito dall'insieme delle informazioni e delle conoscenze.

Manifesto della mostra temporanea "Archeologia Invisibile". Immagine tratta da www.museoegizio.it.

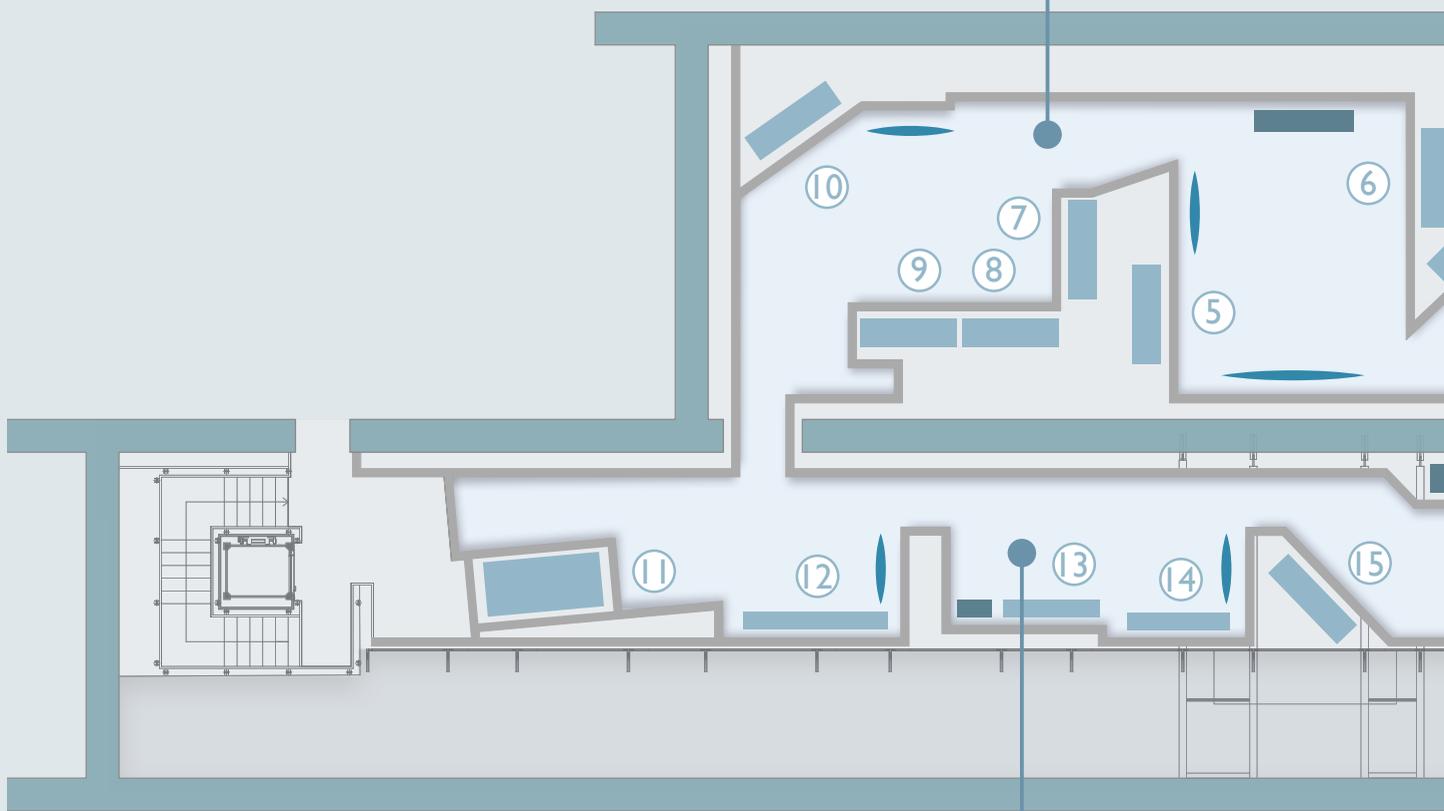
ME MUSEO
EGIZIO

ARCHEOLOGIA INVISIBILE

LA STRUTTURA DELL'ALLESTIMENTO "ARCHEOLOGIA INVISIBILE"

Sezione 3

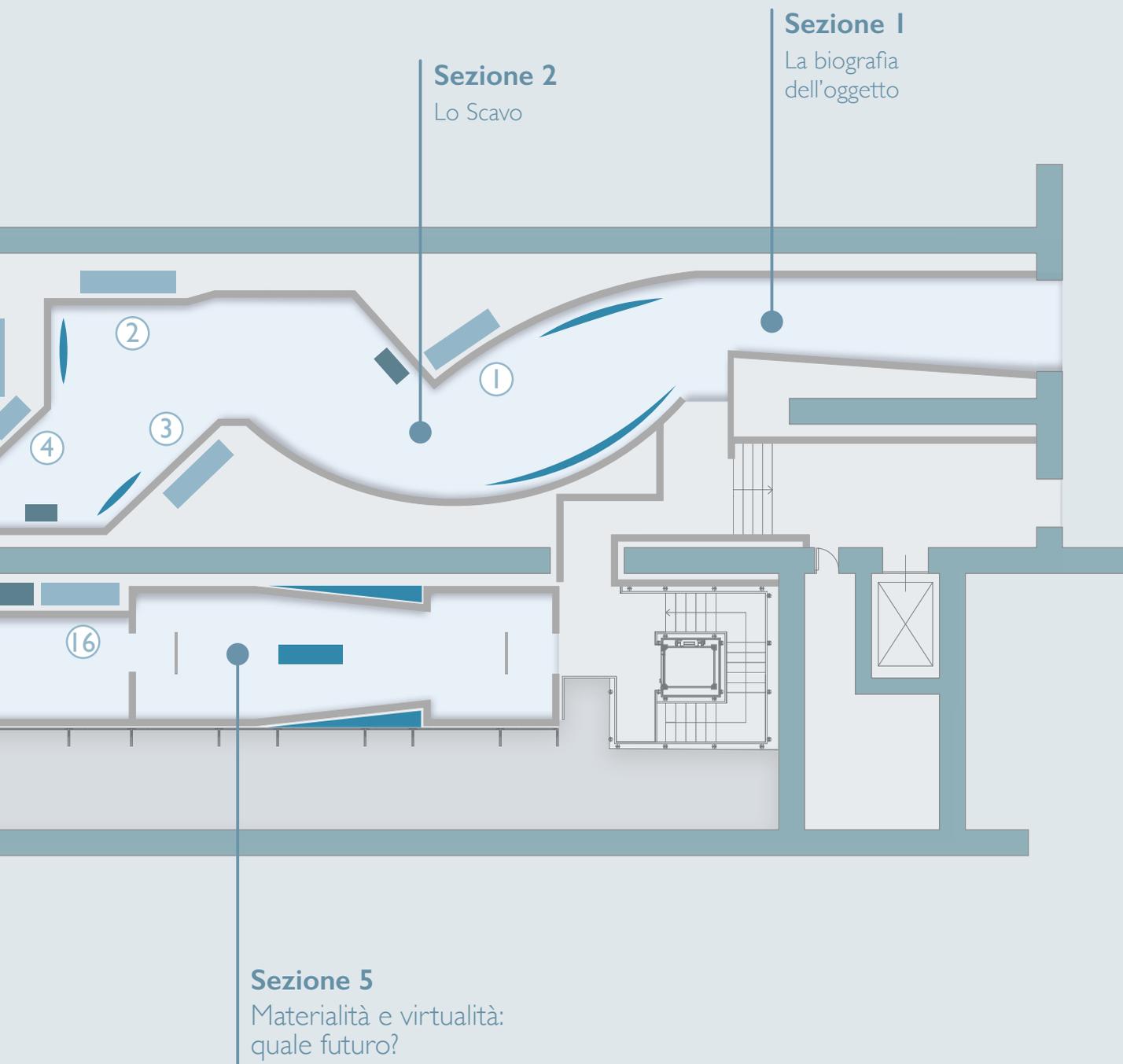
Diagnostica e
ricerca storica



-  Vetrine espositive
-  Materiale interattivo
-  Contenuti multimediali

Sezione 4

Conservazione
e restauro



Sezione I

La biografia dell'oggetto

Sezione 2

Lo Scavo

Sezione 5

Materialità e virtualità:
quale futuro?

Il contenuto della mostra

Di seguito viene mostrato uno schema riassuntivo relativo al contenuto delle vetrine espositive e al materiale digitale presenti nelle tre sezioni centrali della mostra.

Tabella 2 - Il contenuto della mostra "Archeologia Invisibile".

SEZIONE 2 - Lo Scavo	
Vetrina 1 Fotografia e documentazione scavi	<ul style="list-style-type: none">• Fotocamera a banco ottico; legno, metallo, pelle e vetro; inizio XX sec. Torino, Museo Egizio.• Obiettivi; ottone e vetro; inizio XX sec. Torino, Museo Egizio.• Chassis portalastra; legno; inizio XX sec. Torino, Museo Egizio.• Diaframmi; metallo; inizio XX sec. Torino, Museo Egizio.• Torchietto da bromografo; legno e vetro; inizio XX sec. Torino, Museo Egizio.• Scatola originale delle lastre; cartoncino; inizio XX sec. Torino, Museo Egizio.
Materiale interattivo	<ul style="list-style-type: none">• Fotografie stereoscopiche.• Riproduzione 3D fiaschetta.
Contenuti multimediali	<ul style="list-style-type: none">• Video: la fotografia.
SEZIONE 3 - Diagnostica e ricerca storica	
Oggetti dal corredo di Kha e Merit	
Vetrina 2 Analisi del colore	<ul style="list-style-type: none">• Cesello; legno e bronzo; Nuovo Regno, XVIII dinastia, regno di Tutmosi III (ca. 1458-1425 a. C.). Scavi Schiaparelli 1910 (Gebelein, tempio di Hathor, deposito di fondazione). S. 12424.• Tavolozza da pittore con tre can-

	<p>nucce e residui di colori: bianco (calcite), rosso (realgar), blu (cobalto), rosso scuro (ematite); legno e fibre vegetali; Nuovo Regno, fine XVIII dinastia (ca. 1425-1353 a. C.). Scavi Schiaparelli 1906 (Deir el-Medina, tomba di Kha e Merit). S. 8388.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conchiglia con tracce di pigmento rosso; conchiglia; Antico Regno-Medio Regno (ca. 2680-1760 a. C.). Scavi Schiaparelli 1912 (Gebelein). S. 12647. • Frammento di pigmento rosso; ematite; Medio Regno, XI-XIII dinastia (ca. 1980-1760 a. C.). Scavi Schiaparelli 1909 (Deir el-Medina). S. 9927. • Frammento di pigmento blu; blu egizio; Nuovo Regno, XVIII-XX dinastia (ca. 1539-1070 a. C.). Scavi Schiaparelli 1909 (Deir el-Medina). S. 9929. • Frammento di pigmento giallo; goethite; datazione e provenienza incerte. P.6162.
<p>Vetrina 3 Cassetta di Kha</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cofanetto; legno; Nuovo Regno, fine XVIII dinastia (ca. 1425-1353 a. C.). Scavi Schiaparelli 1906 (Deir el-Medina, tomba di Kha e Merit). S. 8212. riproduzione in legno del cofanetto
<p>Vetrina 4 Vasi alabastro tomba di Kha</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vasetti per i "sette olii sacri"; alabastro e lino; Nuovo Regno, fine XVIII dinastia (1425-1353 a. C.).
<p>Contenuti multimediali</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Video: il blu egizio. • Video: il cofanetto di Kha. • Video: i sette vasi in alabastro.

