

# POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in  
Ingegneria del Cinema e dei Mezzi di Comunicazione



**Tesi di Laurea Magistrale**

## I Custodi dell'Habitat

Progettazione di un'installazione ludico-educativa cooperativa  
per il percorso “Le Alpi dei Ragazzi” del Forte di Bard

### **Relatori**

Prof. Francesco STRADA  
Prof. Andrea BOTTINO

### **Candidato**

Francesco ASTORE

Dicembre 2025



# Abstract

Il progetto *I Custodi dell'Habitat* nasce dalla collaborazione con il percorso educativo e didattico *Alpe dei Ragazzi* del Forte di Bard, un museo interamente dedicato alla scoperta del mondo alpino e pensato in particolare per il pubblico più giovane. L'obiettivo principale è stato quello di rinnovare e potenziare l'offerta educativa del museo attraverso un linguaggio capace non solo di informare, ma anche di coinvolgere emotivamente, stimolare curiosità e favorire una riflessione critica nei visitatori. La scelta di utilizzare il gioco come strumento didattico fondante deriva dalla volontà di proporre un'esperienza capace di coniugare conoscenza, partecipazione attiva e cooperazione.

Il fulcro dell'installazione è un gioco da tavolo cooperativo appositamente progettato: i giocatori assumono il ruolo di quattro figure simboliche – i Custodi dell'Acqua, della Flora, della Fauna e della Civiltà – impegnate a mantenere in equilibrio l'intero habitat. Ogni azione genera un beneficio per la risorsa del proprio Custode, ma comporta allo stesso tempo un potenziale impatto negativo sulle altre. Questa dinamica rende evidente la necessità del dialogo, della gestione condivisa e della collaborazione strategica tra i partecipanti. Nel corso della partita, il gioco si trasforma così in una riflessione collettiva sull'interdipendenza che caratterizza i sistemi naturali e umani: la vittoria è raggiunta solo attraverso un equilibrio globale, metafora diretta del principio di sostenibilità, secondo cui nessuna componente può prosperare a lungo a discapito delle altre.

La tesi accompagna il progetto sviluppandosi su tre livelli complementari. Il primo livello, teorico e storico- critico, analizza l'evoluzione del museo contemporaneo e il crescente ruolo delle esperienze immersive, dell'edutainment e dei *serious games* nella trasmissione dei saperi. Il secondo livello, di natura progettuale, approfondisce le scelte di game design, le dinamiche di gameplay e le strategie di interdipendenza mirate a rendere l'esperienza intrinsecamente cooperativa e priva di elementi competitivi. Il terzo livello, tecnico-sperimentale, documenta lo sviluppo dell'installazione interattiva: dalla prototipazione iniziale, alla progettazione hardware, fino alla programmazione del sistema digitale di proiezione che anima il tavolo da gioco.

Un aspetto cruciale del progetto è stato il test diretto dell'efficacia dell'installazione con i visitatori del museo, affiancato da sessioni di playtest guidate. Le osservazioni e i dati raccolti mostrano in modo convincente come *I Custodi dell'Habitat* favorisca un apprendimento esperienziale attivo e promuova comportamenti collaborativi nei partecipanti.

*I Custodi dell'Habitat* rappresenta dunque un esempio concreto di come il gioco possa diventare un linguaggio educativo trasversale, capace di stimolare consapevolezza ambientale, dialogo e sviluppo del pensiero sistematico, offrendo una modalità originale e coinvolgente di esplorare le relazioni che regolano gli ecosistemi naturali.



# Ringraziamenti

Desidero innanzitutto ringraziare i miei genitori, Giuseppe e Laura, i miei fratelli, Betta e Marco, e i miei nonni Quinto e Anna. Un pensiero particolare va anche ai miei nonni, Marisa e Carlo, che non sono più con noi ma che continuano a essere una presenza importante nella mia vita. E' tutto così difficile, ma siete le persone a cui più tengo. Grazie.

Ringrazio il team di AuroraMeccanica per aver reso possibile questo progetto e per avermi accolto con fiducia. In particolare, Massimo, che è stato una guida preziosa e un punto di riferimento durante tutte le fasi del lavoro, e Ionela, il cui contributo nella realizzazione delle grafiche e delle animazioni è stato fondamentale e sempre accompagnato da grande dedizione.

Un grazie sincero al mio relatore, Prof. Francesco Strada, per avermi seguito con disponibilità e attenzione, accogliendomi anche quando il progetto era già avviato e offrendomi supporto e confronto nei momenti più significativi del percorso.

Un ringraziamento va ai miei amici, che hanno rappresentato un equilibrio squilibrato necessario al di fuori dello studio. In particolare Peire, presenza solida e compagno di vita che non ha mai fatto mancare ascolto, insulti e sostegno. Un grazie speciale agli amici del percorso — Andrea, Daniele, Fabio, Luca, Ludovico e Michael — che in questi anni hanno contribuito a farmi crescere, condividendo fatiche, gioia, momenti indimenticabili e molto di più, grazie.

Mi dispiace per chi non compare in questa pagina, ma i miei pensieri e la mia gratitudine vanno anche a voi. In un modo o nell'altro, siete parte di ciò che sono.



# Indice

<b>Abstract</b>	<b>2</b>
<b>Ringraziamenti</b>	<b>5</b>
<b>Introduzione</b>	<b>11</b>
<b>1 Stato dell'Arte e Contesto Teorico</b>	<b>13</b>
1.1 Il Museo Contemporaneo come Ambiente di Apprendimento . . . . .	13
1.2 Tecnologie Digitali e Interazione: dal Display alla Simulazione . . . . .	14
1.3 L'Esperienza come Forma di Apprendimento . . . . .	15
1.4 Serious Games ed Educazione: Il Gioco come Dispositivo di Conoscenza	15
1.4.1 Gamification vs. Serious Game: una distinzione necessaria . .	16
1.5 Il Gioco come Simulazione di Sistemi Complessi . . . . .	17
1.6 Apprendimento Esperienziale e Coinvolgimento Cognitivo . . . . .	17
1.7 Pedagogia dell'Edutainment: Coinvolgere per Comprendere . . . . .	18
1.8 Il Contesto Museale: Il Forte di Bard e il Percorso "Le Alpi dei Ragazzi"	19
1.8.1 Il Percorso "Le Alpi dei Ragazzi": Un Museo dedicato all'E- sperienza . . . . .	19
1.9 La Sala 7: Dalla Narrazione all'Azione . . . . .	20
1.9.1 Due Modalità di Funzionamento: Videoloop e Gioco . . . . .	20
1.10 Edutainment Applicato alla Sala 7 . . . . .	21
1.11 Collaborazione con AuroraMeccanica: Una Cornice Professionale per la Ricerca Progettuale . . . . .	21
1.11.1 Supervisione estetica e direzione artistica . . . . .	22
1.11.2 Supporto tecnico e infrastruttura museale . . . . .	22
1.11.3 Libertà progettuale e collaborazione come pratica di ricerca .	23
1.12 Sintesi del Capitolo . . . . .	23
<b>2 "I Custodi dell'Habitat": Dal Concept al Game Design Finale</b>	<b>24</b>
2.1 La Sala 7: soglia tra narrazione e azione . . . . .	24

2.1.1	Un tavolo bifunzionale: dal videoloop alle pratiche di gioco . . . . .	25
2.1.2	Ruolo didattico della Sala 7 nel percorso complessivo . . . . .	26
2.2	Vincoli e Opportunità Progettuali: Tavolo, Proiezione e Interazione . . . . .	26
2.2.1	Il tavolo ellissoidale come dispositivo spaziale . . . . .	27
2.2.2	Il sistema di proiezione zenitale . . . . .	28
2.2.3	Interazione phygital: RFID, antenne e standard museale . . . . .	28
2.3	Genesi del Progetto: Metafora dell'Equilibrio Ecosistemico . . . . .	29
2.3.1	Richiesta educativa e mandato progettuale . . . . .	29
2.3.2	Scelta del formato: un gioco da tavolo cooperativo interattivo	30
2.3.3	La metafora dei Custodi e l'obiettivo di equilibrio perfetto . . . . .	31
2.4	Ricerca Preliminare: Giochi e Installazioni di Riferimento . . . . .	31
2.4.1	Analisi di giochi da tavolo cooperativi e gestionali . . . . .	31
2.4.2	Riflessione teorica: meccaniche e significato . . . . .	32
2.5	Dal Prototipo “Valle dell’Equilibrio” ai “Custodi dell’Habitat” . . . . .	33
2.5.1	Primi prototipi: punteggi globali e carte scenario . . . . .	33
2.5.2	La svolta: quattro risorse autonome e complementari . . . . .	34
2.5.3	Il ruolo controverso della Civiltà . . . . .	35
2.6	La Struttura del Gioco Finale . . . . .	35
2.6.1	Ruoli dei giocatori: i quattro Custodi . . . . .	35
2.6.2	Obiettivo condiviso: raggiungere l’equilibrio perfetto . . . . .	36
2.6.3	Il core loop del turno . . . . .	37
2.6.4	Catastrofi naturali e sfide cooperative . . . . .	37
2.7	Il Sistema Costo–Beneficio delle Tessere Azione . . . . .	38
2.7.1	Principi generali di bilanciamento . . . . .	38
2.7.2	Carte ordinarie: trade-off localizzati . . . . .	38
2.7.3	Carte condizionali: dipendenze tra risorse . . . . .	39
2.7.4	Carte “Più alto”: redistribuzione solidale . . . . .	40
2.7.5	Carte speciali casuali . . . . .	41
2.7.6	Carte ad effetto sistemico . . . . .	41
2.8	Iter di Prototipazione e Playtest . . . . .	42
2.8.1	Playtest interni: prototipi analogici e bilanciamento grezzo . .	42
2.8.2	Playtest con il target: interesse, comprensibilità, durata . . . .	43
2.8.3	Playtest con proiezione: mappa, feedback visivi e medaglione centrale . . . . .	43
2.9	Meccaniche di Cooperazione e Interdipendenza . . . . .	44
2.9.1	Negoziazione esplicita e implicita . . . . .	44
2.9.2	Interdipendenza tra ruolo, meccanica e narrazione . . . . .	45

2.9.3	Meccaniche avanzate esplorate e scartate . . . . .	45
2.10	La Mappa Interattiva come Dispositivo di Visualizzazione . . . . .	46
2.11	Sintesi: Coerenza tra Obiettivi Educativi e Scelte di Design . . . . .	46
<b>3</b>	<b>Architettura Tecnica e Implementazione del Sistema Interattivo</b>	<b>48</b>
3.1	Panoramica del Sistema . . . . .	49
3.2	Architettura delle Scene Unity . . . . .	49
3.2.1	Diagramma TikZ della struttura delle scene . . . . .	49
3.2.2	Scena Persistente . . . . .	50
3.2.3	Menu Scene . . . . .	50
3.2.4	Warning Stripes Scene . . . . .	50
3.2.5	Game Scene . . . . .	50
3.3	Struttura dei Managers in Game Scene . . . . .	51
3.4	World: Mappa, UI e Postazioni dei Giocatori . . . . .	52
3.4.1	Struttura principale del nodo World . . . . .	52
3.5	Il SerialReader: Filtro, Validazione e Ponte tra Mondo Fisico e Digitale	52
3.5.1	Architettura interna . . . . .	53
3.5.2	Protocollo a due fasi . . . . .	53
3.5.3	Stack per porta: prevenzione degli errori più comuni . . . . .	54
3.5.4	Gestione dei pulsanti fisici . . . . .	54
3.5.5	Integrazione con il TurnManager . . . . .	55
3.6	TurnManager: Controllo del Ritmo e della Sequenza di Gioco . . . . .	55
3.6.1	Ruolo principale . . . . .	55
3.6.2	Pipeline del turno . . . . .	56
3.6.3	Condizioni di endgame . . . . .	56
3.7	ResourceManager: il Cuore Numerico dell’Ecosistema . . . . .	56
3.8	CardManager: dal Tag RFID all’Effetto di Gioco . . . . .	58
3.9	MapVisualizer: dalla Matematica al Paesaggio . . . . .	59
3.10	Sistema Audio: un Ecosistema anche Sonoro . . . . .	59
3.11	Challenge: obiettivi che cambiano il Ritmo . . . . .	60
3.12	Pannello dei Pulsanti Fisici: una Console Nascosta nel Tavolo . . . . .	61
3.13	Allineamento Phygital: un Tavolo che “Coincide” con la Proiezione . . . . .	61
3.14	Testing: dalla Simulazione al Contesto Museale . . . . .	62
3.15	Conclusione del Capitolo . . . . .	63
<b>4</b>	<b>Valutazione dell’Esperienza: Osservazione dei Visitatori, Questionari, Simulazioni</b>	<b>64</b>
4.1	Metodologia . . . . .	65