Materiale interattivo	<ul style="list-style-type: none"> • Applicazione scaricabile dai visitatori, realizzata dal MIT.
Le mummie di Kha e Merit	
Vetrina 5 Mummia di Kha	<ul style="list-style-type: none"> • Mummia di Kha; resti organici e lino; Nuovo Regno, fine XVIII dinastia (ca. 1425-1353 a. C.). Scavi Schiaparelli 1906 (Deir el-Medina, tomba di Kha e Merit). S. 8316/02.
Vetrina 6 Mummia di Merit	<ul style="list-style-type: none"> • Mummia di Merit; resti organici e lino; Nuovo Regno, fine XVIII dinastia (ca. 1425-1353 a. C.). Scavi Schiaparelli 1906 (Deir el-Medina, tomba di Kha e Merit). S. 8471/01.
Materiale interattivo Stampa gioielli	<ul style="list-style-type: none"> • Amuleto tjt; pasta vitrea; Epoca Tarda, XXV-XXXI dinastia (ca. 712-332 a. C.). Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 1319. • Amuleto menkhebit a nome del "capo dei misuratori" Samut; cornalina; Epoca Tarda, XXV-XXXI dinastia (ca. 712-332 a. C.). Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 6785/02. • Anello rinvenuto sul fondo del sarcofago di Merit; l'incisione raffigura la dea Hathor nella forma di giumenta, oro; Nuovo Regno, fine XVIII dinastia (ca. 1425-1353 a. C.). Scavi Schiaparelli 1906 (Deir el-Medina, tomba di Kha e Merit). S. 8471/02.
Contenuti multimediali	<ul style="list-style-type: none"> • Video: Sbandaggio di Merit. • Video: Sbandaggio di Kha. • Video radiografie di Kha e Merit.
Mummie animali	

<p>Vetrina 7 Cocodrillo</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mummia di cocodrillo con tracce di bende e dei balsami di mummificazione; resti organici e lino; ca. 50 a. C.-70 d. C. Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 2351/01. • Mummia di cocodrillo avvolta in bende e in una stuoia di canne; resti organici, lino e canne; datazione e provenienza incerte. Collezione Drovetti 1824. C. 2351/02.
<p>Vetrina 8 Cane</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mummia di canide di sesso femminile, posizione “a birillo”, avvolta in bende originariamente dipinte in rosa e marrone; resti organici e lino; ca. 380-200 a. C. (datazione C14). P. 1464.
<p>Vetrina 9 Finte mummie</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mummia di volatile con cartonnage e assi di legno in forma di sarcofago (pastiche ottocentesco); resti organici, lino e legno; datazione e provenienza incerte. Collezione Drovetti 1824. C. 2247/2b. • Pseudomummia di toro; resti organici e lino; ca. 410-190 a. C. (datazione C14). Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 2344. • Mummia di volatile con cartonnage e assi di legno in forma di sarcofago (pastiche ottocentesco); resti organici, lino e legno; datazione e provenienza incerte. Collezione Drovetti 1824. C. 2248/2.
<p>Vetrina 10 Gatti e Ibis</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mummia di gatto, posizione “a birillo”, avvolta in bende originariamente dipinte in rosa e marrone; resti organici e lino; datazione e provenienza incerte. Collezione Drovetti 1824. C. 2348/1.

	<ul style="list-style-type: none"> • Sarcofago a pilastri con mummia di gatto; resti organici, lino e legno; ca. 740-400 a. C. (datazione C14). Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 2372. • Giara a forma conica con mummia di ibis; terracotta, resti organici e lino; Epoca Tarda, XXVII dinastia-Epoca Tolemaica (ca. 525-30 a. C.). Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 3508. • Mummia di ibis avvolta in bende originariamente dipinte in rosa e marrone; resti organici e lino; Epoca Tolemaica-Epoca Romana (ca. III sec. a. C.-III sec. d. C.). Scavi Schiaparelli 1910-1912 (Assiut). S. I 1028.
Contenuti multimediali	<ul style="list-style-type: none"> • Video: sbendaggio virtuale della mummia di gatto
SEZIONE 4 - Conservazione e restauro	
Le tombe di Henib e di Iti e Neferu	
Vetrina 11 Tomba di Henib	<ul style="list-style-type: none"> • Ricostruzione Tomba di Henib
Vetrina 12 Tomba di Iti e Neferu	<ul style="list-style-type: none"> • Due frammenti parietali dalla tomba di Iti e Neferu
Contenuti multimediali	<ul style="list-style-type: none"> • Video: la tomba di Iti e Neferu
Papiri e Codici Copti	
Vetrina 13 Papiri	<ul style="list-style-type: none"> • Libro dell'Amduat (recto), restaurato nel XIX sec. con frammenti di vari papiri ramessidi; Papiro e inchiostro; (Amduat) Terzo Periodo Intermedio, XXI dinastia (ca. 1070-946 a. C.); (frammenti) Nuovo Regno, XIX-XX dinastia (ca. 1293-1070 a. C.). Collezione Drovetti 1824; Tebe? C. 1778.

	<ul style="list-style-type: none"> • Due pagine del codice copto IX recanti il testo della Vita Athanasii. Papiro e inchiostro; ca. seconda metà VII-prima metà VIII sec. Dono Peyron 1983. P. 8591, P. 8592.
Vetrina 14 Codici Copti	<ul style="list-style-type: none"> • Codice copto recante il testo dell'Ecclesiaste e La Saggiezza di Salomone. Pergamena e inchiostro in rilegatura moderna; ca. V-prima metà VI sec. Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. C. 7117/01.
Materiale interattivo	<ul style="list-style-type: none"> • Riproduzione su lastra metallica del retro del papiro, in cui sono messe in evidenza le integrazioni
Contenuti multimediali	<ul style="list-style-type: none"> • Video. I "papiri patch-work"; i codici copti; analisi sugli inchiostri
Restauro Tessuti	
Vetrina 15 Tessuti	<ul style="list-style-type: none"> • Frammento di tessuto copto annodato e a "doppia faccia"; lino e lana; ca. VI sec. Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. S. 17310.
Vetrina 16 Tessuti	<ul style="list-style-type: none"> • Frammento di telo frangiato da arredo. Lino e lana; ca. IV-V sec. Collezione Drovetti 1824; provenienza incerta. S. 17487.
Materiale interattivo	<ul style="list-style-type: none"> • Postazione touch
SEZIONE 5 - Conservazione e restauro	
Contenuti multimediali	<ul style="list-style-type: none"> • Video: il sarcofago di Butehamon • Stampa 3D del sarcofago di Butehamon con installazione micro-mapping

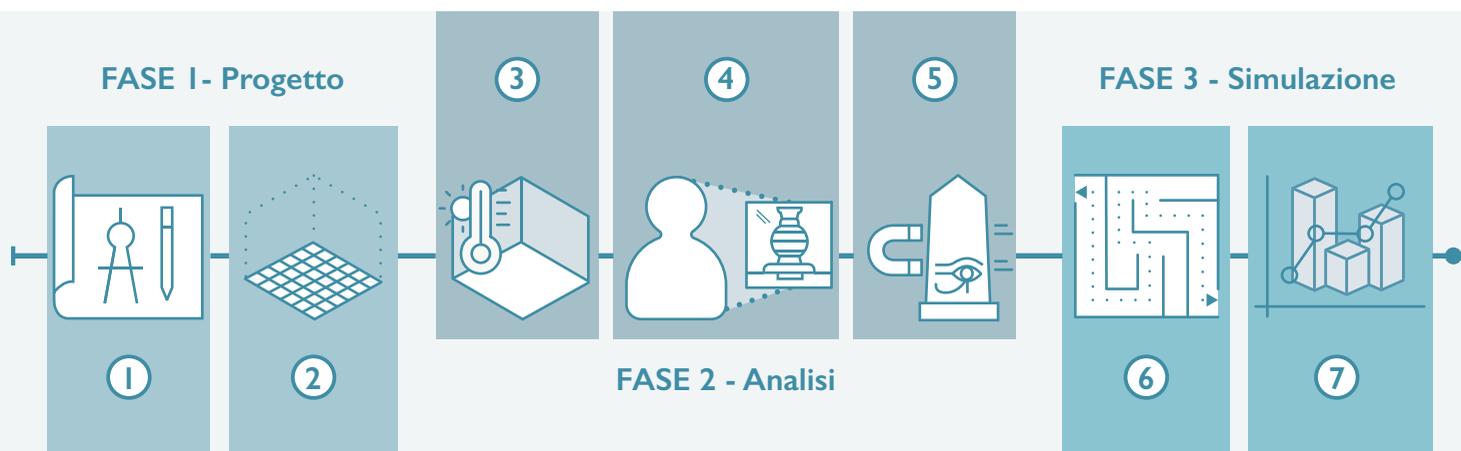
Nella sperimentazione effettuata, in presenza di più elementi in una stessa vetrina espositiva, è stato preso in considerazione solo il reperto principale, tralasciando quelli minori, al fine semplificare la procedura di analisi.

La procedura Smart Museum

La procedura di supporto *Smart Museum*, per la gestione e rappresentazione degli allestimenti museali, con la quale verificare la qualità dell'allestimento prevede le seguenti fasi:

1. Realizzazione modello dell'allestimento proposto	Progetto
2. Definizione del campo grafico di analisi	
3. Analisi idoneità ambientale	Analisi
4. Analisi qualità visiva della sala	
5. Analisi attrattività opere esposte	
6. Simulazione del flusso di utenza	Simulazione
7. Valutazione simulazione	

Figura 26 - Rappresentazione schematica della procedura *Smart Museum*.



Il primo passo prevede l'interazione tra modello BIM della sala espositiva e ambiente VPL; attraverso le procedure illustrate nel testo avviene l'estrapolazione del campo grafico come superficie mesh, a partire dalla connessione con il modello IFC dell'ambiente della mostra. La densità della maglia topologica influenzerà la risoluzione di visualizzazione delle analisi. Oltre all'acquisizione della sala espositiva occorre introdurre un primo layout dell'allestimento da cui partire per le analisi, su questo la procedura suggerirà

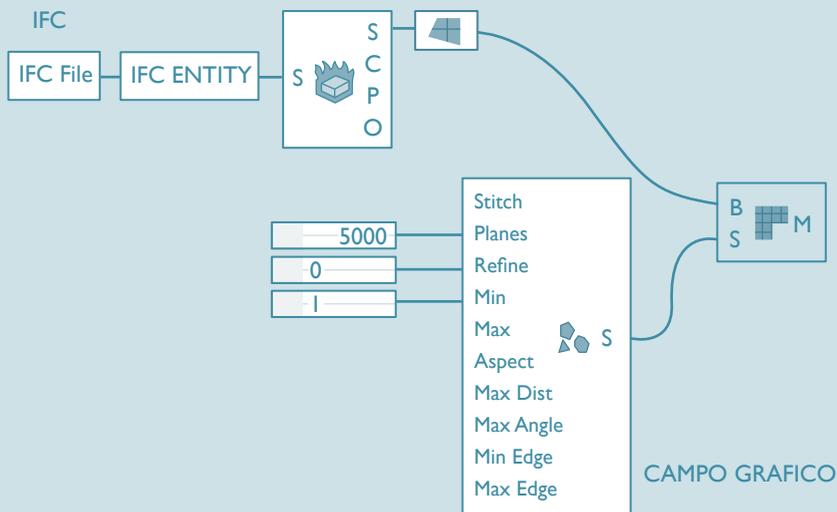
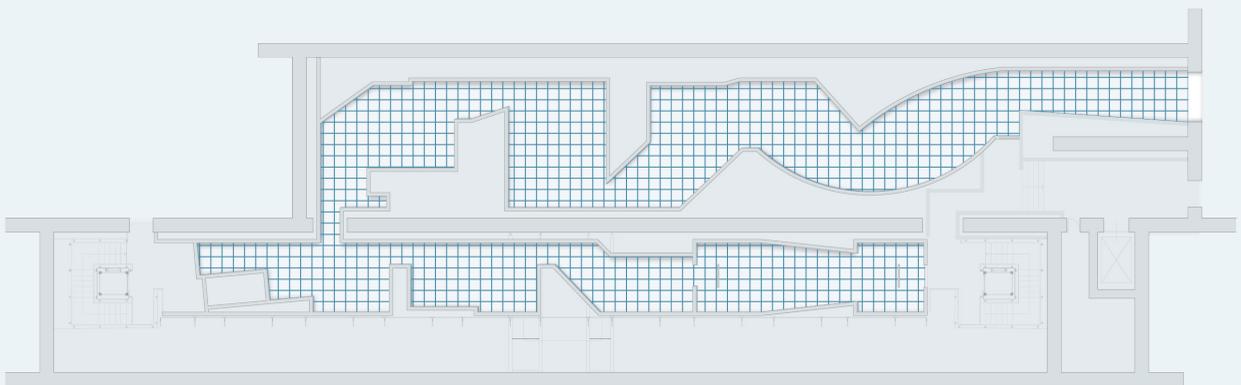
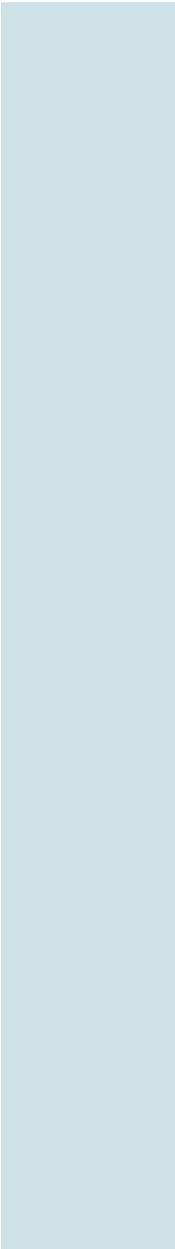


Figura 27 - L'estrapolazione del campo grafico dal modello IFC.





Il contesto e le collezioni: analisi per la corretta conservazione preventiva

L'analisi dei fenomeni generati dalle interazioni tra contenitore e contenuto avviene a partire dall'acquisizione dei dati geometrici e delle proprietà ambientali dell'ambiente e dei valori formali delle opere all'interno dell'ambiente di lavoro VPL. L'acquisizione dei dati input necessari per lo sviluppo delle operazioni di analisi viene effettuata tramite la connessione al modello IFC dell'ambiente contenente il layout espositivo della mostra, avvalendosi dell'add-on Geometry Gym presentato nei capitoli precedenti. I parametri input relativi alle opere vengono ricavati anche essi dal modello BIM tramite il formato IFC; in qualità di modello informato, infatti, il modello BIM può contenere una quantità di dati estremamente eterogenei: tramite l'associazione di attributi non convenzionali alle rappresentazioni tridimensionali dei reperti esposti, si possono integrare nel modello le informazioni relative alle schede di catalogo che identificano un'opera, promuovendo il modello BIM del progetto di allestimento a banca dati fortemente versatile.

Ottenuti i parametri input relativi alle proprietà del contenitore e del contenuto, si procede con l'applicazione dell'algoritmo filtro che consente di verificare che le opere presenti nell'allestimento siano esposte in condizioni di sicurezza dal punto di vista conservativo.

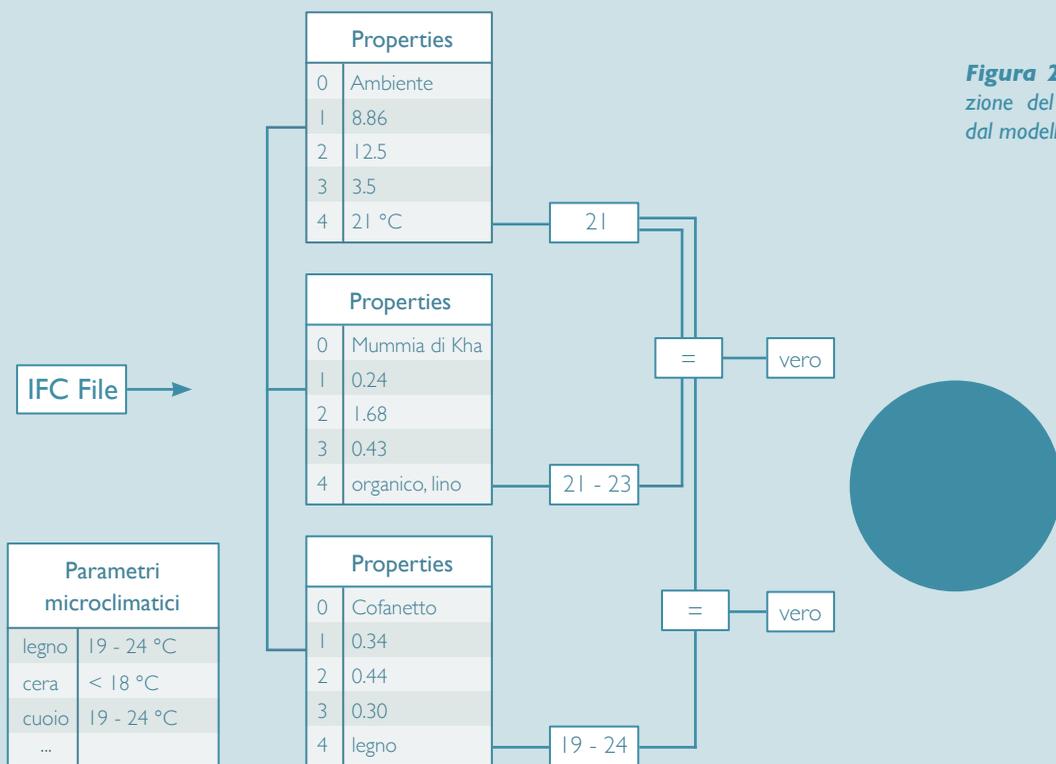
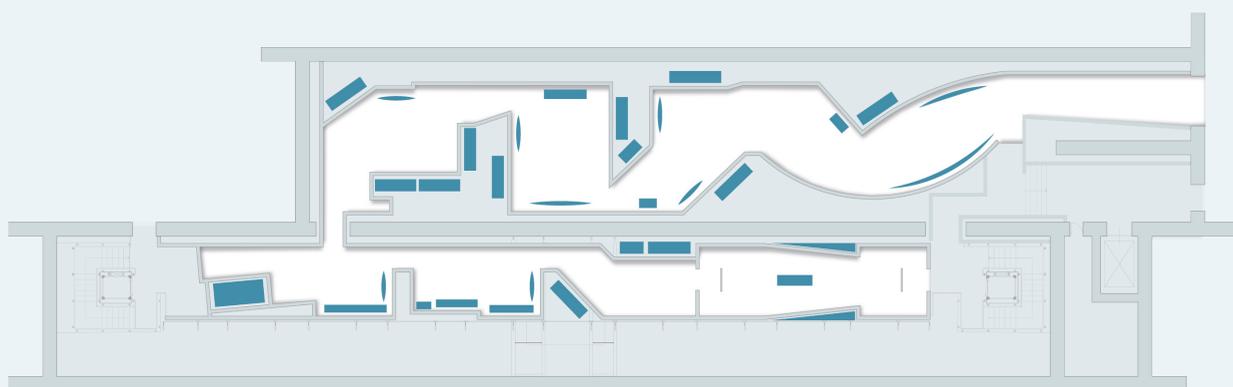


Figura 28 - L'estrapolazione del campo grafico dal modello IFC.

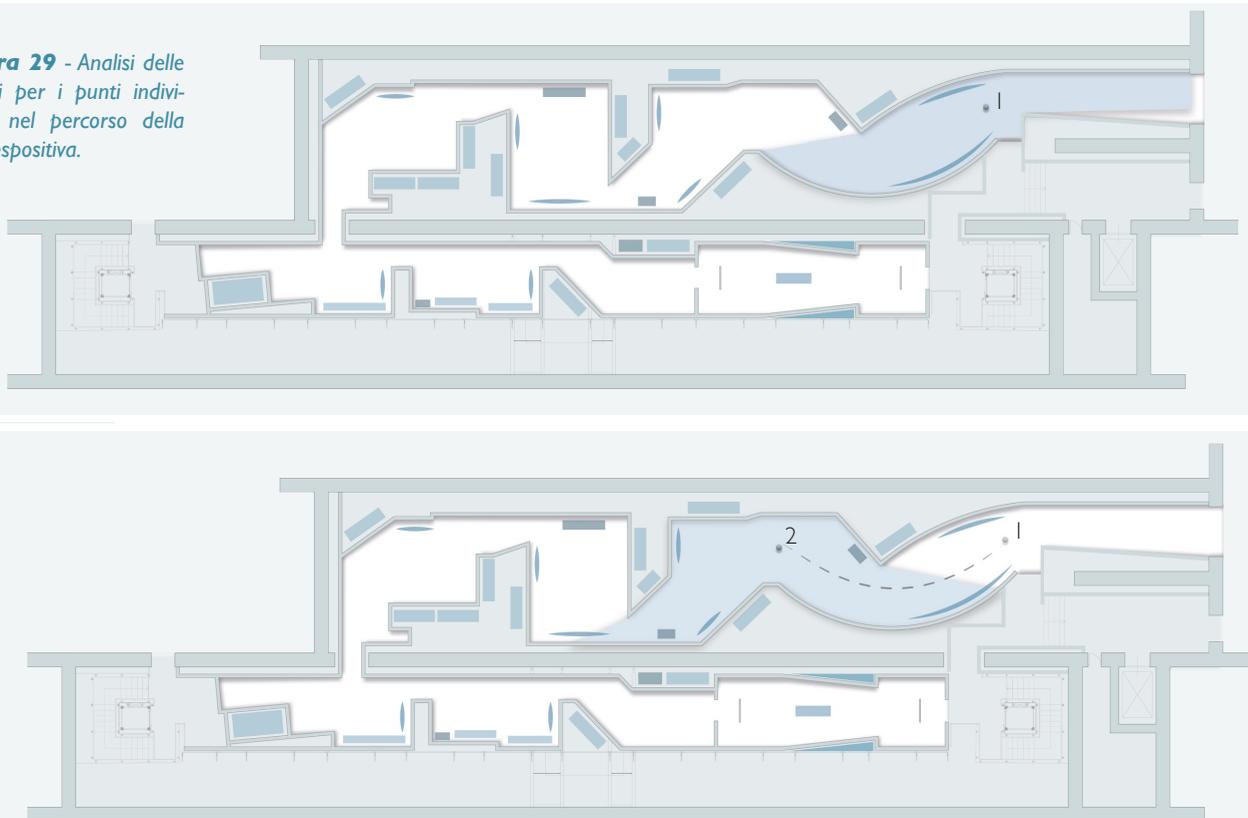
Il confronto viene effettuato simultaneamente con tutte le opere esposte. Tutte le opere vengono visualizzate correttamente nell'ambiente espositivo, soddisfano quindi tutte il requisito conservativo.