4.1.1	Osservazione diretta . . . . .	65
4.1.2	Interviste informali . . . . .	65
4.1.3	Questionario strutturato . . . . .	66
4.1.4	Simulazioni con agenti artificiali . . . . .	67
4.2	Risultati dell'Osservazione . . . . .	67
4.2.1	Comprensione delle regole e guida all'esperienza . . . . .	67
4.2.2	Cooperazione, attenzione e gestione del tempo . . . . .	68
4.2.3	Uso della mappa proiettata e dei feedback . . . . .	68
4.2.4	Difficoltà e punti di frizione . . . . .	69
4.3	Risultati del Questionario e delle Simulazioni . . . . .	69
4.3.1	Comprensione dell'equilibrio ecosistemico . . . . .	69
4.3.2	Percezione della cooperazione e del ruolo del gruppo . . . . .	70
4.3.3	Coinvolgimento, immersione e richiesta di ricompense . . . . .	70
4.3.4	Percezione della fortuna e risultati delle simulazioni . . . . .	70
4.4	Interpretazione dei Risultati . . . . .	71
4.5	Sviluppi Futuri . . . . .	71
4.5.1	Evoluzioni possibili del gioco esistente . . . . .	71
4.5.2	Verso una famiglia di giochi da tavolo interattivi phygital . . . . .	72
4.5.3	Metodi di valutazione per esperienze interattive complesse . . . . .	73

# Introduzione

Negli ultimi decenni il rapporto tra cultura, educazione e tecnologie interattive ha conosciuto una trasformazione profonda. Le istituzioni museali, tradizionalmente concepite come luoghi di conservazione e trasmissione unidirezionale del sapere, si stanno progressivamente evolvendo in spazi esperienziali e partecipativi, dove il pubblico è chiamato a interagire, esplorare e co-costruire conoscenza. In questo processo di rinnovamento, il gioco è emerso come uno degli strumenti più efficaci per stimolare curiosità, coinvolgimento e apprendimento attivo, soprattutto tra le fasce più giovani di pubblico.

Il concetto di *edutainment* — fusione di *education* ed *entertainment* — si è imposto come paradigma progettuale capace di coniugare rigore scientifico e dimensione ludica. Attraverso dinamiche di gioco, simulazione e narrazione, è possibile comunicare concetti complessi in modo accessibile, trasformando la conoscenza in esperienza. In ambito museale, questo approccio apre la strada a nuove forme di fruizione culturale basate sull'interattività e sulla collaborazione.

È in questo scenario che nasce **“I Custodi dell’Habitat”**, un progetto ludico-educativo sviluppato per il percorso *“Le Alpi dei Ragazzi”* all’interno del **Museo del Forte di Bard** (Valle d’Aosta). L’installazione propone un gioco cooperativo in cui quattro partecipanti — i “Custodi” — devono mantenere in equilibrio le risorse fondamentali di un ecosistema: Acqua, Flora, Fauna e Civiltà. Ogni azione compiuta da un giocatore influenza le risorse degli altri, rendendo la comunicazione e la collaborazione indispensabili al raggiungimento dell’obiettivo comune.

Il progetto si propone dunque come un laboratorio esperienziale di *cooperative learning*, in cui i visitatori non apprendono solo nozioni sull’ambiente, ma sperimentano in prima persona i principi di interdipendenza e sostenibilità che regolano i sistemi naturali. Attraverso un sistema di proiezione interattiva e un’interfaccia fisica condivisa, il gioco diventa una metafora tangibile dell’equilibrio ecologico e sociale.

Gli obiettivi della tesi sono i seguenti:

1. Definire il quadro teorico di riferimento in cui si inserisce il progetto, esplorando le sue caratteristiche e le sue potenzialità.

rando i concetti di edutainment, serious games e museologia partecipativa.

2. Descrivere il processo di game design alla base di “I Custodi dell’Habitat”, evidenziando le scelte concettuali e le meccaniche cooperative adottate.
3. Illustrare lo sviluppo tecnico dell’installazione, dall’architettura software e hardware alla realizzazione degli asset digitali e fisici.
4. Valutare l’efficacia educativa del progetto in termini di coinvolgimento, collaborazione e comprensione dei concetti ecologici trasmessi.

La tesi è articolata in quattro capitoli principali.

- Il **Capitolo 1** delinea il contesto teorico e culturale del progetto, analizzando l’evoluzione dei musei interattivi, le potenzialità dei serious games e il ruolo del Forte di Bard come polo di sperimentazione didattica.
- Il **Capitolo 2** descrive il concept, le regole e le meccaniche di gioco di “I Custodi dell’Habitat”.
- Il **Capitolo 3** presenta l’implementazione tecnica e il processo di sviluppo dell’installazione.
- Il **Capitolo 4** offre una riflessione critica sui risultati ottenuti e sui possibili sviluppi futuri.

# Capitolo 1

## Stato dell'Arte e Contesto Teorico

Il progetto *I Custodi dell'Habitat* si colloca all'incrocio tra museologia contemporanea, game studies, interaction design ed educazione ambientale. La sua concezione non è il risultato di un'intuizione isolata, ma di un percorso articolato che unisce riferimenti teorici, vincoli tecnologici, esigenze pedagogiche e scelte narrative. Questo capitolo ricostruisce il quadro concettuale entro cui il progetto prende forma, fornendo una base solida per comprendere le decisioni di game design e le soluzioni tecniche illustrate nei capitoli successivi.

La riflessione si articola attorno a quattro nuclei fondamentali: l'evoluzione del museo come ambiente di apprendimento attivo, il ruolo dei *serious games* nell'educazione contemporanea, la specificità del contesto museale del Forte di Bard e le esigenze del target giovanile cui l'esperienza è destinata. Attraverso questa analisi emerge come *I Custodi dell'Habitat* non sia un semplice gioco, ma un dispositivo culturale che incarna e traduce in esperienza i principi dell'edutainment museale e del pensiero sistematico.

### 1.1 Il Museo Contemporaneo come Ambiente di Apprendimento

L'idea di museo come semplice luogo di conservazione appartiene ormai a un paradigma storico superato. Durante il XIX secolo, il museo veniva concepito come un "tempio laico" in cui il visitatore, in atteggiamento contemplativo, osservava oggetti ordinati secondo criteri tassonomici. Con la nascita della *Nuova Museologia*, tra gli anni Sessanta e Settanta, questo modello viene profondamente ridiscusso da studiosi come Georges Henri Rivière e Hugues de Varine de Varine, 1980; Rivière, 1978. Essi introducono una concezione del museo come *fenomeno sociale*, non più un luogo

neutro e autoreferenziale, ma un laboratorio aperto alle comunità, un dispositivo didattico e partecipativo.

La Nuova Museologia porta a un ripensamento radicale della funzione museale. Se il museo ottocentesco aspirava a “mostrare” e “classificare”, il museo contemporaneo aspira a **far esperire**. In questo contesto il visitatore non è più uno spettatore passivo, ma un co-costruttore di conoscenza. Le esposizioni si trasformano in percorsi interattivi, esperienze narrative multimediali, ambienti immersivi che stimolano curiosità, collaborazione e scoperta.

Un passaggio significativo nella cultura museale recente è l’evoluzione dai modelli *hands-on* dei musei scientifici degli anni Novanta — basati sull’interazione tattile con exhibit fisici — ai modelli *minds-on* Hein, 1998, che mirano a coinvolgere non solo il corpo, ma il ragionamento, la deduzione e il pensiero critico. Sempre più diffuso è anche il concetto di *hearts-on*, introdotto nella letteratura internazionale per descrivere esperienze che stimolano empatia, coinvolgimento emotivo e responsabilità.

L’evoluzione del museo contemporaneo è quindi il risultato di un incontro tra pedagogia, tecnologia e nuove aspettative sociali. Musei come il MUSE di Trento, l’Exploratorium di San Francisco e la Cité des Sciences et de l’Industrie di Parigi rappresentano esempi emblematici di questa trasformazione: in essi la conoscenza è mediata da installazioni interattive, ambienti multisensoriali, narrazioni immersive e linguaggi visivi contemporanei.

Nel caso del Forte di Bard, questa trasformazione assume una declinazione specifica: il rapporto tra natura e cultura, tra uomo e ambiente alpino, diventa terreno fertile per pratiche di partecipazione e apprendimento esperienziale che trovano espressione nel percorso *Le Alpi dei Ragazzi* e, in particolare, nella Sala 7, luogo in cui il visitatore diventa protagonista attivo delle proprie scelte.

## 1.2 Tecnologie Digitali e Interazione: dal Display alla Simulazione

L’avvento delle tecnologie digitali ha amplificato le possibilità espressive del museo, trasformando l’interazione da semplice contatto fisico a complessa esperienza multisensoriale. La realtà aumentata, le proiezioni immersive, i sensori di prossimità e i sistemi tangibili hanno aperto la strada a nuove forme di narrazione in cui lo spazio museale diventa interfaccia.

Tali tecnologie non vanno però interpretate come un virtuosismo spettacolare: il loro valore risiede nel modo in cui permettono di esplorare sistemi complessi e concetti astratti. Un ecosistema, per esempio, è costituito da relazioni invisibili,

dinamiche e multilivello; la sola descrizione verbale difficilmente restituisce la complessità di tali interazioni. Una simulazione digitale, invece, può renderle visibili, manipolabili, comprese attraverso l’esperienza diretta.

In questo senso, la proiezione interattiva su tavolo adottata per *I Custodi dell’Habitat* non è un semplice espediente grafico: essa permette di rappresentare in tempo reale la trasformazione dell’habitat in base alle decisioni del gruppo, rendendo tangibile la relazione tra azione e conseguenza.

La tecnologia diventa quindi un *mediatore cognitivo*, uno strumento per costruire significati, non un effetto scenico. Il visitatore può osservare come una scelta errata produca squilibri, come un intervento coordinato porti a un miglioramento, come le risorse siano collegate da un intreccio di dipendenze. Questa capacità di rendere visibile l’invisibile è uno degli elementi centrali che hanno guidato la progettazione dell’esperienza.

### 1.3 L’Esperienza come Forma di Apprendimento

Le teorie dell’apprendimento esperienziale — da Dewey a Kolb Kolb, 1984 — sostengono che la comprensione più profonda nasca dall’interazione tra azione e riflessione. Il museo contemporaneo ha adottato questa prospettiva: non si limita a mostrare, ma invita a fare, esplorare, mettere alla prova ipotesi, osservare il risultato delle proprie scelte.

Nel contesto di *I Custodi dell’Habitat*, l’esperienza ludica non è un semplice intrattenimento. È un **dispositivo educativo** che utilizza il linguaggio del gioco per moderare un sistema complesso. Il visitatore non impara ascoltando, ma facendo—e facendo con gli altri. La cooperazione diventa parte del contenuto educativo stesso: l’equilibrio dell’habitat può essere raggiunto solo attraverso la comunicazione, l’ascolto e la negoziazione.

Il gioco, come vedremo nella sezione successiva, fornisce così un contesto privilegiato per esplorare il pensiero sistematico, un’abilità sempre più necessaria in un mondo caratterizzato da interdipendenze e complessità.

### 1.4 Serious Games ed Educazione: Il Gioco come Dispositivo di Conoscenza

Nel panorama educativo contemporaneo, il gioco non è più considerato un mero strumento di svago, ma un potente mezzo per strutturare apprendimenti complessi. L’idea che il gioco possa essere un veicolo di contenuti formativi ha radici profonde:

già negli anni Settanta Clark Abt utilizzava il termine *serious game* per descrivere giochi progettati con finalità educative, sociali o formative Abt, 1970. Da allora la letteratura scientifica ha consolidato e ampliato questo concetto, evidenziando come il gioco possa essere una forma di simulazione dotata di regole, obiettivi e dinamiche capaci di generare conoscenza.

Tra le voci più influenti nella ricerca sui giochi educativi vi sono James Paul Gee, che interpreta il gioco come *modello mentale* interattivo Gee, 2003, e Marc Prensky, che sottolinea la capacità del linguaggio ludico di coinvolgere una generazione cresciuta tra tecnologie digitali Prensky, 2001. A differenza dell'apprendimento nozionistico, il serious game facilita l'acquisizione di competenze attraverso l'azione, la sperimentazione e l'interazione sociale.

Ciò che distingue profondamente un serious game da una semplice attività ludica è la presenza di un obiettivo formativo esplicito integrato armonicamente nelle meccaniche. Non si tratta di “educare con il gioco”, ma di “educare *nel* gioco”: l'apprendimento è un sottoprodotto naturale dell'esperienza, non un contenuto imposto dall'esterno. Questa differenza semantica è centrale nella progettazione di *I Custodi dell'habitat*, dove i concetti di equilibrio ecologico e interdipendenza emergono direttamente dalle dinamiche di gioco.

#### 1.4.1 Gamification vs. Serious Game: una distinzione necessaria

La diffusione della gamification ha portato spesso a una sovrapposizione impropria tra i due concetti. Mentre la gamification consiste nell'inserire elementi ludici (punti, badge, classifiche) in contesti non ludici per aumentare il coinvolgimento, il serious game si fonda su un **sistema ludico completo**, dotato di regole, obiettivi, cicli di gioco e una struttura interna coerente.

Un gioco gamificato invita l'utente a compiere azioni predefinite per ottenere ricompense esterne; un serious game, invece, propone un mondo di regole e significati che deve essere esplorato, compreso e gestito. La differenza è sostanziale: la gamification stimola la motivazione estrinseca, il serious game agisce sulla motivazione intrinseca.

*I Custodi dell'habitat* appartiene inequivocabilmente alla categoria dei serious games. Non aggiunge elementi ludici a un contenuto espositivo già definito: esso è un'esperienza autonoma, in cui la comprensione dell'ecosistema avviene attraverso le scelte dei giocatori, le conseguenze delle loro azioni e le dinamiche collettive.

## 1.5 Il Gioco come Simulazione di Sistemi Complessi

Uno dei motivi per cui i giochi educativi sono particolarmente efficaci nel trattare temi ambientali risiede nella loro capacità di simulare sistemi complessi. Un ecosistema non può essere spiegato attraverso una lista di fattori isolati: la sua natura è intrinsecamente relazionale. Gli effetti sono spesso non lineari, le dipendenze reciproche sono numerose e le conseguenze delle azioni si manifestano su scale temporali e spaziali diverse.

Il gioco, come forma di modellizzazione dinamica, permette di:

- **visualizzare interdipendenze:** ogni scelta influenza più di una variabile;
- **sperimentare trade-off:** crescere una risorsa può indebolirne un'altra;
- **affrontare l'incertezza:** eventi casuali o catastrofi improvvise mettono alla prova la resilienza del sistema;
- **valutare conseguenze a lungo termine:** alcune scelte producono benefici immediati ma rischi futuri;
- **comprendere l'importanza dell'equilibrio:** nessuna risorsa può essere portata al massimo senza ripercussioni sul sistema globale.

Queste dinamiche sono al centro di *I Custodi dell'habitat*, dove le quattro risorse (Acqua, Flora, Fauna e Civiltà) non sono entità isolate, ma poli di un equilibrio sottile. Ogni giocatore ha il controllo diretto su una sola risorsa, ma le sue scelte influenzano tutte le altre. Questo porta naturalmente i partecipanti a ragionare in termini di sistema—una competenza pedagogicamente preziosa, in linea con i modelli di *system thinking* promossi da studiosi come Donella Meadows, 2008.

## 1.6 Apprendimento Esperienziale e Involgimento Cognitivo

Il legame tra gioco e apprendimento trova supporto anche nella teoria dell'apprendimento esperienziale di David Kolb Kolb, 1984. Secondo questo modello, l'apprendimento efficace emerge dall'interazione ciclica tra:

- **esperienza concreta,**
- **riflessione sull'esperienza,**

- **concettualizzazione astratta,**
- **sperimentazione attiva.**

Il gioco incarna naturalmente questa sequenza. Ogni turno di *I Custodi dell'Home* è un micro-ciclo esperienziale: i giocatori agiscono, osservano gli effetti sulla mappa, riflettono su come le risorse sono cambiate e pianificano la mossa successiva. Il ciclo del turno è dunque un ciclo dell'apprendimento.

Un aspetto fondamentale è la **motivazione intrinseca**. Il gioco, per sua natura, offre obiettivi chiari, feedback continui e una struttura che premia l'esplorazione e la scoperta. Questo aumenta l'engagement, favorisce la memorizzazione e stimola una partecipazione attiva che difficilmente si otterrebbe con modalità espositive tradizionali.

Le neuroscienze dell'educazione hanno dimostrato come il coinvolgimento emotivo aumenti la capacità di apprendere concetti complessi; il gioco, unendo tensione, curiosità, sorpresa e collaborazione, attiva proprio quelle reti cognitive che facilitano la costruzione di significati duraturi.

## 1.7 Pedagogia dell'Edutainment: Coinvolgere per Comprendere

L'edutainment è un paradigma educativo che combina dimensione ludica ed esperienza formativa. L'idea non è semplificare i contenuti, ma **renderli esperibili**. Attraverso il gioco, la conoscenza acquisisce forma, movimento e conseguenze.

Nel contesto museale, l'edutainment assume alcune funzioni chiave:

- **riduce la distanza tra visitatore e contenuto**, creando un ambiente di apprendimento meno gerarchico;
- **attiva processi di scoperta**, invece che di memorizzazione passiva;
- **favorisce l'apprendimento sociale**, perché molte attività sono collaborative;
- **offre narrazioni coinvolgenti**, che facilitano la comprensione di temi complessi.

Nei bambini e negli adolescenti (target principale della Sala 7), il gioco è il linguaggio naturale con cui esplorano il mondo. La cooperazione, il confronto tra pari e la sperimentazione diretta sono elementi che potenziano l'apprendimento in

questa fascia d'età. La stessa struttura di *I Custodi dell'Habitat* incorpora tali principi: la progressione è condivisa, il successo è collettivo, l'equilibrio dell'habitat dipende da una negoziazione continua.

In questa prospettiva, il gioco non è solo un mezzo per attirare l'attenzione dei giovani visitatori, ma uno strumento per trasformare concetti complessi in esperienza vissuta, rendendo l'educazione ambientale più concreta, partecipativa e memorabile.

## 1.8 Il Contesto Museale: Il Forte di Bard e il Percorso “Le Alpi dei Ragazzi”

Per comprendere appieno il progetto *I Custodi dell'Habitat*, è necessario collocarlo nel contesto culturale e istituzionale che ne ha motivato la nascita. Il Forte di Bard rappresenta uno degli esempi più interessanti di riconversione culturale di un complesso storico in Italia. Situato all'ingresso della Valle d'Aosta, il Forte domina la gola della Dora Baltea e ha svolto per secoli una funzione strategica di controllo territoriale. Dopo un lungo periodo di abbandono, la sua rinascita come polo museale e culturale, avvenuta nel 2006, ne ha ridefinito completamente la missione.

Oggi il Forte di Bard ospita musei, esposizioni temporanee, eventi culturali e installazioni interattive che raccontano la storia della fortezza, la geografia alpina e i processi naturali che plasmano il territorio. La sua vocazione a diventare un “laboratorio culturale” lo rende luogo privilegiato per progetti che coniugano scienza, tecnologia e narrazione, con un occhio di riguardo al pubblico giovane.

### 1.8.1 Il Percorso “Le Alpi dei Ragazzi”: Un Museo dedicato all’Esperienza

Tra le proposte permanenti del Forte, il percorso *Le Alpi dei Ragazzi* è concepito come un viaggio interattivo attraverso il mondo alpino. A differenza dei musei tradizionali che si concentrano sull’osservazione di oggetti, questo percorso utilizza scenografie immersive, dispositivi sensoriali e prove interattive per stimolare il coinvolgimento attivo dei visitatori.

Le prime sei sale del percorso introducono tematiche fondamentali quali orientamento, meteorologia, fauna alpina, rischio ambientale, sicurezza e vita in quota. Ciascuna sala propone un’attività diversa, combinando suoni, luci, supporti touch, elementi tattili e piccole sfide fisiche. L’obiettivo è permettere ai ragazzi di esplorare l’ambiente alpino attraverso i sensi e il movimento, costruendo un bagaglio di conoscenze che non rimanga astratto, ma sia radicato nell’esperienza diretta.

In questo contesto, la Sala 7 non rappresenta una semplice conclusione, ma un punto di svolta: un luogo in cui le informazioni raccolte nelle sale precedenti vengono trasformate in capacità di scelta, collaborazione e responsabilità.

## 1.9 La Sala 7: Dalla Narrazione all’Azione

La Sala 7 costituisce lo spazio più concettuale dell’intero percorso *Le Alpi dei Ragazzi*. A differenza delle sale precedenti, dedicate alla scoperta e all’esplorazione, essa funziona come un **laboratorio didattico** in cui i visitatori sono invitati ad agire direttamente sulle dinamiche dell’habitat.

Il passaggio dalla narrazione all’azione è un elemento chiave della museologia contemporanea: dopo aver osservato, ascoltato e vissuto situazioni simboliche, il visitatore è incoraggiato a trasformare la propria comprensione in decisioni. La Sala 7 è stata progettata proprio per questo scopo: insegnare che l’equilibrio ambientale non è un insieme di nozioni, ma un problema pratico che richiede coordinamento, riflessione e cooperazione.

### 1.9.1 Due Modalità di Funzionamento: Videoloop e Gioco

Il tavolo è progettato per operare in due modalità distinte, entrambe fondamentali nell’esperienza museale:

1. **Modalità Videoloop (Warning Stripes):** Quando non è in corso una partita, la superficie del tavolo proietta un video in loop realizzato da Aurora-Meccanica, ispirato al linguaggio delle *warning stripes*. Il contenuto grafico richiama segnali di pericolo, instabilità e allerta ambientale. Il visitatore percepisce immediatamente che sta entrando in uno spazio in cui si parla di rischi naturali, cambiamenti e vulnerabilità del territorio alpino.
2. **Modalità Gioco Interattivo:** Quando il personale museale attiva il gioco tramite il pannello fisico, il videoloop lascia posto alla mappa interattiva dell’habitat. L’atmosfera della sala cambia radicalmente: ciò che prima era un flusso narrativo astratto diventa un dispositivo partecipativo. Le risorse si animano, il mondo prende vita e i Custodi sono chiamati a intervenire per modificare il corso degli eventi.

Il passaggio tra le due modalità non è solo tecnico ma narrativo. Esso crea un legame simbolico tra il rischio ambientale (*warning stripes*) e la responsabilità del visitatore (Custodi), trasformando un tema complesso in un’esperienza di cui il giocatore si sente parte.

## 1.10 Edutainment Applicato alla Sala 7

La Sala 7 rappresenta un esempio paradigmatico di edutainment museale applicato. In essa formano un tutto coerente:

- l'architettura dello spazio,
- la relazione tra contenuti e tecnologia,
- la dimensione collaborativa del gioco,
- la metafora narrativa dei quattro Custodi,
- il linguaggio visivo del percorso museale,
- la struttura del tavolo come interfaccia phygital.

In questo ambiente il visitatore diventa protagonista attivo: manipola tessere fisiche, osserva come le sue scelte modifichino la mappa e dialoga con gli altri partecipanti per costruire una strategia comune. Le risorse non sono numeri astratti ma forme, colori, animazioni che pulsano, si trasformano, si espandono o si riducono in base a decisioni condivise.

L'esperienza attiva sistemi cognitivi e affettivi simultanei: la dimensione ludica riduce la distanza emotiva rispetto ai contenuti complessi, mentre la simulazione ambientale ne aumenta la profondità concettuale. La costruzione di senso avviene così nell'intreccio tra corpo, immagine e narrazione.

## 1.11 Collaborazione con AuroraMeccanica: Una Cornice Professionale per la Ricerca Progettuale

Un elemento fondamentale per comprendere la genesi de *I Custodi dell'Heritage* è il ruolo svolto da **AuroraMeccanica**, studio torinese specializzato in installazioni interattive, museografia multimediale e narrazioni digitali. Lo studio collabora da anni con il Forte di Bard per la realizzazione di contenuti multimediali, scenografie interattive e dispositivi audiovisivi che compongono il percorso *Le Alpi dei Ragazzi*. La partecipazione attiva di AuroraMeccanica ha fornito una cornice metodologica e tecnica decisiva per il progetto, permettendo di coniugare il lavoro di ricerca universitaria con l'operatività richiesta da un contesto museale reale.

Il contributo dello studio ha operato su due livelli principali: una **supervisione artistica** che ha garantito la coerenza estetica dell'installazione con il percorso museale, e un **supporto tecnico** che ha reso possibile la realizzazione di una struttura

phygital robusta, capace di sostenere centinaia di interazioni quotidiane da parte di un pubblico eterogeneo.