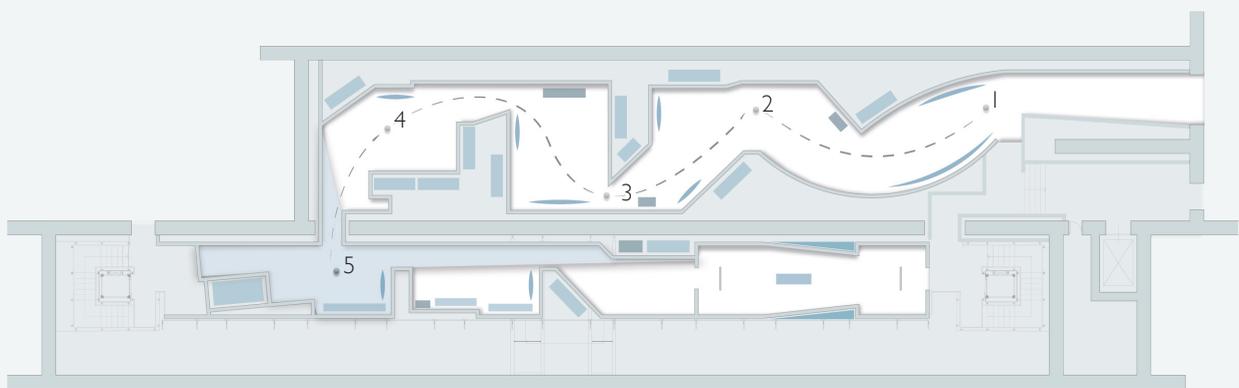
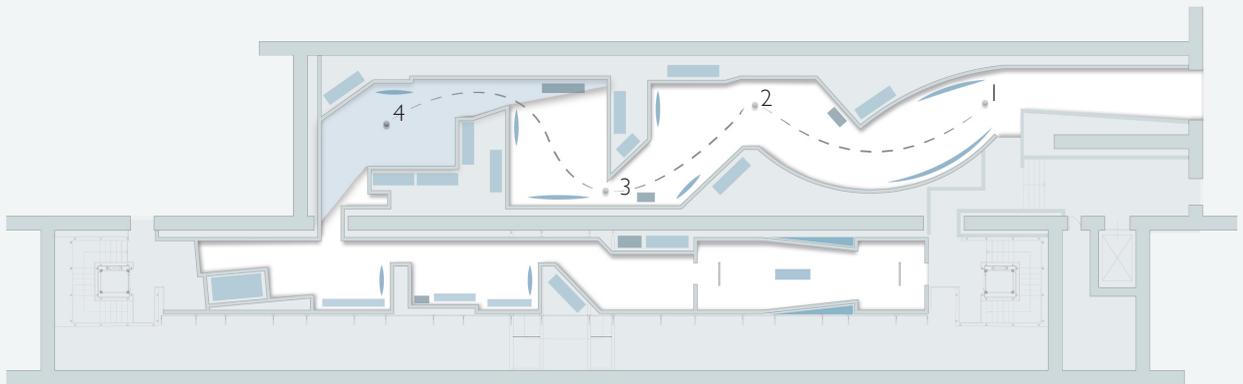
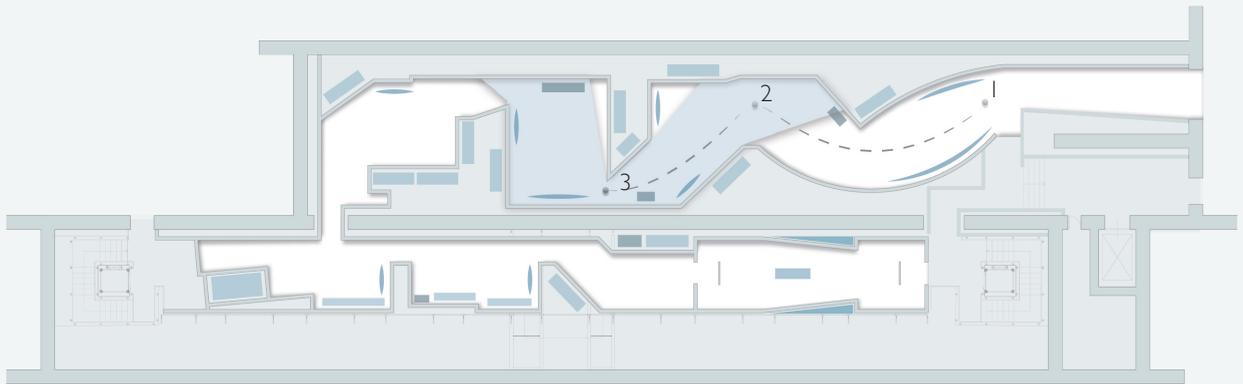
Analisi della qualità visiva della sala

Per poter valutare la qualità dello spazio della sala espositiva occorre analizzare le visuali in relazione a diversi punti di vista. Lo sguardo dell'osservatore è ora assimilato a un punto in movimento all'interno dello spazio considerato e, in relazione alle dimensioni e alla morfologia della sala, sono stati individuati dei punti del percorso da cui effettuare l'analisi: l'ingresso ed alcuni punti nodali interni all'ambiente.

Figura 29 - Analisi delle visuali per i punti individuati nel percorso della sala espositiva.



Per ogni spostamento individuato si calcola la porzione di superficie visualizzata dall'utente e successivamente si effettua l'interpolazione grafica delle rappresentazioni ottenute per individuare le porzioni di superficie visibili da tutti i punti. La rappresentazione finale consente di visualizzare in modo immediato le aree dell'ambiente che godono di una visibilità ottimale, poiché viste dal maggior numero di punti lungo il percorso inizialmente prefigurato.



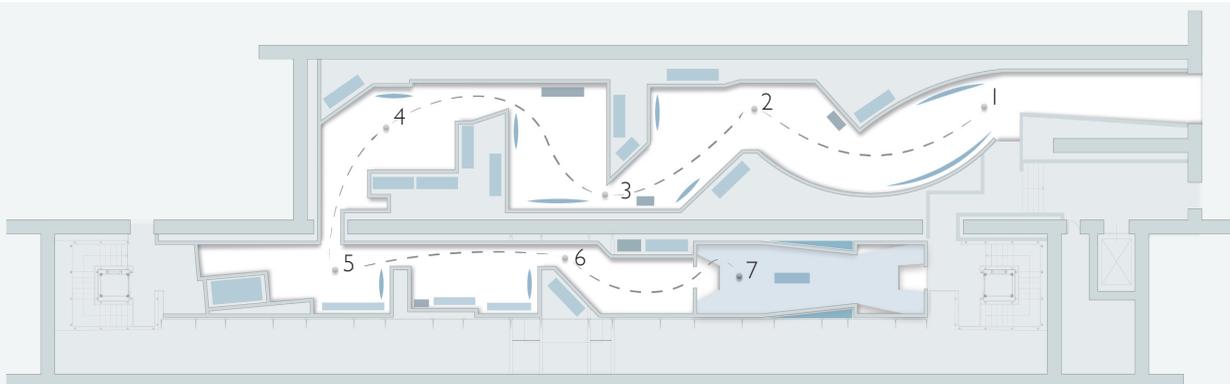
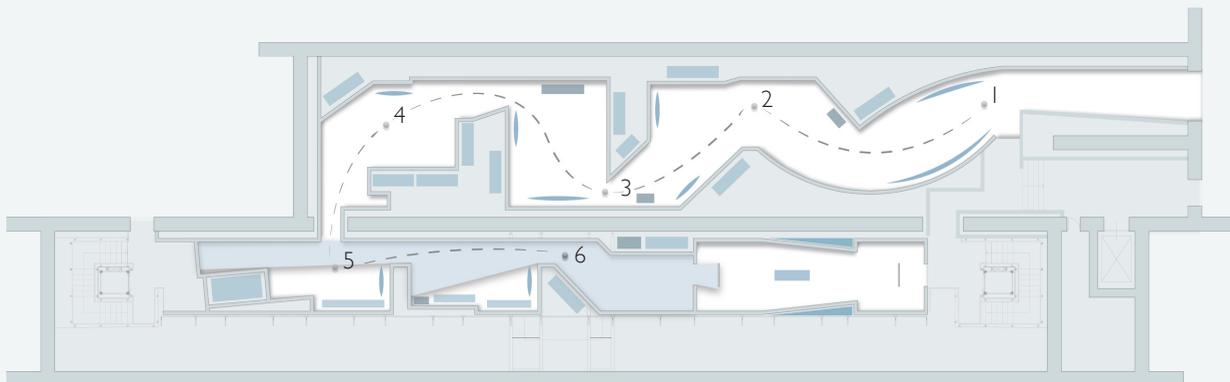
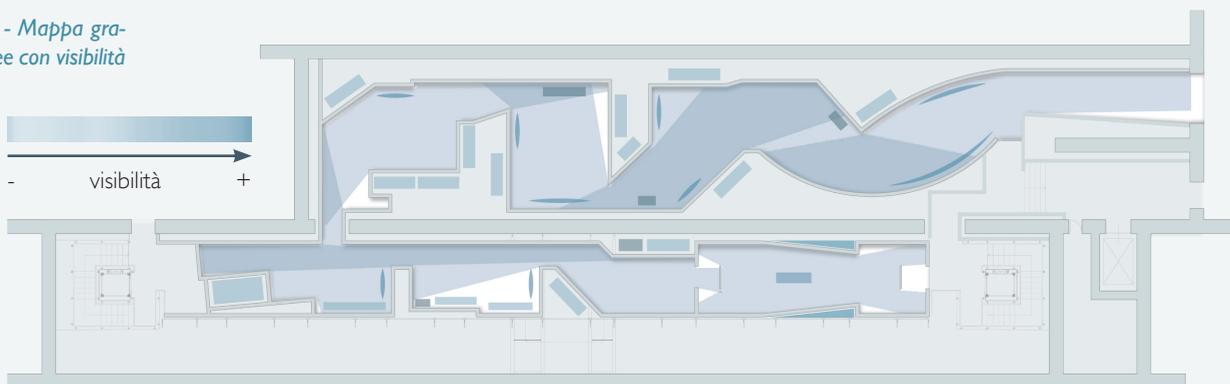


Figura 30 - Mappa grafica delle aree con visibilità ottimale.



La possibilità di visualizzare una mappa grafica che individua zone con caratteristiche visive ottimali permette di valutare in modo critico l'allestimento proposto e, reiterando il processo per ogni spostamento delle opere, di sperimentare scenari alternativi ottenendo la configurazione che si ritiene migliore.



Il potere attrattivo delle opere esposte

L'utilizzo dei campi vettoriali consente di generare mappe grafiche concettuali per evidenziare come il posizionamento di elementi qualificati da alcune caratteristiche pesate all'interno di un luogo, generi livelli relazionali variabili tra gli elementi contenuti nell'ambiente, portando all'individuazione di aree con specifiche caratteristiche di interesse.

Rispetto la procedura Isovista nella quale le caratteristiche geometriche degli oggetti presenti nello spazio allestito sono una delle variabili fondamentali che determinano l'esito dell'analisi, per la valutazione del campo di forza occorre assimilare gli oggetti a elementi puntuali all'interno dell'ambiente di lavoro poiché sono le proprietà invisibili racchiuse nei metadati associati al punto le variabili fondamentali che determinano la variazione del campo; la forma e la dimensione dell'opera dunque non influenzano l'analisi del campo vettoriale.

Attraverso gli opportuni componenti, si associa ad ogni opera nello spazio una carica puntuale, ovvero un punto nel quale viene applicata una forza di attrazione direttamente relazionata agli attributi invisibili dell'oggetto. Come spiegato precedentemente, gli attributi invisibili che caratterizzano l'opera definiscono il livello di attrattività, ovvero l'interesse che essa suscita nell'osservatore. L'attrattività di un'opera è una caratteristica complessa che coinvolge molteplici aspetti ed è risultato dell'analisi di differenti parametri quali: il valore patrimoniale, il valore mediatico e il valore attrattivo derivato da rilievi precedenti.⁹ I dati derivanti dall'analisi dei parametri sopra citati vengono sintetizzati in una scala di valori rimappati in un dominio numerico che va da 1 a 100, dove 1 rappresenta un livello di attrattività minimo e 100 il livello di attrattività massimo; questa scala viene adottata per ogni parametro considerato. Considerando il carattere altamente digitale della mostra *"Archeologia Invisibile"*, nella quale gli elementi multimediali e interattivi esercitano un

⁹ Per la spiegazione dei valori si rimanda al paragrafo "Il contenuto" del capitolo 2 di questo testo.

forte interesse nel visitatore in virtù della loro natura originale e innovativa di trasmettere il sapere, risulta necessario considerare anche il peso di questi elementi nell'analisi del potere attrattivo dei contenuti esposti. Pertanto, il calcolo del potere attrattivo dei contenuti digitali non si avvale dell'analisi dei parametri utilizzati per le tradizionali opere esposte: il livello attrattivo viene definito tramite un unico valore costante prossimo al 100, ovvero i contenuti multimediali e interattivi vengono considerati come elementi con un grado di influenza medio-alto.

VETRINA	LIVELLO ATTRATTIVITA'	
VETRINA 6	100	OPERE MAGGIORI
VETRINA 5	90	
VETRINA 3	80	
VETRINA 8	75	
VETRINA 10	60	OPERE MEDIE
VETRINA 9	50	
VETRINA 2	45	
VETRINA 7	40	
VETRINA 14	20	OPERE MINORI
VETRINA 4	10	
VETRINA 1	5	
VETRINA 13	5	
VETRINA 12	5	
VETRINA 11	5	
VETRINA 15	2	
VETRINA 16	2	

Tabella 3 - Tabella riassuntiva relativa all'attribuzione del livello attrattivo alle opere esposte.