### **1.11.1 Supervisione estetica e direzione artistica**

Dal punto di vista estetico, AuroraMeccanica ha orientato le scelte grafiche, cromatiche e formali che caratterizzano la mappa dell'habitat, le interfacce e il videoloop delle *warning stripes*. La definizione dello stile grafico è stata guidata dalla volontà di mantenere un linguaggio coerente con il resto del percorso museale, lavorando su:

- palette cromatiche in continuità con le sale precedenti;
- iconografie semplici e leggibili, adatte al target 6–14;
- animazioni fluide e simboliche, più evocative che realistiche;
- una mappa “flat” bidimensionale ad alta leggibilità da ogni punto del tavolo.

La presenza costante di un team di designer e illustratori esperti ha permesso al gioco di assumere un'identità visiva chiara e immediatamente riconoscibile, evitando sia l'eccesso di complessità grafica sia un'eccessiva semplificazione che avrebbe compromesso la percezione dei cambiamenti ambientali.

### **1.11.2 Supporto tecnico e infrastruttura museale**

Sul piano tecnico, AuroraMeccanica ha fornito l'infrastruttura necessaria per la progettazione del sistema di interazione basato su RFID, antenne Nexmosphere e proiezione 4K. La scelta di utilizzare tecnologie già presenti nel museo — in particolare antenne XR/XN e pannelli di controllo fisici — ha garantito continuità tecnologica e facilitato la manutenzione.

Lo studio ha inoltre contribuito alla definizione dei limiti fisici e strutturali dell'installazione:

- il posizionamento delle antenne sotto la superficie ellissoidale;
- la progettazione del pannello fisico con quattro pulsanti hardware;
- la calibrazione della proiezione zenitale;
- la definizione dei flussi operativi per il personale museale.

Durante le fasi di testing sul campo, AuroraMeccanica ha fornito supporto nella diagnosi dei malfunzionamenti hardware-software e nella revisione dei flussi interattivi, contribuendo in modo decisivo alla stabilità e alla robustezza del sistema finale.

### 1.11.3 Libertà progettuale e collaborazione come pratica di ricerca

Un aspetto particolarmente significativo della collaborazione è stato il livello di **libertà progettuale** concesso allo sviluppo del gioco. Pur operando all'interno di un percorso museale già definito, lo sviluppo di *I Custodi dell'Habitat* non è stato vincolato da un concept preesistente: è stato possibile progettare da zero le meccaniche, le carte, la mappa, la narrazione e l'intero modello interattivo.

Questo ha trasformato la tesi in un vero e proprio *progetto di ricerca applicata*, nel quale teoria e pratica si sono intrecciate. La collaborazione ha favorito un dialogo continuo tra competenze museografiche, game design, sviluppo software e pedagogia dell'apprendimento esperienziale, realizzando un processo di design iterativo che rappresenta a pieno titolo un caso studio di *design research* nel contesto museale.

## 1.12 Sintesi del Capitolo

Questo capitolo ha delineato il quadro teorico e culturale entro cui si colloca *I Custodi dell'Habitat*. La sua genesi è il risultato di un intreccio tra museologia contemporanea, teorie del gioco, pedagogia esperienziale e tecnologie interattive applicate. L'evoluzione del museo come ambiente partecipativo e multisensoriale, la potenza educativa dei serious games, il valore del pensiero sistematico e la specificità del contesto del Forte di Bard costituiscono il terreno concettuale su cui il progetto si è sviluppato.

La Sala 7 del percorso *Le Alpi dei Ragazzi*, con il suo tavolo interattivo bifunzionale, rappresenta il luogo ideale per applicare questi principi in un dispositivo educativo che unisce corpo, immagine e relazione. Le scelte di game design e le strutture narrative del gioco trovano origine in questa trama di riferimenti, resa operativa grazie alla collaborazione con AuroraMeccanica.

Nel capitolo successivo, tali principi teorici si tradurranno nella descrizione concreta del concept, delle meccaniche di gioco, della mappa interattiva e del sistema di carte che compongono l'esperienza *I Custodi dell'Habitat*.

# Capitolo 2

## “I Custodi dell’Habitat”: Dal Concept al Game Design Finale

Nel capitolo precedente sono state delineate le coordinate teoriche che fanno da sfondo al progetto “*I Custodi dell’Habitat*”: l’evoluzione del museo contemporaneo verso forme esperienziali e partecipative Bitgood, 2010; de Varine, 1980; Falk e Dierking, 2009; Hein, 1998; Rivière, 1978; Serrell, 1998, il ruolo dei *serious games* nei contesti educativi Abt, 1970; Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014; Gee, 2003; Hainey et al., 2010; Kiili, 2005; Prensky, 2001 e il posizionamento del Forte di Bard e del percorso “*Le Alpi dei Ragazzi*” all’interno di questo scenario.

Questo capitolo sposta l’attenzione dal *perché* al *come*: ricostruisce il processo progettuale che ha portato alla definizione del gioco installato nella Sala 7, dall’interpretazione del contesto museale e dei vincoli tecnologici, fino all’elaborazione del concept, delle meccaniche di gioco e del sistema di carte. In altre parole, il capitolo descrive come i principi educativi e le esigenze di edutainment illustrate nello *Stato dell’Arte* siano stati tradotti in una specifica esperienza ludica cooperativa, phygital e site-specific, in linea con le riflessioni sul museo come luogo di esperienza e interazione Falk e Dierking, 2009; Hein, 1998; Petrelli et al., 2013.

### 2.1 La Sala 7: soglia tra narrazione e azione

All’interno del percorso “*Le Alpi dei Ragazzi*”, la Sala 7 rappresenta l’ultima tappa dell’esperienza. Dopo aver attraversato le prime sei sale, in cui il visitatore è accompagnato in un viaggio narrativo e immersivo alla scoperta dell’ambiente alpino, delle sue sfide e dei suoi rischi, la sala conclusiva assume il ruolo di **soglia** tra il momento della fruizione e quello dell’azione.

A differenza delle sezioni precedenti, in cui prevale una dimensione esplorativa guidata (orientamento, prove fisiche e cognitive, simulazioni di situazioni in montagna), la Sala 7 è concepita come uno **spazio didattico trasversale**: un ambiente in cui i contenuti e le consapevolezze maturate lungo il percorso possono essere rielaborati, messi alla prova e, soprattutto, *agiti* in forma simbolica, in linea con una concezione del museo come luogo di apprendimento attivo e situato Falk e Dierking, 2009; Hein, 1998.

In questo senso, la Sala 7 non introduce un nuovo tema autonomo, ma funziona come **dispositivo di sintesi**: ciò che è stato osservato, ascoltato e sperimentato nelle prime sei sale trova qui una forma di esercizio pratico sotto forma di gioco cooperativo.

### 2.1.1 Un tavolo bifunzionale: dal videoloop alle pratiche di gioco

L'elemento centrale dell'allestimento della Sala 7 è un **grande tavolo ellissoidale** (circa 4 x 1,2 metri), predisposto fin dall'origine per ospitare contenuti proiettati. Questo tavolo svolge una funzione esplicitamente **bifunzionale**:

- **Quando il videogioco non è attivo**, la superficie ospita un *videoloop* dedicato alle *warning stripes*, un contenuto audiovisivo continuo che richiama visivamente il tema del rischio, dei cambiamenti ambientali e dei segnali di allerta. In questa modalità, il tavolo agisce come uno schermo orizzontale contemplativo, che prolunga e rafforza il messaggio delle sale precedenti.
- **Quando il gioco viene attivato**, il videoloop lascia spazio alla proiezione dell'ecosistema interattivo de *"I Custodi dell'habitat"*. La sala cambia ruolo: da spazio di osservazione diventa *laboratorio di pratica*, dove i visitatori, trasformati in giocatori, sono chiamati a intervenire direttamente sull'habitat simulato.

Questo passaggio non è solo tecnico, ma concettuale: le stesse superfici e le stesse tecnologie sostengono due regimi esperienziali diversi. Nel primo, il visitatore è esposto a un flusso di immagini che fungono da **warning** e da cornice simbolica. Nel secondo, il visitatore è posto in una posizione di **agency**: non si limita più a osservare segnali di pericolo, ma deve negoziare con gli altri le azioni da compiere per riportare l'habitat in equilibrio.

### 2.1.2 Ruolo didattico della Sala 7 nel percorso complessivo

In questa prospettiva, la Sala 7 assume pienamente il ruolo di **sala didattica del percorso**. La sua funzione non è introdurre nuovi contenuti informativi, ma:

- **Attivare** le conoscenze acquisite nelle prime sei sale, trasformandole in scelte operative all'interno di un sistema di regole;
- **Rendere esplicite** le relazioni di interdipendenza tra elementi dell'ecosistema (acqua, flora, fauna, presenza umana) attraverso le dinamiche di gioco;
- **Spostare l'attenzione** dalla dimensione individuale (la propria esperienza di visita) a quella collettiva (la necessità di cooperare per raggiungere un obiettivo comune);
- **Offrire un terreno di discussione** e negoziazione tra pari, in cui i concetti appresi (rischio, attenzione all'ambiente, limiti delle risorse) diventano oggetto di confronto esplicito.

In questo senso, *“I Custodi dell’Habitat”* è progettato come **dispositivo ponte** tra la dimensione narrativa/immersiva del percorso e una forma di apprendimento attivo basata su simulazione e decisione collettiva, in continuità con i modelli dell'apprendimento esperienziale e costruttivista Dewey, 1938; Kolb, 1984. Il gioco non è quindi un “extra” ludico, ma la naturale conclusione del viaggio didattico: un banco di prova in cui i visitatori possono verificare, in chiave simbolica, che cosa significa prendersi cura di un ecosistema alpino.

## 2.2 Vincoli e Opportunità Progettuali: Tavolo, Proiezione e Interazione

A partire dalla configurazione della Sala 7 e dalla presenza del tavolo bifunzionale, il progetto *“I Custodi dell’Habitat”* è stato sviluppato assumendo come punto di partenza una serie di **vincoli dati** (spazio, forma del tavolo, tecnologia di proiezione, standard interattivi del museo), interpretati non come semplici limiti ma come *occasioni* per definire un linguaggio ludico coerente con il contesto, secondo una logica di integrazione tra materiale e digitale già esplorata in altri progetti di heritage interaction Petrelli et al., 2013.

Nelle sezioni successive vengono analizzati:

- il ruolo del tavolo ellissoidale come dispositivo spaziale e metaforico;

- la scelta di una proiezione zenitale ad alta risoluzione per costruire un ecosistema “vivo” sulla superficie di gioco;
- l’adozione di un sistema d’interazione *phygital* basato su tessere RFID, antenne e porte Nexmosphere, in continuità con le altre installazioni del museo.

Questi elementi costituiscono l’ossatura materiale su cui si innesteranno, nei paragrafi successivi, il concept narrativo dei quattro Custodi, la struttura delle meccaniche cooperative e il sistema di carte che governa l’equilibrio dell’habitat.

### 2.2.1 Il tavolo ellissoide come dispositivo spaziale

All’avvio del progetto, uno degli elementi dati dalla committenza e dallo studio **AuroraMeccanica** era la presenza, al centro della sala, di un **grande tavolo ellissoide** di circa 4 metri per 1,2 metri.

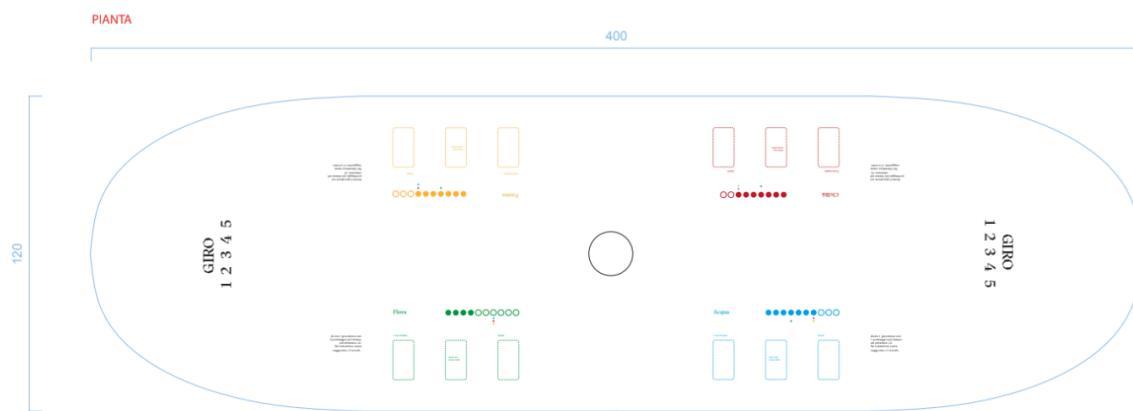


Immagine del tavolo ellissoide con proiezione dell’habitat

Figura 2.1: Il tavolo ellissoide (4 m x 1,2 m) come superficie di gioco e proiezione

La forma ellissoide ha agito contemporaneamente come **vincolo** e come **opportunità progettuale**:

- come *vincolo geometrico*, ha reso impraticabili layout tradizionali basati su griglie cartesiane o suddivisioni simmetriche rigidamente ortogonali, imponendo soluzioni radiali o concentriche;

- come *opportunità ergonomica*, ha favorito una disposizione circolare dei partecipanti attorno al tavolo, eliminando posizioni privilegiate e sostenendo l’idea di un gioco senza “capotavola”, in cui tutti i giocatori hanno pari accesso visivo e fisico allo spazio di gioco;
- come *metafora*, richiama una forma organica, quasi “cellulare”, che si presta a rappresentare l’idea di un ecosistema chiuso, interconnesso e in equilibrio dinamico.

L’interfaccia progettata è stata quindi progettata sin dalle prime fasi come una “mappa ellittica” in cui gli elementi grafici (acqua, foreste, animali, insediamenti) emergono e si trasformano seguendo la curvatura del tavolo, accentuando la sensazione di un microcosmo unitario.

### 2.2.2 Il sistema di proiezione zenitale

Per trasformare il tavolo in un vero e proprio “mondo vivo”, si è adottato un sistema di proiezione zenitale ad alta risoluzione. La scelta di un **proiettore 4K ad alta luminosità**, collocato in asse sopra il tavolo, risponde a esigenze precise:

- **Leggibilità**: un’elevata densità di pixel consente di rappresentare in modo chiaro elementi minimi (icona di un animale, dettagli di vegetazione) anche a distanza ravvicinata.
- **Copertura uniforme**: attraverso operazioni di warping e correzione trapezoidale è possibile adattare la proiezione alla forma ellittica della superficie, evitando deformazioni percepibili dai giocatori.
- **Immersività**: una proiezione “a volo d’uccello” sull’ecosistema pone i giocatori in una posizione privilegiata, quasi “divina”, coerente con l’idea di *custodi* che osservano e orchestrano i destini dell’habitat.

Il proiettore non è dunque un mero strumento di visualizzazione, ma il mediatore che rende visibile in tempo reale la trasformazione dell’ecosistema in risposta alle scelte dei partecipanti.

### 2.2.3 Interazione phygital: RFID, antenne e standard mu-seale

Fin dall’inizio, AuroraMeccanica e la committenza hanno espresso il desiderio di mantenere una **coerenza tecnologica** con il resto delle installazioni del museo,

molte delle quali già basate su **tag RFID** e **porte Nexmosphere** (serie XR/XN). Questa scelta ha avuto implicazioni progettuali importanti:

- **Robustezza e durabilità:** i tag RFID passivi integrati in tessere fisiche sono adatti all'uso intensivo tipico di un contesto museale ad alto afflusso.
- **Standardizzazione:** riutilizzare tecnologie già presenti semplifica manutenzione, calibrazione e gestione tecnica.
- **Identità interattiva:** il gesto di posare un oggetto fisico su un'antenna è ormai parte del “vocabolario” esperienziale del museo; riprenderlo garantisce continuità percettiva ai visitatori.

Su questa base prende forma la decisione di strutturare il gioco come un sistema **phygital** in cui:

- le **Tessere Azione** sono oggetti tangibili (legno) con un tag RFID univoco;
- ogni giocatore dispone di una **postazione** lungo il bordo del tavolo, dotata di antenna dedicata;
- il sistema di gioco riceve in tempo reale sia l'ID della tessera sia l'ID della porta, collegando così la carta al ruolo del giocatore;
- il feedback è visuale (modifica dei punteggi e dell'habitat proiettato) e sonoro/animato, chiudendo il ciclo azione–reazione.

La parte strettamente tecnica di questo sistema è approfondita nel capitolo successivo; in questo capitolo interessa sottolineare come questi vincoli abbiano guidato le scelte di game design fin dalle primissime fasi, in coerenza con altre esplorazioni di integrazione fra oggetti fisici e infrastrutture digitali in ambito museale Petrelli et al., 2013.

## 2.3 Genesi del Progetto: Metafora dell'Equilibrio Ecosistemico

### 2.3.1 Richiesta educativa e mandato progettuale

La richiesta alla base del progetto può essere sintetizzata in una domanda: *come trasformare in esperienza giocabile i concetti di equilibrio ecosistemico e sostenibilità appresi lungo il percorso museale?*

Gli obiettivi, concordati con la direzione del museo e con AuroraMeccanica, possono essere riassunti come segue:

- **Comprendere l'interdipendenza ecosistemica:** mostrare che acqua, vegetazione, fauna e attività umane sono legate da relazioni di causa-effetto non lineari, in linea con il pensiero sistematico applicato ai sistemi complessi Meadows, 2008.
- **Promuovere la cooperazione:** rendere evidente che la salvaguardia dell'habitat non è il risultato di azioni individuali isolate, ma di un lavoro di gruppo coordinato.
- **Stimolare il pensiero sistematico:** invitare a ragionare in termini di equilibrio dinamico, trade-off e conseguenze a medio-lungo termine Meadows, 2008.
- **Favorire una consapevolezza ambientale non moralistica:** evitare la dicotomia semplicistica “umano cattivo / natura buona”, proponendo invece l’essere umano come attore ambivalente ma potenzialmente responsabile.

In termini pedagogici, il gioco si colloca all’intersezione tra *apprendimento esperienziale*, *costruttivismo sociale* e *gamification educativa*: il sapere ambientale non viene presentato come contenuto da memorizzare, bensì come **conseguenza vis-suta** delle proprie decisioni Abt, 1970; Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014; Dewey, 1938; Gee, 2003; Kiili, 2005; Kolb, 1984; Prensky, 2001.

### 2.3.2 Scelta del formato: un gioco da tavolo cooperativo interattivo

Una prima biforcazione progettuale ha riguardato la scelta del formato. In alternativa a un’ulteriore installazione puramente digitale, si è optato per un **gioco da tavolo cooperativo interattivo**, in dialogo ideale con altri giochi cooperativi contemporanei come *Pandemic*, *Spirit Island* e *Forbidden Island* Leacock, 2008, 2010; Reuss, 2017.

Questa scelta risponde a due esigenze fondamentali:

1. **Preservare la dimensione sociale faccia-a-faccia:** la presenza di oggetti fisici (tessere, carte, tavolo) facilita lo scambio verbale, la gestualità condivisa, il contatto oculare e la negoziazione diretta tra i partecipanti, in linea con le riflessioni sui serious games come strumenti di apprendimento sociale Connolly et al., 2012; Gee, 2003; Hainey et al., 2010.

2. **Delegare al digitale la gestione della complessità:** il sistema software si occupa di applicare le regole, aggiornare i punteggi e rendere visibili le conseguenze sull’ecosistema; i giocatori possono concentrarsi sulle decisioni e sulle relazioni.

Il risultato è un’esperienza **ibrida** in cui il corpo e il dialogo restano centrali, mentre il livello ecologico-sistemico è incarnato dalla mappa proiettata, che evolve e “risponde” alle azioni del gruppo.

### 2.3.3 La metafora dei Custodi e l’obiettivo di equilibrio perfetto

Fin dalle prime fasi si è sentita la necessità di una metafora narrativa semplice ma potente. Nasce così l’idea dei **quattro Custodi dell’Habitat**, spiriti o figure simboliche che proteggono:

- l’**Acqua**;
- la **Flora**;
- la **Fauna**;
- la **Civiltà**.

I giocatori non competono tra loro: sono corresponsabili di una stessa missione, il **ripristino dell’equilibrio** di un mondo in crisi. L’obiettivo condiviso, esplicitato nel regolamento, non è “fare più punti degli altri”, ma portare *tutte e quattro* le risorse al valore target di **10**.

Dal punto di vista concettuale, questo obiettivo numerico rappresenta una semplificazione del concetto di *capacità portante* (*carrying capacity*) e di equilibrio dinamico dei sistemi complessi Meadows, 2008: superare il 10 non porta beneficio addizionale; al contrario, il sistema premia l’equilibrio e non la crescita illimitata di una singola componente.

## 2.4 Ricerca Preliminare: Giochi e Installazioni di Riferimento

### 2.4.1 Analisi di giochi da tavolo cooperativi e gestionali

Prima di definire le meccaniche specifiche, il team di progettazione ha condotto una **ricognizione sistematica** del panorama ludico, concentrandosi su:

- **Giochi cooperativi di gestione risorse:** *Pandemic, Spirit Island, Forbidden Island, Catan* Leacock, 2008, 2010; Reuss, 2017; Teuber, 1995.
- **Giochi con mondo dinamico modulare:** *Carcassonne, Isle of Skye, Dorfro- mantik, Suburbia* Interactive, 2022; Pfister e Walker-Harding, 2015; Vacarrino, 2012; Wrede, 2000.
- **Giochi e installazioni a tema ambientale:** *Connected Worlds, Biodiversity Game, Green Team Game, Water Wise Challenge* Design I/O e New York Hall of Science, 2015; Various, 2000, 2010a, 2010b.

Da questa analisi emergono alcuni pattern rilevanti, in linea anche con la letteratura sui serious games Abt, 1970; Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014; Gee, 2003; Hainey et al., 2010; Kiili, 2005; Prensky, 2001:

- la **complementarità dei ruoli** come chiave per generare cooperazione autentica;
- l'utilizzo di **feedback visivi immediati** per rendere percepibili gli effetti delle decisioni;
- l'efficacia dei sistemi basati su **trade-off** (costi–benefici) nel comunicare la complessità delle scelte ambientali;
- il valore di mappe che si trasformano nel tempo, facendo percepire il mondo di gioco come un *organismo vivo*.

#### 2.4.2 Riflessione teorica: meccaniche e significato

Parallelamente all'analisi dei casi studio, il progetto si è appoggiato a riferimenti teorici sul game design e sui serious games Abt, 1970; Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014; Gee, 2003; Hainey et al., 2010; Kiili, 2005; Prensky, 2001. Ciò ha permesso di inquadrare le scelte meccaniche all'interno di un quadro concettuale che considera il gioco non solo come intrattenimento, ma come **artefatto culturale** capace di veicolare significati, favorire forme di agency e stimolare processi riflessivi.

Tabella 2.1: Alcuni giochi e installazioni di riferimento analizzati in fase di ricerca

<b>Titolo</b>	<b>Elemento chiave</b>	<b>Lezione progettuale per il nostro gioco</b>
<i>Pandemic</i> Leacock, 2008	Cooperazione contro minacce globali	Gestione di crisi collettive, necessità di coordinamento continuo
<i>Carcassonne</i> Wrede, 2000	Piazzamento tessere modulare	Evoluzione condivisa di un territorio, geometria emergente
<i>Spirit Island</i> Reuss, 2017	Ruoli asimmetrici, poteri unici	Specializzazione dei Custodi, interdipendenza forte
<i>Connected Worlds</i> Design I/O e New York Hall of Science, 2015	Ecosistemi collegati e interattivi	Feedback visivo immediato delle scelte sull'ambiente digitale
<i>Biodiversity Game</i> Various, 2000	Carte che alterano un ecosistema progettato	Traduzione di scelte simboliche in stati ambientali percepibili

## 2.5 Dal Prototipo “Valle dell’Equilibrio” ai “Custodi dell’Habitat”

### 2.5.1 Primi prototipi: punteggi globali e carte scenario

La prima incarnazione del progetto assume la forma di un gioco da tavolo analogico, provvisoriamente denominato **“La Valle dell’Equilibrio”** (e, in alcune varianti, *Global Shift*). La struttura di base prevedeva:

- un unico **Indicatore di Equilibrio** su scala 0–100 che sintetizzava lo stato di salute complessivo della valle;
- **Carte Scenario** che definivano condizioni iniziali climatiche, sociali ed ecologiche;
- ruoli come Guardiano delle Vette, Custode delle Foreste, Guardiano dei Fiumi, Mediatore delle Comunità;
- **Carte Azione** e **Carte Evento** in grado di aumentare o ridurre i Punti Equilibrio.

Questa soluzione, sebbene coerente con l’idea di una “valle globale”, si è rivelata problematica nei primi playtest interni:

- il punteggio unico risultava **tropppo astratto**, rendendo difficile per i partecipanti comprendere quali dimensioni dell'ecosistema fossero effettivamente in sofferenza;
- i ruoli apparivano **poco distintivi**: le azioni disponibili tendevano a convergere, con un conseguente appiattimento delle strategie;
- il feedback visivo, ancora limitato a un tracciato lineare, non contribuiva a rendere intuitivo il collegamento tra singole scelte e stato dell'ambiente.