I valori così ricavati sono i valori di partenza da inserire nell'algoritmo; ogni opera, esclusi i contenuti digitali, risulterà quindi associata a 3 valori di attrattività parziali che verranno rappresentati e analizzati in modo individuale, interpolati solo in fase finale per ottenere il valore di attrattività globale. Al

Figura 31 - Individuazione in pianta delle opere maggiori, medie e minori.

fine di ottenere un campo di forza attrattivo occorre considerare i valori relativi all'intensità della carica con segno negativo, al contrario per numeri positivi si generano forze di repulsione. Per quanto riguarda il parametro di decadimento i valori sono compresi tra 0 e 1. Un'opera che presenta un livello di attrattività elevato avrà un valore di carica tendente al 100 e un valore di decadimento prossimo allo 0 (fig. 31) (fig.33).

- Opere maggiori
- Opere medie
- Opere minori
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali

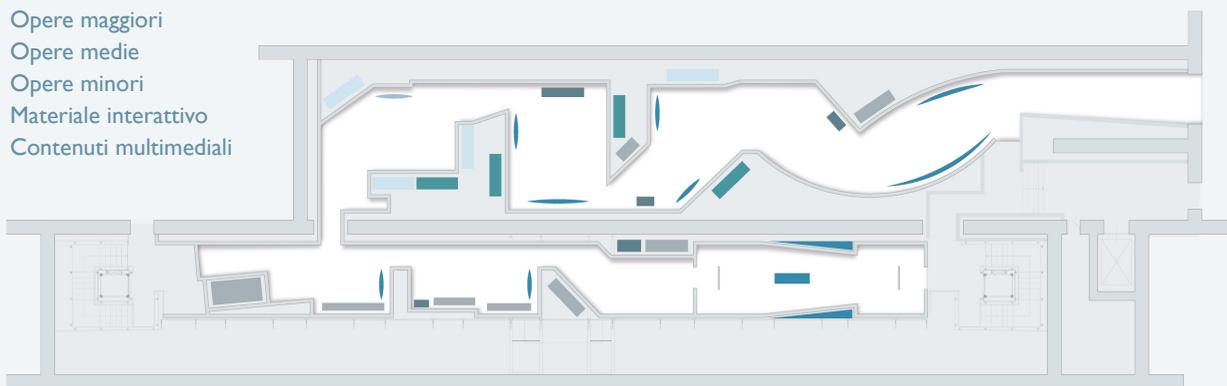
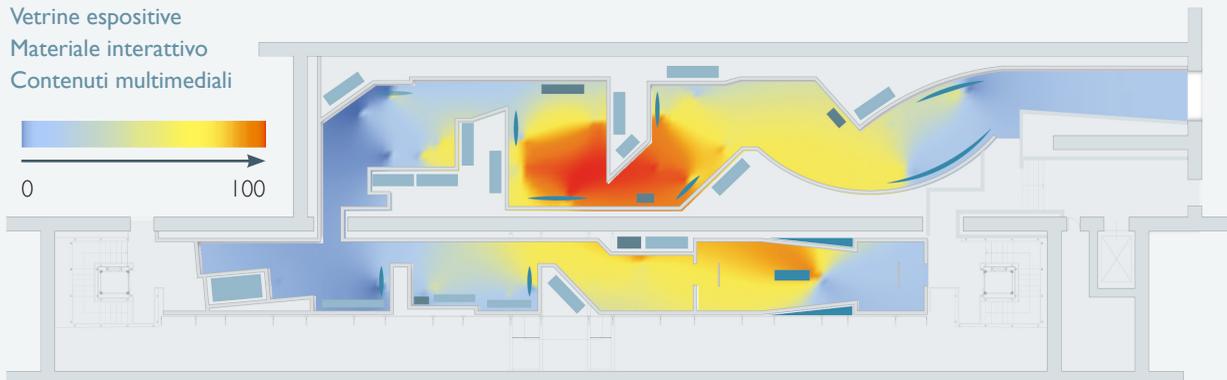


Figura 32 - Mappa grafica cromatica del livello di influenza delle opere.

Tramite componenti di valutazione del campo di forza generato, è possibile estrapolare il valore numerico dell'intensità della forza del campo applicata in ogni singolo punto della mesh di lavoro, generando così la corrispondenza tra i punti della superficie e i valori del campo di forza. Da questa relazione si pos-

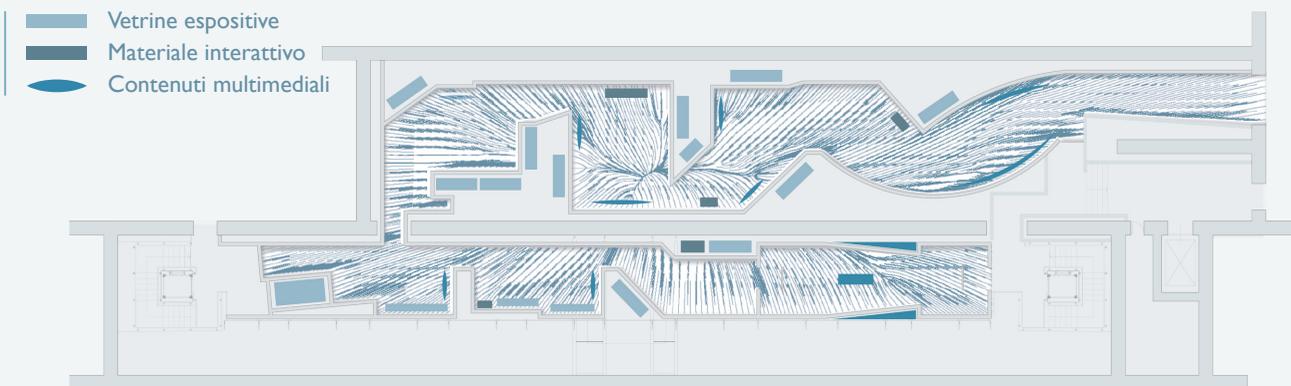
- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali



sono creare mappe grafiche che associano un range di colori RGB ai valori puntuali calcolati. Come si può vedere in figura, le aree con colori tendenti al rosso rappresentano i punti nei quali viene applicata una forza attrattiva di elevata intensità. In presenza di opere con livello attrattivo elevato situate in posizioni vicine si creano zone caratterizzate dal colore blu. La forza del campo in queste aree risulta essere molto bassa poiché i punti qui situati vengono attratti contemporaneamente da due cariche vicine, provocando il bilanciamento delle forze e il conseguente annullamento della forza di attrazione. Quest'ultima rappresentazione grafica realizzata mostra l'intensità della forza di attrazione delle cariche, ovvero il livello di influenza esercitato dalle opere d'arte sull'utente (fig. 32).

L'informazione relativa al livello di attrattività delle opere esposte rappresentato dalla mappa grafica viene trasferita al simulatore MassMotion tramite la realizzazione, nel modello VPL in corrispondenza della posizione delle opere, di figure geometriche a base circolare, la cui dimensione del raggio varia proporzionalmente al livello di intensità della carica. La mappatura del livello di influenza delle opere effettuata viene integrata al modello IFC iniziale dell'allestimento grazie l'add-on Geometry Gym. Il modello IFC arricchito delle nuove informazioni può ora essere importato nell'ambiente di lavoro di MassMotion per effettuare la simulazione del flusso di visitatori nella mostra "Archeologia Invisibile" in relazione al peso attrattivo delle opere esposte.

Figura 33 - Visualizzazione linee di forza del campo generato da: opera 1: $c = -2, d = 0.9$; opera 2, 3, 7: $c = -30, d = 0.6$; opera 4: $c = -10, d = 0.8$; opera 5: $c = -80, d = 0.2$; opera 6: $c = -70, d = 0.3$; opera 8: $c = -50, d = 0.4$; opera 9, 10: $c = -40, d = 0.5$; opera 11, 12, 13, 15, 16: $c = -10, d = 0.3$; contenuti multimediali: $c = -60, d = 0.4$. $c =$ carica $d =$ decadimento



10 Per la spiegazione degli stili di visita si rimanda al paragrafo "Analisi del comportamento dei visitatori in ambiente museale" del capitolo 4 di questo testo.

La simulazione del flusso di utenza

La simulazione del flusso di utenza in relazione alle qualità degli oggetti esposti nella mostra avviene a partire dall'importazione del modello IFC integrato nell'ambiente di lavoro virtuale del simulatore MassMotion.

Al fine di ottenere un flusso di persone realistico utilizzabile per muovere valutazioni sulla qualità dell'ambiente è necessario impostare un numero di *Eventi* corrispondenti ai quattro stili di visita elaborati da Eliseo Veron e Martine Levasseur (1983)¹⁰.

La tipologia di *Evento* utilizzata è il *Percorso (Event Journey)*, che prevede uno scenario nel quale gli agenti percorrono l'ambiente per raggiungere una destinazione finale, rappresentata in questo caso dall'uscita della mostra. All'interno dell'impostazione dell' *Event Journey* è possibile definire delle *Task*, ovvero dei compiti che gli agenti devono svolgere prima di dirigersi verso l'uscita finale. In questa tipologia di simulazione le *Task* definiscono le categorie di opere davanti le quali un agente si fermerà per osservarle e l'ordine di visita delle opere esposte. Sulla base delle caratteristiche dei quattro profili comportamentali e delle informazioni relative al livello di attrattività delle opere esposte sintetizzate nelle rappresentazioni geometriche del modello, le *Task* vengono definite nel seguente modo:

- **Event Journey 1:** rappresenta il comportamento del visitatore **formica**. *Task*: gli agenti visitano tutte le opere e i contenuti digitali seguendo il percorso proposto con un tempo di visita elevato.
- **Event Journey 2:** rappresenta il comportamento del visitatore **pesce**. Non viene assegnata alcuna *Task*, gli agenti percorrono l'ambiente verso l'uscita mantenendo una velocità ridotta rispetto la media, ovvero tale da consentirgli di avere una visione generale della mostra senza doversi soffermare in prossimità delle opere.

- **Event Journey 3:** rappresenta il comportamento del visitatore *farfalla*. *Task:* gli agenti visitano tutte le opere e i contenuti digitali, dirigendosi prima verso gli oggetti con elevato potere attrattivo, successivamente verso le restati opere minori per poi proseguire verso l'uscita.
- **Event Journey 4:** rappresenta il comportamento del visitatore *cavalletta*. *Task:* gli agenti visitano solo le opere e i contenuti digitali di maggiore interesse, ovvero quelle con un elevato livello attrattivo (superiore al valore 75), per poi dirigersi verso l'uscita.

Il numero degli agenti totali che popolano la simulazione rispecchia il numero massimo di visitatori presenti contemporaneamente nella sala delle esposizioni temporanee registrato dagli operatori del Museo Egizio, ed equivale a 100 agenti¹¹. Il totale viene ripartito in percentuali diversificate tra le quattro tipologie di evento in modo da attribuire al 30% degli agenti con comportamento a formica, al 20% un comportamento a pesce, al 40% un comportamento a farfalla e il 10% un comportamento a cavalletta.

Conclusa la fase di configurazione si può procedere con l'avvio della simulazione e la successiva fase di analisi dei dati per formulare valutazioni sulla qualità compositiva di un ambiente in termini di sicurezza e comfort per le persone.

Il monitoraggio è stato effettuato per la mostra temporanea "Anche le statue muoiono" (2018).

Figura 34 - Nella scena è possibile visualizzare le entità che si muovono nell'ambiente modellato.

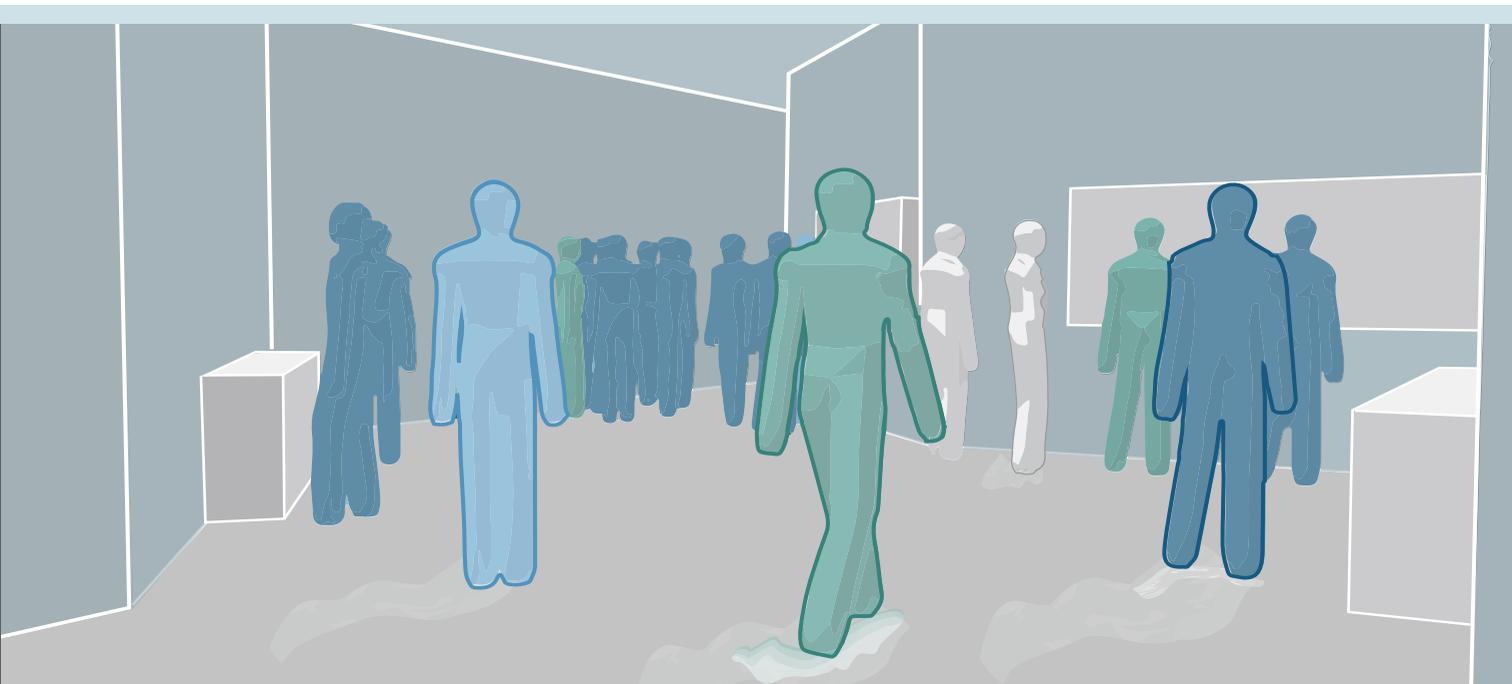


Figura 35 - Vista degli agenti in movimento nello spazio allestito.

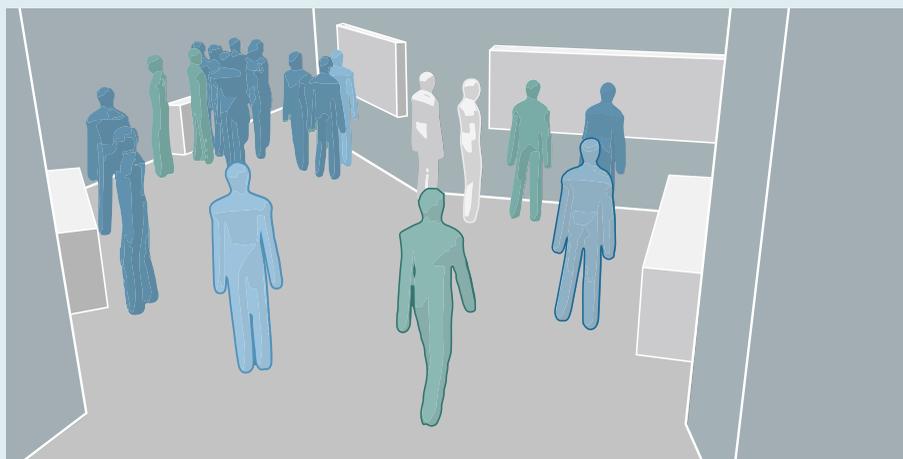


Figura 36 - Risultato dell'analisi della mappa della densità dinamica.

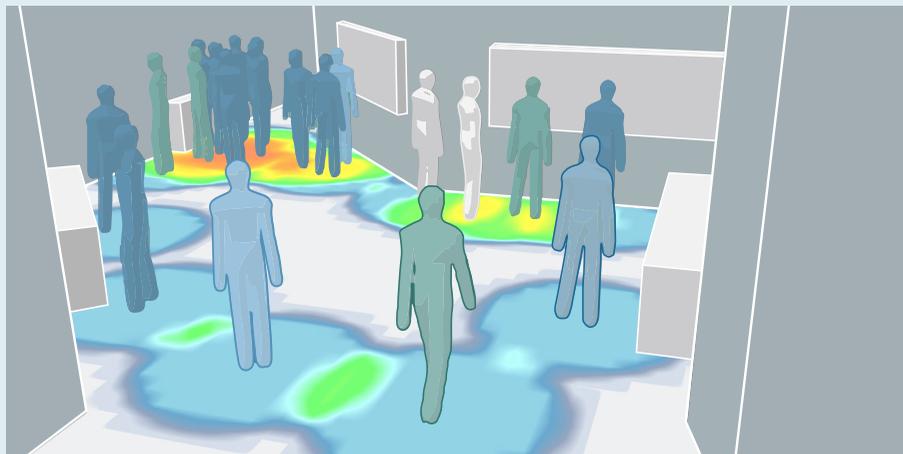
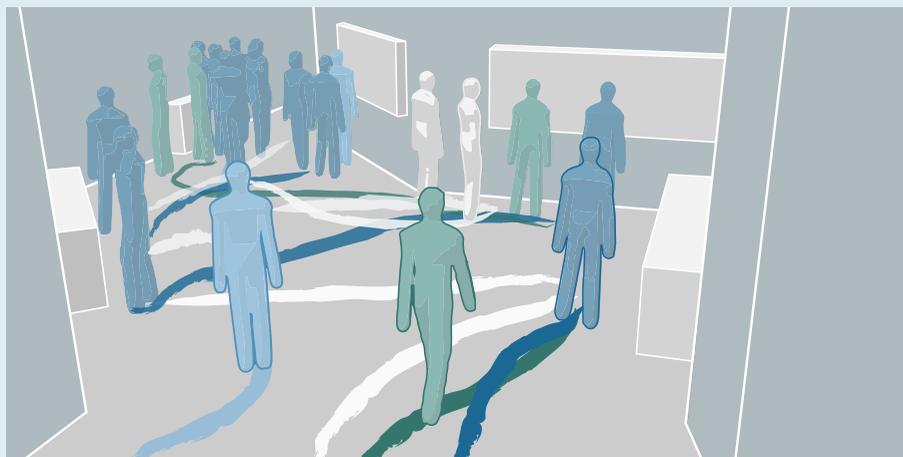
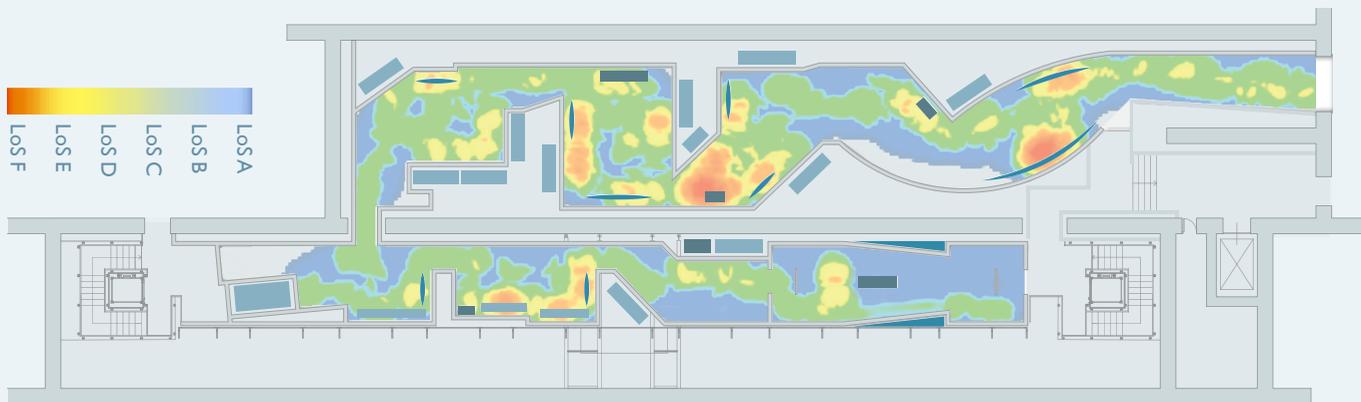


Figura 37 - Risultato dell'analisi della mappa dei percorsi degli agenti.



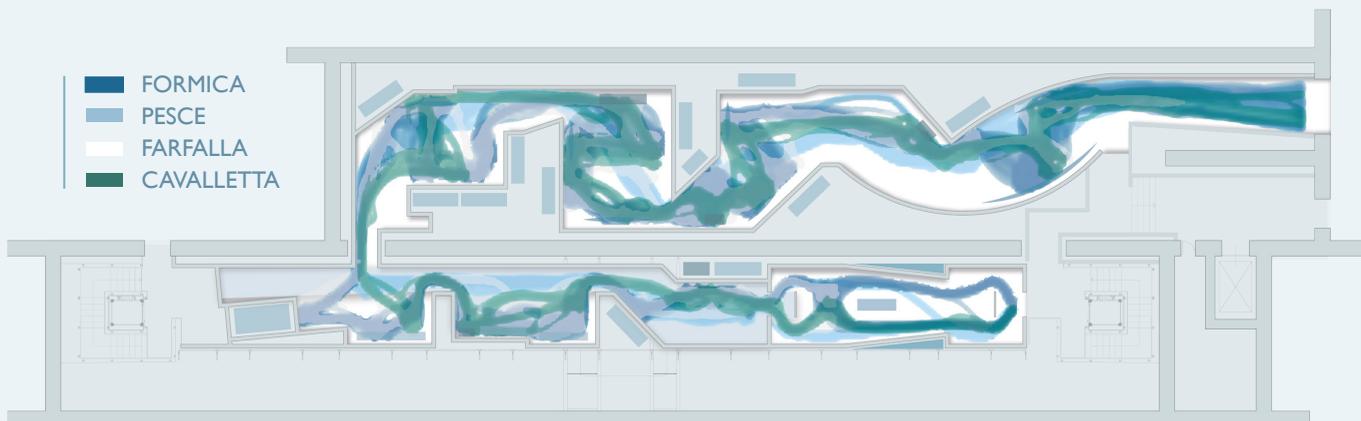
- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali

Figura 38 - Risultato dell'analisi della mappa della densità.



- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali

Figura 38 - Risultato dell'analisi della mappa dei percorsi totali.