### 2.5.2 La svolta: quattro risorse autonome e complementari

Per rispondere a queste criticità, il team ha operato una **ridefinizione radicale** del modello: al posto di un singolo indicatore, il sistema di gioco avrebbe gestito **quattro risorse indipendenti**, corrispondenti alle quattro dimensioni fondamentali dell'habitat:

1. **Acqua**;
2. **Flora**;
3. **Fauna**;
4. **Civiltà**.

Ogni giocatore diventa così custode esclusivo di una di queste risorse, con un tracciato punteggio autonomo. Questa trasformazione produce effetti notevoli:

- sul piano **comunicativo**, rende immediatamente leggibile “chi si occupa di cosa”;
- sul piano **meccanico**, introduce una forte interdipendenza: per far crescere una risorsa è spesso necessario “consumare” temporaneamente le altre;
- sul piano **visivo**, permette alla mappa proiettata di rappresentare in modo iconico l’evoluzione di ciascun pilastro (più foreste, più fauna, insediamenti più complessi, corsi d’acqua più rigogliosi).

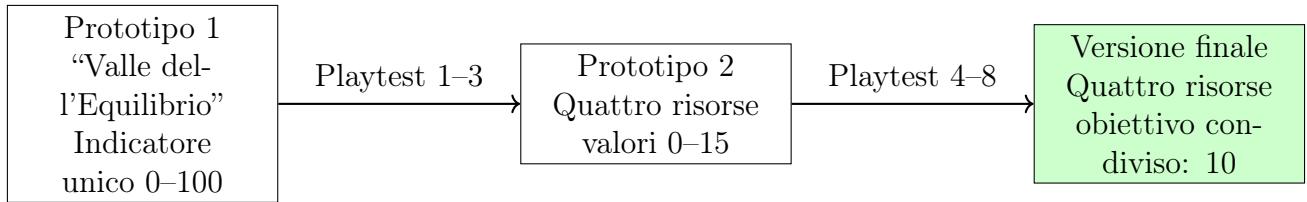


Figura 2.2: Evoluzione del concept: da un indicatore unico a quattro risorse cooperative

### 2.5.3 Il ruolo controverso della Civiltà

La decisione di includere la **Civiltà** come risorsa alla pari rispetto ad Acqua, Flora e Fauna è stata oggetto di discussione. Una possibile critica riguarda il rischio di rafforzare una visione antropocentrica, in cui l'umano appare “equivalente” agli elementi naturali anziché parte integrata degli stessi.

La scelta di mantenere la Civiltà come pilastro esplicito è però motivata da ragioni pedagogiche:

- **Evitare la retorica dell'umano come “nemico”:** presentare la presenza umana solo come fattore di disturbo avrebbe generato un messaggio moralistico, scarsamente produttivo.
- **Mettere in scena l'ambivalenza:** molte carte della Civiltà hanno costi ambientali (consumo d'acqua, impatto sulla fauna) ma anche benefici diffusi (ricerca scientifica, infrastrutture sostenibili).
- **Responsabilizzare i giocatori:** il Custode della Civiltà non è un sabotatore, ma un attore chiamato a bilanciare sviluppo e sostenibilità; attraverso di lui, il gioco suggerisce che *l'umano può essere parte della soluzione*, non solo del problema.

Questo assetto concettuale si riflette direttamente nella progettazione del mazzo di carte e delle relative narrazioni.

## 2.6 La Struttura del Gioco Finale

### 2.6.1 Ruoli dei giocatori: i quattro Custodi

Il gioco è pensato per **quattro partecipanti**, ognuno dei quali assume un ruolo stabile per tutta la partita:

- **Custode dell'Acqua** (tessere azzurre): governa il ciclo idrico (fiumi, laghi, precipitazioni, falda).

- **Custode della Flora** (tessere verdi): cura la vegetazione, dalle foreste alle piante pioniere.
- **Custode della Fauna** (tessere gialle): tutela le specie animali e la biodiversità.
- **Custode della Civiltà** (tessere rosse): rappresenta l'intervento umano (insediamenti, tecnologia, cultura, infrastrutture).

Ciascun giocatore dispone di un **mazzo di 10 Tessere Azione** uniche, per un totale di 40 azioni possibili nell'intera partita. Nessun Custode è autosufficiente: la progressione della propria risorsa dipende sempre, in qualche misura, dalle risorse degli altri. L'interdipendenza è dunque strutturale, non opzionale.

### 2.6.2 Obiettivo condiviso: raggiungere l'equilibrio perfetto

Tutte le risorse iniziano la partita dal valore base di **3**. L'obiettivo comune è portarle tutte al valore di **10** entro un massimo di **cinque giri globali** (per un totale di circa 20 turni effettivi). La scelta di un numero *fisso* di giri non è puramente tecnica, ma risponde a una duplice esigenza: da un lato introduce nel gioco la sensazione che il tempo stia scorrendo e che l'habitat non possa essere curato all'infinito, dall'altro permette di mantenere la durata della partita entro i **tempi museali** desiderati (in media circa **20 minuti**), compatibili con il flusso di visita e con la permanenza complessiva nella Sala 7 Bitgood, 2010; Falk e Dierking, 2009; Serrell, 1998. Sapere che il gruppo dispone soltanto di cinque cicli completi rende via via più percepibile una **urgenza** condivisa: mano a mano che i giri si esauriscono, le scelte dei giocatori acquistano peso, e il tavolo si trasforma in una sorta di conto alla rovescia cooperativo, favorendo condizioni di coinvolgimento simili allo *state of flow* descritto da Csikszentmihalyi Csikszentmihalyi, 1990.

Due regole sono particolarmente rilevanti:

- **Regola del massimo:** quando una risorsa raggiunge il valore 10, entra in uno stato di stabilità; non può più diminuire. Ciò garantisce un senso di avanzamento stabile: il gruppo percepisce di avere “messo in sicurezza” quella risorsa e può concentrarsi sulle altre ancora in difficoltà.
- **Vittoria o sconfitta collettiva:** se, prima della fine del quinto giro, tutte le risorse raggiungono 10, il gruppo vince; se anche solo una resta sotto il target, la partita è persa. Il successo o il fallimento sono, per definizione, condivisi.

### 2.6.3 Il core loop del turno

L'ordine di gioco è fisso e rispecchia simbolicamente una sequenza "naturale": **Acqua** → **Flora** → **Fauna** → **Civiltà**. In ciascun turno individuale, le fasi sono:

1. **Pesca**: il giocatore pesca fino ad avere tre tessere in mano.
2. **Scelta**: tra le tre tessere, ne seleziona una da giocare e ne scarta una. Questa scelta introduce un elemento di *hand management* e di pianificazione nel tempo: la carta scartata è un'opportunità rinviata o perduta.
3. **Azione**: la tessera scelta viene posata sull'antenna del proprio ruolo. Il sistema legge il tag RFID, verifica la coerenza con il turno corrente e applica costi e benefici.
4. **Feedback**: i punteggi delle risorse vengono aggiornati in tempo reale e la mappa proiettata mostra l'effetto dell'azione (pioggia, crescita di alberi, apparizione di animali o edifici, ecc.).

Questa struttura semplice consente anche ai giocatori più giovani di comprendere rapidamente il flusso di gioco, pur mantenendo spazio per decisioni complesse e discussioni tra pari.

### 2.6.4 Catastrofi naturali e sfide cooperative

Per simulare la **volatilità** dei sistemi naturali e mantenere un buon ritmo ludico, al core loop vengono sovrapposte due famiglie di eventi:

- **Catastrofi naturali**: al termine del primo e del secondo giro globale, il sistema verifica condizioni predefinite ed eventualmente attiva una catastrofe (es. alluvione, siccità prolungata). Tipicamente, le risorse che superano una certa soglia vengono riportate al valore 3. Questo impedisce strategie di "rush" su una sola risorsa e costringe il gruppo a ragionare sull'equilibrio complessivo, non sulla crescita incontrollata di un singolo indicatore.
- **Sfide cooperative**: dal secondo giro in poi, a inizio round può essere attivata una sfida comune (es. "Portare la Fauna a 7 entro questo giro"). Se la sfida è completata, il gruppo ottiene bonus collettivi; in caso contrario, subisce penalità. Le sfide funzionano come *obiettivi secondari* che orientano temporaneamente le priorità del gruppo e favoriscono la pianificazione condivisa.

Nei primissimi prototipi, catastrofi e sfide erano inglobate in un'unica categoria di eventi “negativi”, percepiti spesso come punizioni arbitrarie. La loro separazione netta è uno dei risultati più importanti del processo di playtest (si veda Sezione 2.8): da un lato rimangono eventi che mettono alla prova la resilienza del sistema, dall'altro compaiono opportunità di collaborazione che premiano il coordinamento.

## 2.7 Il Sistema Costo–Beneficio delle Tessere Azione

### 2.7.1 Principi generali di bilanciamento

Il mazzo complessivo è composto da **40 Tessere Azione**, 10 per ciascun Custode. Ogni tessera rappresenta un intervento simbolico sull'habitat e presenta una combinazione di:

- **costi** (punti sottratti a una o più risorse);
- **benefici** (punti aggiunti alla propria e/o alle altre risorse);
- eventuali **condizioni o effetti speciali**.

Il sistema è costruito attorno a una logica di **equilibrio dinamico**: quasi tutte le carte generano un beneficio netto per il sistema, ma lo fanno attraverso redistribuzioni e sacrifici che costringono i giocatori a negoziare. In fase di bilanciamento, a partire dai fogli di lavoro (`carte_custodi.xlsx`) e da schemi di progettazione dedicati, è stata definita una sorta di *curva di potenza* implicita:

- effetti piccoli e senza costi sono rari e legati a condizioni specifiche;
- benefici elevati richiedono costi proporzionati o condizioni difficili da soddisfare;
- le carte che influenzano più risorse contemporaneamente hanno costi più alti o effetti collaterali.

### 2.7.2 Carte ordinarie: trade-off localizzati

La maggior parte delle carte appartiene alla categoria delle **Carte Ordinarie**, caratterizzate da costi e benefici lineari. Un esempio emblematico è **Lacrime del Cielo** (Custode dell'Acqua):

- **Lacrime del Cielo**

Costo: 1 Fauna

Beneficio: 2 Acqua

Per far crescere l’Acqua, il Custode deve “prendere in prestito” un punto dalla Fauna, coinvolgendo direttamente il giocatore corrispondente. La decisione di giocare la carta diventa un’occasione di micro-negoziazione: “posso sottrarti un punto ora, se poi ti aiuto in un turno successivo?”.

Altri esempi di carte ordinarie, distribuiti nei quattro mazzi, sono:

- **Vena della Terra** (Acqua) – Costo: 1 Civiltà; Beneficio: 2 Acqua, 1 Fauna.
- **Germoglio Curioso** (Flora) – Costo: 1 Fauna; Beneficio: 1 Acqua, 2 Flora.
- **Spiritello dei Campi** (Fauna) – Costo: 1 Flora; Beneficio: 1 Acqua, 2 Fauna.
- **Mani del Creatore** (Civiltà) – Costo: 1 Flora; Beneficio: 2 Civiltà.

In tutti questi casi la carta rende esplicita una relazione ecologica o socio-ecologica (legame tra vegetazione e fauna, costo ambientale dello sviluppo tecnologico, funzione regolatrice dell’acqua), evitando di separare meccanica e messaggio.

### 2.7.3 Carte condizionali: dipendenze tra risorse

Un secondo gruppo importante è costituito dalle **Carte Condizionali**, il cui effetto si attiva solo se una certa condizione è soddisfatta. Esempi significativi:

- **Goccia Magica** (Acqua)

Costo: –

Beneficio: 3 Acqua

Condizione: Civiltà deve avere almeno 5 punti.

- **Seme Miracoloso** (Flora)

Costo: –

Beneficio: 3 Flora

Condizione: Acqua deve avere almeno 5 punti.

- **Cucciolo Rare** (Fauna)

Costo: –

Beneficio: 3 Fauna

Condizione: Flora deve avere esattamente 5 punti.

- **Mani del Creatore** (variante Civiltà)

Costo: –

Beneficio: 3 Civiltà

Condizione: Fauna deve avere 5 punti.

Queste carte hanno due funzioni principali:

1. incentivano la **cooperazione strategica**: i giocatori devono aiutarsi reciprocamente a raggiungere le soglie richieste;
2. introducono una **temporalità** nelle decisioni: alcune carte sono vantaggiose solo se giocate nel “momento giusto”, invitando a coordinare il timing delle giocate.

#### 2.7.4 Carte “Più alto”: redistribuzione solidale

Un terzo gruppo di carte, presente in ogni mazzo, utilizza il meccanismo del **costo dalla risorsa attualmente più alta** (“Più alto”). Ad esempio:

- **Specchio del Cielo** (Acqua)

Costo: 3 punti dalla risorsa con valore più alto

Beneficio: 3 Acqua, +1 a Flora, Fauna, Civiltà.

- **Velo del Mondo** (Flora)

Costo: 3 dalla risorsa più alta

Beneficio: 3 Flora, +1 alle altre risorse.

- **Lupo Solitario** (Fauna)

Costo: 3 dalla risorsa più alta

Beneficio: 3 Fauna, +1 alle altre risorse.

- **Alba della Saggezza** (Civiltà)

Costo: 3 dalla risorsa più alta

Beneficio: 3 Civiltà, +1 alle altre risorse.

In queste carte l’idea è che chi “sta meglio” in quel momento è chiamato a sostenere il resto del sistema, ottenendo in cambio un beneficio distribuito. Si tratta di una **meccanica di redistribuzione solidale** che rende visibile il principio secondo cui la prosperità di un elemento dell’ecosistema può e deve essere messa a servizio degli altri.

### 2.7.5 Carte speciali casuali

Ogni mazzo contiene anche una carta “Special” con effetto aleatorio, ad esempio:

- **Salto del Titano** (Acqua);
- **Danza dei Petali** (Flora);
- **Alleanza Antica** (Fauna);
- **Rifugio Sacro** (Civiltà).

Tutte condividono la stessa struttura:

- Costo: –
- Beneficio: valore casuale tra  $-3$  e  $+3$  sulla risorsa del Custode.

Queste carte introducono un elemento di **imprevedibilità controllata**: possono rappresentare eventi fortuiti, crisi inattese o scoperte improvvise. Il gruppo è chiamato a gestire il rischio, decidendo se e quando giocarle in base alla situazione globale dell’habitat.

### 2.7.6 Carte ad effetto sistematico

Alcune carte, infine, hanno benefici distribuiti simmetricamente sulle altre risorse, al prezzo di un costo concentrato sulla propria. Esempi:

- **Fiume Cantante** (Acqua) – Costo: 3 Acqua; Beneficio:  $+2$  Flora,  $+2$  Fauna,  $+2$  Civiltà.
- **Albero Secolare** (Flora) – Costo: 3 Flora; Beneficio:  $+2$  Acqua,  $+2$  Fauna,  $+2$  Civiltà.
- **Canto Primordiale** (Fauna) – Costo: 3 Fauna; Beneficio:  $+2$  Acqua,  $+2$  Flora,  $+2$  Civiltà.
- **Tempio del Sapere** (Civiltà) – Costo: 3 Civiltà; Beneficio:  $+2$  Acqua,  $+2$  Flora,  $+2$  Fauna.

Sono carte di **altruismo radicale**: il giocatore sacrifica una porzione significativa della propria risorsa per far compiere un balzo in avanti all’intero sistema. Dal punto di vista educativo, queste carte aprono naturalmente a discussioni sul sacrificio, sulla cura dell’altro e su decisioni che non massimizzano il proprio vantaggio immediato.

## 2.8 Iter di Prototipazione e Playtest

Il passaggio dai primi schizzi concettuali alla versione definitiva del gioco è stato accompagnato da un processo di playtest articolato in più fasi, con obiettivi differenti. Ogni ciclo di test ha messo in luce criticità e possibilità, guidando modifiche alle regole, al bilanciamento delle carte, alla durata della partita e persino alla nomenclatura narrativa, in linea con le raccomandazioni della letteratura sull'uso dei giochi in contesti educativi Connolly et al., 2012; Hainey et al., 2010.

### 2.8.1 Playtest interni: prototipi analogici e bilanciamento grezzo

Le prime sessioni di prova sono state condotte internamente, utilizzando **prototipi analogici** su carta e cartoncino, privi ancora di qualsiasi componente digitale. In questa fase l'obiettivo principale era:

- verificare la **chiarezza delle regole** di base;
- individuare carte **troppo deboli** o **troppo forti**;
- testare la **leggibilità del sistema costo–beneficio**;
- osservare il livello di **coinvolgimento** suscitato dall'idea generale di gioco.

Durante queste sessioni, annotate nei documenti di lavoro (*Storia del gioco, bilanciamento\_design*), sono emersi diversi problemi ricorrenti:

- alcune carte venivano giocate praticamente in ogni partita (perché “sempre vantaggiose”), altre non venivano mai scelte;
- alcune meccaniche avanzate (bonus da timing, effetti persistenti, bluff) risultavano interessanti in teoria ma eccessivamente complesse nella pratica;
- il tracciamento mentale di certi effetti “a lungo termine” generava confusione e rallentava il flusso della partita.

Il risultato di questa prima fase è stato un **ridisegno** di numerosi effetti e una progressiva semplificazione del set di regole, con l'obiettivo di mantenere profondità strategica senza superare il carico cognitivo adatto al target 6–14 anni.

## 2.8.2 Playtest con il target: interesse, comprensibilità, durata

Una seconda fase ha coinvolto **ragazzi e ragazze appartenenti al target** del museo, in contesti di prova controllati. Qui l'attenzione si è spostata su altre domande:

- Il gioco suscita **interesse spontaneo**?
- Le regole sono **comprendibili** senza una spiegazione eccessivamente lunga?
- Le dinamiche cooperative emergono naturalmente o è necessario forzarle?
- La **durata** della partita è adeguata ai tempi di fruizione museale?

Le osservazioni raccolte hanno portato a diversi aggiustamenti:

- la durata della partita è stata tarata intorno ai **20 minuti**, compatibile con il tempo medio di permanenza in sala e con i ritmi di visita Bitgood, 2010; Falk e Dierking, 2009; Serrell, 1998;
- alcuni nomi delle carte e relative descrizioni narrative sono stati modificati per essere più evocativi e immediati (ad esempio, l'enfasi su metafore come “Cristallo d’Acqua”, “Seme Miracoloso”, “Alleanza Antica”);
- le carte “Special” casuali sono state definite e rifinite partendo dalle reazioni dei giocatori: l’alternanza tra momenti di controllo e momenti di rischio è risultata motivante, purché il numero di carte aleatorie restasse contenuto.

In queste sessioni è emersa anche la **necessità di rendere più visibile** il legame tra carte e mappa: molti giovani giocatori tendevano inizialmente a guardare solo i numeri, tralasciando l’ecosistema proiettato. Ciò ha influito direttamente sulle scelte di design della mappa (Sezione successiva).

## 2.8.3 Playtest con proiezione: mappa, feedback visivi e medaglione centrale

Le ultime fasi di test si sono svolte direttamente con il **gioco proiettato sul tavolo** della Sala 7, utilizzando il proiettore 4K e un set di tessere RFID già definitivo. In questo contesto si è lavorato su:

- coerenza e **tempistica** dei feedback visivi;

- leggibilità della mappa da tutti i lati del tavolo;
- funzionamento e chiarezza del **medaglione centrale** come indicatore sintetico di equilibrio.

La rappresentazione della mappa ha attraversato diversi stadi concettuali: da un’ipotesi iniziale di **mondo verticale** (simile a una sezione di paesaggio) a soluzioni più complesse, quasi “alla Penrose”, fino ad approdare a uno **stile 2D flat** con forte caratterizzazione iconica. Un passaggio cruciale è stata l’introduzione di una **struttura specchiata**: il tavolo viene idealmente diviso in due metà, ognuna con il proprio spazio di gioco e un riquadro “zoom” delle quattro risorse, così da garantire una buona leggibilità da ogni lato.

Lo sfondo è concepito come un unico grande ambiente naturale che “abbraccia” tutto il tavolo e contiene gli spazi dedicati alle risorse Acqua, Flora, Fauna e Civiltà. Le **mascotte** delle risorse, libere di muoversi nello spazio, contribuiscono a rendere più immediata l’associazione tra punteggio numerico e stato visivo dell’habitat.

Al centro del tavolo è presente un **medaglione** che si illumina e “prende vita” man mano che le quattro risorse si avvicinano all’equilibrio, fino a rappresentare visivamente lo *sblocco* finale quando tutte raggiungono il valore 10. Senza entrare ancora nei dettagli tecnici (affrontati nel capitolo successivo), qui è importante sottolineare la funzione pedagogica di questo elemento: un **feedback chiaro e immediato** sullo stato di salute complessivo dell’habitat, percepibile a colpo d’occhio anche dai visitatori che osservano senza giocare.

## 2.9 Meccaniche di Cooperazione e Interdipendenza

### 2.9.1 Negoziazione esplicita e implicita

L’insieme delle meccaniche descritte rende la cooperazione una **necessità strutturale** e non una semplice opzione. Le situazioni in cui le scelte di un Custode coinvolgono direttamente un altro (ad esempio, carte che consumano punti dalla risorsa altrui) innescano:

- **negoziazioni esplicite**: richieste dirette di consenso, proposte di scambi simbolici (“se mi concedi questo punto, nel prossimo turno ti aiuto con una carta che ti dà +2”), micro-accordi;
- **negoziazioni implicite**: lettura delle intenzioni degli altri, anticipazione di possibili mosse, valutazione dello “stato d’animo” del gruppo.

Queste dinamiche sono coerenti con il target d'età: per bambini e ragazzi, la dimensione relazionale e il confronto tra pari sono elementi centrali di motivazione e apprendimento, come evidenziato anche dagli studi sui serious games cooperativi Connolly et al., 2012; Hainey et al., 2010.

### 2.9.2 Interdipendenza tra ruolo, meccanica e narrazione

Ogni carta è accompagnata da una breve **nota narrativa** che spiega il senso ecologico o sociale del suo effetto. Ad esempio:

- **Grande Alluvione** (Acqua) – Costo: 1 Civiltà, 1 Flora; Beneficio: 3 Acqua. La spiegazione sottolinea come le alluvioni, pur distruggendo vegetazione e insediamenti, apportino nutrienti al suolo rendendolo fertile.
- **Colosso Industriale** (Civiltà) – Costo: 1 Acqua, 1 Fauna; Beneficio: 3 Civiltà. La nota richiama l'impatto delle grandi infrastrutture industriali sulla qualità delle acque e sugli habitat naturali.

La narrazione e la meccanica sono strettamente allineate: non vi è un “tema” sovrapposto a posteriori a un gioco astratto, ma un **messaggio educativo incorporato** nelle regole e nei trade-off che i giocatori sperimentano direttamente.

### 2.9.3 Meccaniche avanzate esplorate e scartate

Nel corso della progettazione sono state esplorate numerose varianti di meccaniche avanzate, organizzate in famiglie concettuali (bonus da timing, da collaborazione, da memoria, meta-bonus, effetti di bluff, scelte di posizionamento, ecc.). Molte di queste sono state testate in forma prototipale ma **non** incluse nella versione finale, per non elevare eccessivamente il carico cognitivo, in linea con il principio di accessibilità progressiva spesso richiamato nei contesti di game-based learning de Freitas e Maharg, 2014; Kiili, 2005.

Tra gli esempi sperimentati:

- **Bonus da Timing:** carte con bonus aumentato se giocate per prime o per ultime nel giro (es. “Se sei l'ultimo a giocare, raddoppia il bonus”).
- **Bonus da Ripetizione/Memoria:** carte in grado di ripetere l'effetto di una carta giocata in un turno precedente (es. “applica di nuovo il bonus di una tua carta passata”).

- **Effetti di Bluff/Scommessa:** carte che richiedevano una dichiarazione anticipata (es. “La mia risorsa crescerà almeno di 3”) con premio o penalità a seconda dell’esito.
- **Effetti Meta:** carte che premiavano lo stato complessivo del tavolo (es. “Se nessuna risorsa varia di più di 2 punti, tutti guadagnano +1”).

Queste idee sono state documentate e potrebbero essere riprese in eventuali estensioni o modalità “avanzate”. La versione installata al museo privilegia invece un equilibrio tra **semplicità di ingresso** e **profondità moderata**, in linea con il principio del “low threshold, high ceiling”.

## 2.10 La Mappa Interattiva come Dispositivo di Visualizzazione

La mappa proiettata sul tavolo non aspira a rappresentare un territorio realistico in scala, ma un **ecosistema simbolico** sufficientemente compatto da essere percepito nella sua interezza. Si tratta di un “mondo condensato” in cui:

- acqua, flora, fauna e civiltà sono distribuite in zone riconoscibili ma interconnesse;
- ogni risorsa dispone di una serie di **stati evolutivi** (da 0 a 10) che si riflettono in trasformazioni visive progressive;
- le modifiche sono locali ma **leggibili globalmente**: un aumento di Flora in una zona comporta più alberi, ma può anche attirare fauna o consentire l’espansione di insediamenti sostenibili.