■ FORMICA

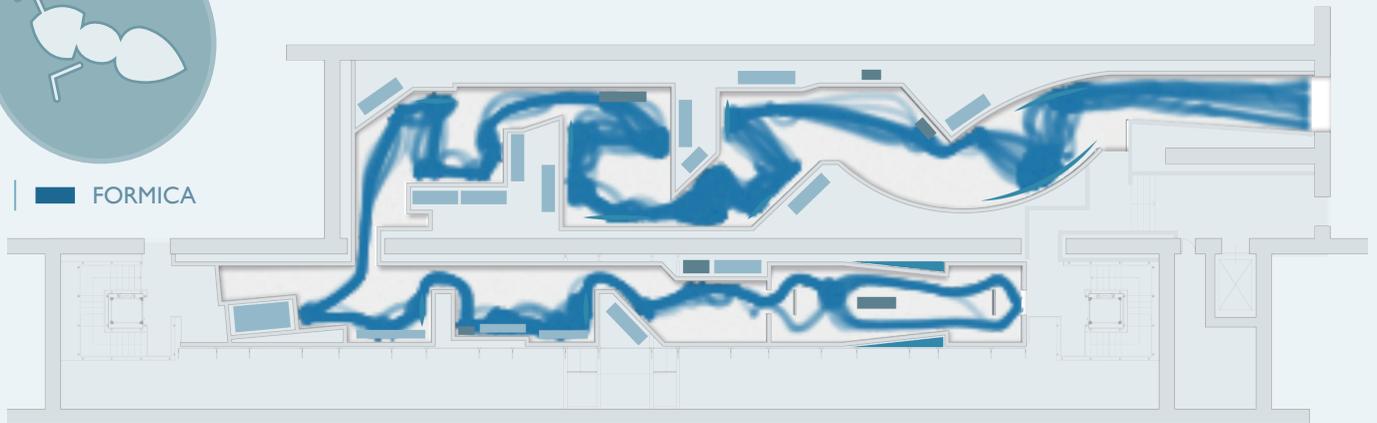
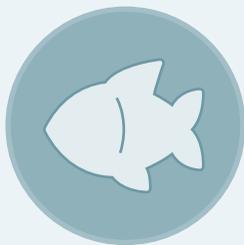


Figura 39 - Risultato dell'analisi della mappa dei percorsi del visitatore formica.

- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali



■ PESCE

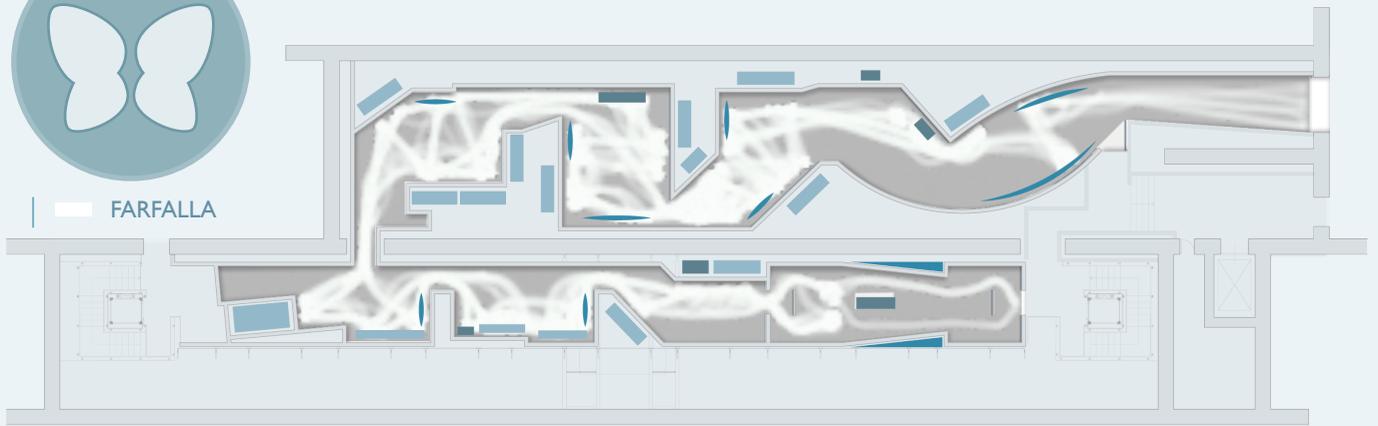


Figura 40 - Risultato dell'analisi della mappa dei percorsi del visitatore-pesce.

- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali



FARFALLA

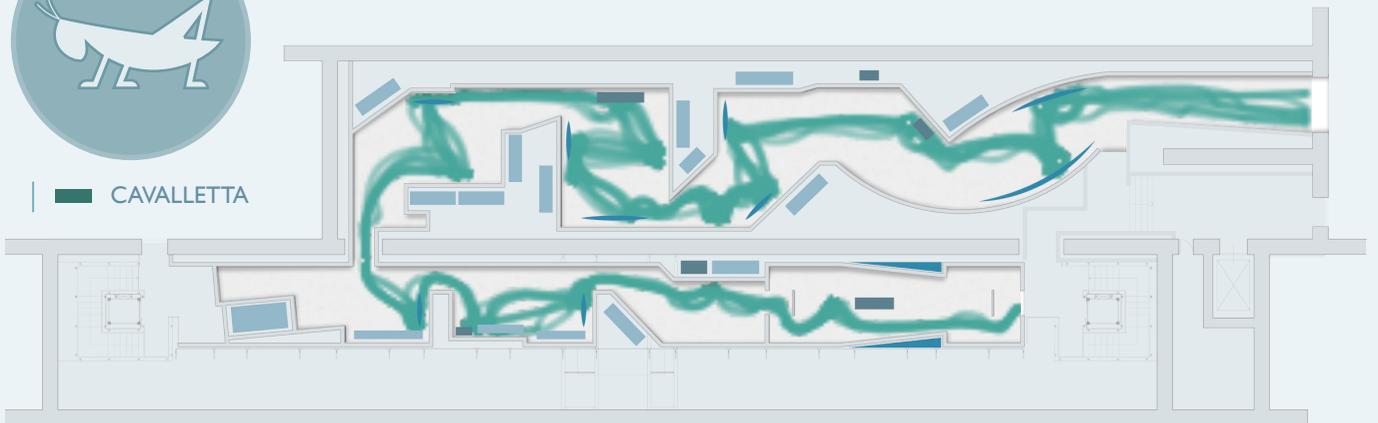


- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali

Figura 41 - Risultato dell'analisi della mappa dei percorsi del visitatore farfalla.



CAVALLETTA



- Vetrine espositive
- Materiale interattivo
- Contenuti multimediali

Figura 42 - Risultato dell'analisi della mappa dei percorsi del visitatore cavalletta.

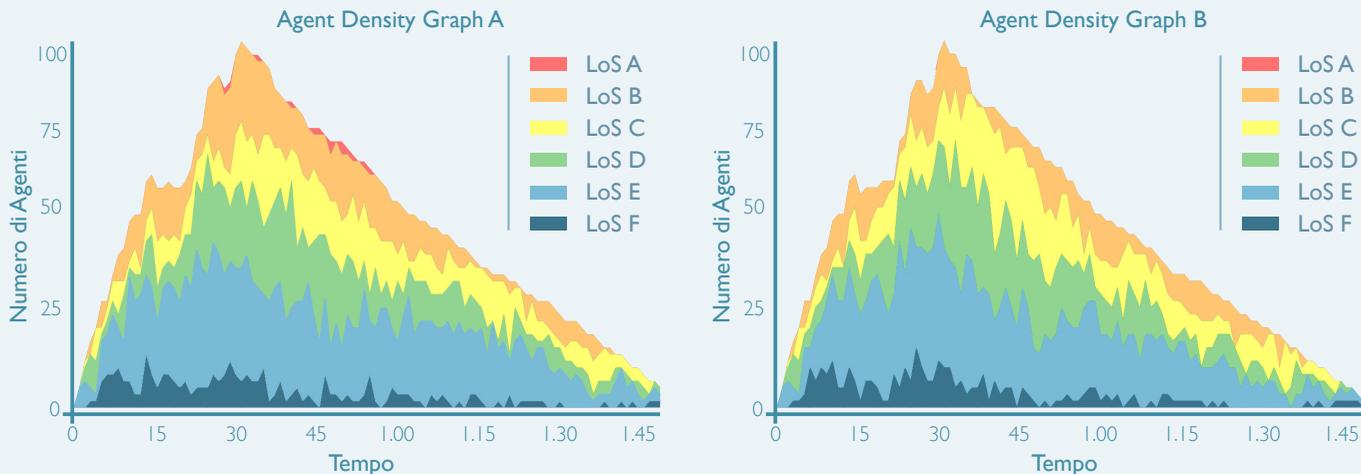
Valutazione simulazione

Figura 43 - I grafici mostrano la quantità di agenti suddivisi per i livelli di densità distributi nel tempo per il layout distributivo proposto (A) e per la configurazione migliorata (B). Nel grafico B si può notare l'abbassamento del livello del LoS F.

LoS A: $x < 0.309$ persone/m²;
LoS B: $0.309 < x < 0.431$ p/m²;
LoS C: $0.431 < x < 0.719$ p/m²;
LoS D: $0.719 < x < 1.075$ p/m²;
LoS E: $1.075 < x < 2.174$ p/m²;
LoS F: $2.174 < x$ p/m².

Al termine della simulazione simulazione, viene richiesto al software di elaborare tutti i dati registrati nel corso del processo e produrre i report di analisi sotto forma di tabelle, grafici e mappe, necessari ai progettisti per compiere le valutazioni. Gli strumenti di analisi utilizzati per questa simulazione sono l'*Average Density Map*, l'*Agent Density Graph* e l'*Agent Path Map*. La prima mappa consente di evidenziare le aree di alta e bassa densità, permettendo di individuare nell'immediato le zone di congestione; il grafico della densità mostra l'andamento della ripartizione degli agenti all'interno dei diversi intervalli di densità (LoS) per il corso della durata della simulazione; l'ultima mappa visualizza i percorsi effettuati dagli agenti suddivisi per tipologia comportamentale.

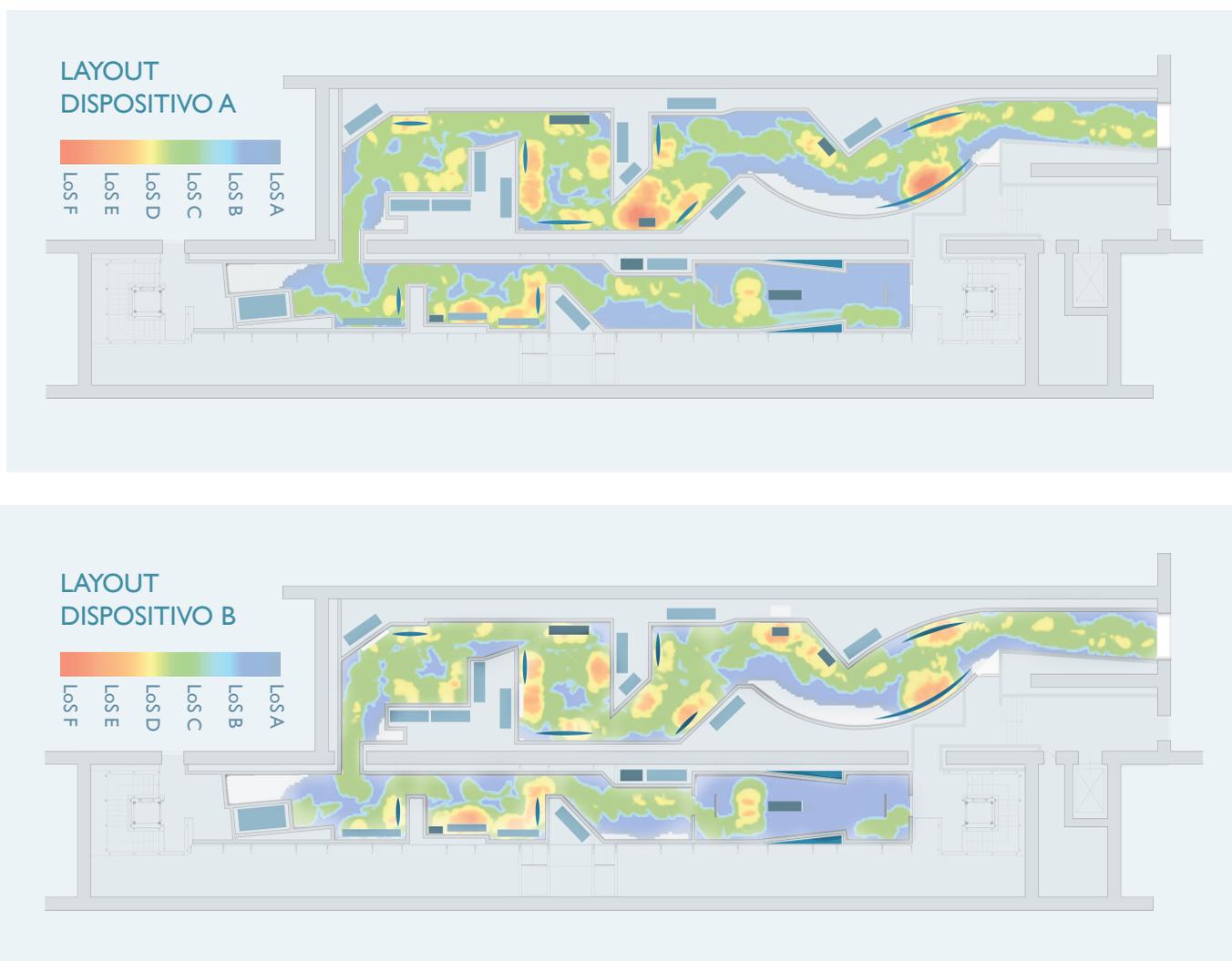
Come si può vedere in figura (fig.), l'*Average Density Map* rileva due zone appartenenti al *Livello di Servizio F* nelle quali la superficie calpestabile media per persona viene assunta inferiore a 0.37 m² e i pedoni, di conseguenza, si trovano



a stretto contatto fisico con le persone circostanti. Il contatto ravvicinato tra i pedoni può causare disagio fisico e psicologico e condurre a situazioni di criticità e congestionamento (Fruin, 1987). Provando a spostare l'elemento espositivo causa di affollamento in una zona più ampia della sala, è possibile notare dal confronto dell'*Average Density Map* e dell'*Agent Density Graph* per le due configurazioni distributive la risoluzione della criticità, ottenendo un flusso più fluido e meglio distribuito.

In generale, considerando le dimensioni esigue delle aree con *LoS F* e la quantità di operazioni effettuate per risolvere la problematica, si può affermare che la configurazione dell'allestimento proposto garantisce un'esperienza di visita soddisfacente.

Figura 44 - Confronto tra i risultati delle analisi delle mappe di densità per il layout distributivo proposto (A) e per la configurazione migliorata (B).



Conclusioni e considerazioni finali

La ricerca si è occupata di definire procedure automatizzabili con cui mostrare, attraverso delle grafiche, i fenomeni complessi che si innescano nel sempre più stretto rapporto tra contenitore e contenuto. Le prime elaborazioni hanno consentito di analizzare la relazione contenitore - contenuto e di visualizzare graficamente i fenomeni invisibili presenti in uno spazio museale allestito, ciò è avvenuto mediante l'individuazione di processi algoritmici, tesi a garantire un'esperienza museale efficace e l'ottimizzazione della gestione dell'allestimento e delle sue collezioni.

Dall'analisi del rapporto tra l'ambiente contenitore e il contenuto, la ricerca si è successivamente incentrata sull'analisi mirata degli attributi invisibili degli oggetti esposti, realizzata attraverso la definizione del livello di attrattività delle opere: i nuovi parametri associati agli oggetti esposti si relazionano con il contesto sollecitando il comportamento degli utenti all'interno dell'ambiente allestito. L'individuazione del grado di interesse esercitato dagli oggetti ha fornito la possibilità di prefigurare l'attività dei visitatori in relazione all'importanza degli elementi esposti, attraverso l'utilizzo di agenti virtuali in un ambiente di simulazione della dinamica della folla. L'utilizzo di agenti virtuali per la prefigurazione del comportamento dei flussi ha permesso di simulare la percezione e il comportamento degli esseri umani nello spazio quando sono sollecitati da eventi visivi e percettivi in ambienti complessi, fornendo utili riflessioni per ragionare sull'efficacia dell'allestimento e su possibili prefigurazioni alternative al fine di garantire all'utente un'esperienza museale efficace, coinvolgente e sicura.

La procedura ideata vuole essere uno strumento di prefigurazione, ma poiché si tratta di un prototipo procedurale, nato dall'utilizzo di strumenti di prototipazione e open source, la sperimentazione ha coinvolto il caso studio di un allestimento già realizzato con la finalità di verificarne la qualità

distributiva. I metodi mostrati in questa ricerca sono stati quindi applicati all'allestimento della mostra "Archeologia Invisibile" per avvalorare le ipotesi procedurali alla base dell'applicativo sviluppato e, soprattutto, per ricavare ulteriori dati che consentano di apportare migliorie e ricalibrazioni.

Lo strumento ha mostrato alcune criticità dovute alla carenza di dati relativi ai parametri delle opere al momento della sperimentazione, sebbene la valutazione finale della qualità dell'allestimento ricavata dalla simulazione sia stata soddisfacente. La problematica relativa alla completezza del dato può essere risolta testando la procedura su differenti tipologie di allestimenti con parametri input di diversa natura e di maggiore reperibilità.

Ulteriore elemento che è risultato migliorabile da future implementazioni riguarda l'interoperabilità tra il modello VPL di Grasshopper e l'ambiente di simulazione di MassMotion. La metodologia usata per il trasferimento dei dati tra i due applicativi non risulta fluida nei passaggi elaborati per carenza di competenze informatiche adeguate a tale finalità.

Tenendo conto delle criticità riscontrate e migliorabili, la fase successiva di della sperimentazione riguarderà la registrazione del reale comportamento degli utenti mediante il monitoraggio dell'attività dei visitatori della mostra temporanea. I dati ottenuti potranno essere confrontati con il comportamento dei flussi prefigurato, in modo da apportare correzioni e migliorie sulla base dei risultati ottenuti dal confronto. Conclusa questa seconda parte del lavoro sarà possibile definire compiutamente una procedura sperimentale oggetto di successiva validazione a seguito della sua applicazione nei futuri allestimenti. Validata la procedura, si potrà infine procedere con la creazione di un'apposita interfaccia grafica che consenta di integrare gli strumenti utilizzati e di semplificare l'utilizzo delle procedure algoritmiche da parte di curatori e progettisti.

La procedura *Smart Museum*, una volta validata e automatizzata, potrà costituire un utile prodotto a supporto dell'allestitore per controllare il progetto di allestimento ed eventualmente renderlo più efficiente rispetto alla topologia e alla qualità degli oggetti esposti.

Bibliografia

Amaturo, M., Castellani, P., Terribile, C., *Catalogare le opere d'arte*, Roma, ICCD, 2006.

Benedikt, M.L. To take hold of space: isovists and isovist fields. *Environment and Planning B*, vol. 6, pp. 47-65, 1979.

Bonabeau, E. *Agent-based modelling: methods and techniques for simulating human systems*. Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS), 2007, pp. 7280-7287.

Camillen, F., Capri, S., Garofalo, C., Ignaccolo, M., Inturri, G., Pluchino, A., Rapisarda, A., Tudisco, S., *Multi agent simulation of pedestrian behavior in closed spatial environments*, in 2009 IEEE Toronto International Conference Science and Technology for Humanity (TIC-STH), Toronto, ON, 2009, pp. 375-380.

Caramuta, C., Collodel, G., Giacomini, C., Gruden, C., Longo, G., & Piccolotto, P.
Survey of detection techniques, mathematical models and simulation software in pedestrian dynamics. Transportation Research Procedia, Volume 25, 2017, pp. 551-567.

Crooks, A., Croitoru, A., Lu, X., Wise, S., Irvine, J.M., Stefanidis, A. *Walk This Way: Improving Pedestrian Agent-Based Models through Scene Activity Analysis*. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2015, 4, 1627-1656.

De Nuntiis, P., Guaraldi, C., Mandrioli, P., Monco, A. *Oggetti nel tempo. Principi e tecniche di conservazione preventiva*, IBC - Istituto per i beni artistici culturali e naturali della regione Emilia-Romagna, 2007.

Falk, H. J. *Identity and The museum visit experience*. Walnut Creek CA. Left Coast press, 2009.

Ferber, J. *Multi-Agent Systems: An Introduction to distributed artificial intelligence*. Addison-Wesley, 1999.

Fruin, J.J. *Pedestrian planning and design*, Revised Edition, Elevator World Inc., Mobile, AL, 1987.

Funcke, M., *A comparison of crowd simulation techniques*, tesi magistrale, Rho-

des University, 2012.

Helbing, D., Molnár, P., *Social force model for pedestrian dynamics*. Institute of Theoretical Physics, University of Stuttgart, Germany, 1995.

Hempell, T., Van Leeuwen, G., and Van Der Wiel, H. *ICT, Innovation and Business Performances in Services: evidence for Germany and the Netherlands. The Economic Impact of ICT: Measurement, Evidence, and Implications*, Paris: OECD Publications Service, 2004, pp. 131-152.

Keene, S., *Managing conservation in museums*, 1996, pp. 52-53.

Kruşa, M. *Human crowd simulation as an evaluation tool for generative temporary site organization*, M.Sc., Computational Design and Fabrication Technologies in Architecture, Middle East Technical University, 2013.

Kuflik I, T., Boger, Z., Zancanaro, M. *Analysis and Prediction of Museum Visitors' Behavioral Pattern Types*, Ubiquitous Display Environments, 2012.

La Vista, A. *Analisi comparativa di software di simulazione di flussi pedonali e applicazione per la stazione della metropolitana "Investment park" di Dubai*, tesi magistrale, Politecnico di Torino, 2017.

Lampert, R. *Agent-based modeling as organizational and public policy simulators*, in Proceedings of The National Academy of Sciences of The United States of America, 99, 2002, pp. 7195-7196.

Levasseur, M., Veron, E. *Ethnographie d'une exposition*. Histoires d'expo, Peuple et culture, 1983, pp.29-32.

Liu, S., Lo, S., Ma, J., Wang, W., *An Agent-Based Microscopic Pedestrian Flow Simulation Model for Pedestrian Traffic Problems*, in IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 15, no. 3, June 2014, pp. 992-1001

Manoli, F. *Manuale di gestione e cura delle collezioni museali*. Le Monnier Università: Milan, 2015.

Pascual, M. *The Revolution of Museums and Cultural Institutions*. Telos Magazine. Vol. 90. Madrid, Spain, 2012.

Rindsfuser, G., & Kluegl, F. *Agent-Based Pedestrian Simulation: A Case Study of the Bern Railway Station*, disP - The Planning Review, 43:170, 2007, pp. 9-18.

Spagnolo, N., Farinelli, A., Nardi, D., Guarascio, M., *Simulazione ad agenti per analisi di scenari incidentali in galleria*, in Quaderni di scienza & tecnica, Istituto Superiore Antincendi ISA, 2014, pp. 3-27.

Srinivasan, R., Boast, R., Furner, J., and Becvar, K. M. *Perspective: Digital Museums and Diverse Cultural Knowledges: moving past the traditional catalogue*. *The Information Society*. Vol. 25. Taylor & Francis Group, LLC, 2009, pp. 265-278.

Still, G. *Crowd Dynamics*, tesi di dottorato, University of Warwick, UK, 2000.

Tedeschi, A. *Architettura parametrica. Introduzione a Grasshopper*. Edizioni Le Pensur, 2011.

Teknomo, K. *Microscopic Pedestrian Flow Characteristics: Development of an Image Processing Data Collection and Simulation Model*, tesi magistrale, Tohoku University, Japan, 2002.

Terzidis, K. *Expressive Form: A conceptual approach to computational design*, Routledge Chapman & Hall, London-New York, pp. 3, 2003.

Wayne Clough G. *Secretary Museums, Libraries, and Archives in a Digital Age*. Published by Smithsonian Institution. Washington, DC, 2012.

Sitografia

<https://www.autodesk.it>

<https://www.buildingsmart.org>

<https://generativelandscapes.wordpress.com>

<http://www.geometrygym.com>

<https://www.grashopper3d.com>

Nagy, D. View analysis with Isovist. <https://medium.com/generative-design/view-analysis-with-isovist>

<https://www.museoegizio.it>

<https://www.oasys-software.com>