Dal punto di vista grafico, la mappa adotta uno **stile 2D flat** coerente con il linguaggio visivo del percorso museale, con palette cromatica calibrata, forme semplificate e animazioni essenziali (pioggia, vento, movimento degli animali, luci nelle case). La mappa non è solo “sfondo” ma un vero e proprio **cruscotto ecologico** che restituisce, in forma narrativa, le conseguenze delle azioni del gruppo.

## 2.11 Sintesi: Coerenza tra Obiettivi Educativi e Scelte di Design

Il percorso descritto in questo capitolo mostra come *I Custodi dell’Habitat* sia il risultato di un dialogo continuo tra:

- **contesto istituzionale** (Sala 7 del percorso *Le Alpi dei Ragazzi*, identità tecnologica del Forte di Bard);
- **vincoli materiali** (tavolo ellissoidale, proiezione zenitale 4K, RFID e porte *Nexmosphere*);
- **obiettivi educativi** (comprendere l'interdipendenza ecosistemica, promuovere la cooperazione, sviluppare pensiero sistematico Meadows, 2008);
- **riferimenti teorici e pratiche di game design** (giochi da tavolo cooperativi, installazioni interattive su temi ambientali, teorie del bilanciamento Abt, 1970; Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014; Gee, 2003; Hainey et al., 2010; Kiili, 2005; Prensky, 2001);
- **iterazioni di prototipazione e playtest** che hanno progressivamente raffinato ruoli, regole, carte, mappa e feedback visivi.

L'esito è un'esperienza cooperativa **phygital** in cui:

- il tavolo diventa un ecosistema condiviso, visibile e manipolabile da tutti i lati;
- le tessere RFID, strumento di interazione intuitivo e fisico, incarnano scelte ecologiche e sociali;
- la mappa proiettata traduce in paesaggio l'andamento delle quattro risorse;
- la vittoria o la sconfitta del gruppo dipendono dalla capacità di bilanciare interessi, sacrifici e benefici in un tempo limitato, mantenendo nel contempo un adeguato livello di sfida e coinvolgimento Csikszentmihalyi, 1990.

Nel capitolo successivo, questa visione verrà approfondita dal punto di vista tecnico, analizzando in dettaglio l'architettura software, l'integrazione hardware (RFID, *Nexmosphere*), la realizzazione degli asset grafici e i meccanismi di aggiornamento in tempo reale della mappa.

# Capitolo 3

## Architettura Tecnica e Implementazione del Sistema Interattivo

Il presente capitolo descrive l'architettura completa dell'installazione *I Custodi dell' Habitat*, ricostruendo con precisione come il regolamento di gioco, le meccaniche cooperative e la dimensione phygital siano state tradotte in un sistema software e hardware robusto, scalabile e adatto a un utilizzo museale continuativo.

Il progetto unisce tre livelli di complessità:

1. **interazione fisica** tramite tessere RFID, antenne nascoste nel tavolo e pulsanti hardware integrati;
2. **simulazione digitale** tramite Unity, mappe animate, UI dinamiche e un sistema audio reattivo;
3. **logica di gioco modulare** composta da numerosi manager indipendenti che cooperano tramite eventi e pipeline di validazione.

La natura phygital dell'esperienza — dove ciò che il giocatore fa fisicamente sul tavolo si traduce in tempo reale in trasformazioni visive e sonore — richiede un'architettura rigorosa, con chiari confini di responsabilità tra moduli software, protezioni contro input indesiderati e un flusso dati affidabile tra hardware e logica di gameplay.

Questo capitolo è suddiviso in tre macro blocchi: (A) panoramica del sistema e struttura delle scene, (B) descrizione dei principali manager e pipeline degli input, (C) sistemi avanzati (Challenge, Mappe, Audio, Testing e manutenzione).

### 3.1 Panoramica del Sistema

L'installazione si fonda sulla cooperazione di quattro elementi chiave:

- **Hardware fisico** (tavolo, antenne RFID, pulsanti, proiettore 4K);
- **Software Unity** (scene, manager, animazioni, UI);
- **Logica di gioco** (turni, carte, sfide, catastrofi, risorse);
- **Rendering della mappa** (visualizzazione degli stati dell'habitat).

Il cuore del sistema è dunque una pipeline affidabile:

**Input fisico** → **SerialReader** → **TurnManager**  
→ **Resource/Challenge** → **UI + Mappa + Audio**

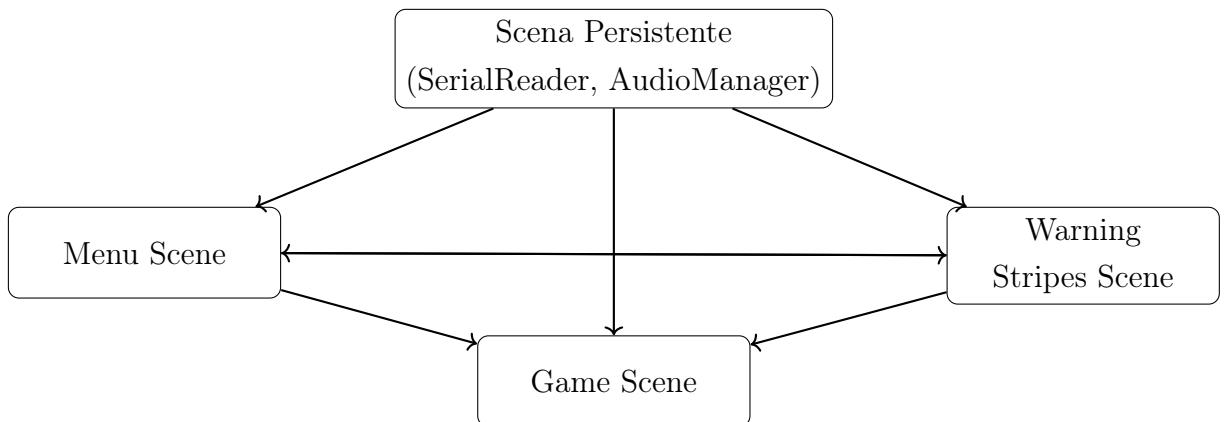
Ogni passaggio ha un ruolo preciso, evitando che errori hardware, letture “sponde” o azioni fuori turno disturbino la partita.

### 3.2 Architettura delle Scene Unity

Il progetto utilizza una struttura multi-scena per separare nettamente le modalità operative dell'installazione. Le scene principali sono:

- **Scena Persistente**: contiene i manager globali che non devono essere distrutti;
- **Menu Scene**: interfaccia operatore e selezione iniziale;
- **Warning Stripes Scene**: modalità “a riposo” con videoloop;
- **Game Scene**: il gioco vero e proprio.

#### 3.2.1 Diagramma TikZ della struttura delle scene



### 3.2.2 Scena Persistente

Questa scena viene caricata all'avvio dell'applicazione e non viene mai scaricata. Essa contiene:

- **SerialReader**: gestisce tutti gli input hardware in modo continuo;
- **AudioManager** e **MusicManager**: responsabili della colonna sonora persistente;
- **LanguageManager**: supporta la commutazione della lingua tramite pulsante fisico.

La persistenza garantisce che input e audio non vengano interrotti durante i cambi di scena.

### 3.2.3 Menu Scene

La scena di Menu funge da interfaccia per lo staff museale. Qui è possibile:

- passare alla scena Warning Stripes tramite il pulsante fisico 1;
- avviare la partita tramite il pulsante fisico 2;
- cambiare lingua tramite il pulsante fisico 4.

Non contiene logica di gioco: è uno strato di servizio.

### 3.2.4 Warning Stripes Scene

In assenza di giocatori, il tavolo proietta un videoloop didattico che richiama temi ambientali e segnali di attenzione. Lo script `VideoToGame` ascolta i pulsanti fisici e permette di ritornare al Menu o avviare il gioco.

### 3.2.5 Game Scene

La Game Scene è il cuore dell'esperienza interattiva. Qui si trovano:

- **Managers**: TurnManager, ResourceManager, ChallengeManager, CardManager, NotificationManager, MapManager;
- **World**: tutti gli asset della mappa, gli elementi animati e le postazioni dei quattro giocatori;

- **UI Layer**: notifiche, indicatori di risorsa, pannelli sfide, medaglione finale;
- **Audio**: voci fuori campo, SFX delle tessere, musica reattiva.

Questa scena integra tutte le logiche descritte nei paragrafi successivi.

### 3.3 Struttura dei Managers in Game Scene

La Game Scene contiene un nodo principale chiamato **Managers**, che raccoglie tutti i moduli funzionali del gioco. Ogni manager ha una responsabilità univoca, seguendo il principio della *Single Responsibility*.

La gerarchia reale è la seguente:

- **AudioManager** – gestione voci e SFX;
- **MusicManager** / **DynamicMusicResourceManager** – musica reattiva alle risorse;
- **PlayerManager** – gestione giocatori e ruoli;
- **ResourceManager** – valori delle quattro risorse e variazioni;
- **GameManager** – stato globale della partita;
- **CardManager** – applicazione degli effetti delle carte;
- **NotificationManager** – gestione messaggi UI;
- **MapManager** / **MapVisualizer** – visualizzazione mappa dinamica;
- **GameEndManager** – animazioni e UI di fine partita;
- **ChallengeManager** – gestione delle sei challenge dinamiche.

Ogni manager comunica con gli altri tramite:

- metodi pubblici,
- eventi C#,
- callback delegate,
- letture dai valori del ResourceManager.

## 3.4 World: Mappa, UI e Postazioni dei Giocatori

Il nodo **World** della scena contiene tutti gli elementi visivi e interattivi della mappa. È qui che la parte digitale incontra la parte fisica del tavolo.

### 3.4.1 Struttura principale del nodo World

- **UIManager**: pannelli, testi e icone delle risorse;
- **MappaOff**: stato iniziale semi-statico mostrato durante l'introduzione;
- **HandPlayers**: le quattro postazioni dei giocatori;
- **Effetti visivi delle risorse**: Acqua, Flora, Fauna, Civiltà (controllati da MapVisualizer);
- **Medaglione centrale**: animato in base allo stato globale dell'habitat;
- **Quad, AudioSfx, AudioVoice**: elementi di supporto;
- **NotificheUI, ImageContainer**: indicatori di punteggio e carte nei punti giusti del tavolo.

Le postazioni dei quattro giocatori (**ImageAcqua**, **ImageFlora**, **ImageFauna**, **ImageCiviltà**) corrispondono fisicamente ai quattro punti del tavolo dove sono montate le antenne RFID.

Ciò garantisce una perfetta corrispondenza tra:

- gesto fisico (posare una carta),
- input hardware (antenna nascosta),
- output digitale (mappa e UI nella zona corretta).

La gestione delle animazioni delle zone della mappa è realizzata tramite **ImageSequencePlayer**, che attiva o disattiva clip animate quando le risorse cambiano valori.

## 3.5 Il SerialReader: Filtro, Validazione e Ponte tra Mondo Fisico e Digitale

Il **SerialReader** è il componente più critico di tutto il sistema, poiché funge da mediatore tra l'hardware fisico (antenne RFID e pulsanti fisici) e la logica software

interna di Unity. La sua funzione non si esaurisce nella semplice lettura dei dati dalla porta seriale: esso implementa un complesso sistema di filtraggio, normalizzazione, bufferizzazione e validazione degli input, prevenendo errori che potrebbero compromettere la stabilità della partita.

Grazie a questo modulo, il gioco è resiliente a:

- letture duplicate della stessa carta;
- rimozioni fantasma;
- messaggi parziali o corrotti;
- inversione di ordine nei pacchetti;
- rumore di fondo su antenne sensibili;
- input non validi durante transizioni di scena;
- pressione simultanea di carte e pulsanti.

### 3.5.1 Architettura interna

Il funzionamento del `SerialReader` è basato su:

1. un thread dedicato alla lettura dalla porta seriale;
2. una *ConcurrentQueue* che accumula le righe di input;
3. un sistema a due fasi per ricostruire l'evento finale;
4. uno stack per ogni porta RFID;
5. un sistema di *pending data* per azzerare eventi incompleti;
6. un log persistente per debugging museale.

Il diagramma seguente mostra il flusso di un input RFID:

### 3.5.2 Protocollo a due fasi

Le antenne Nexmosphere non inviano un singolo pacchetto chiaro, ma due pacchetti distinti:

- il primo contiene **ID carta** e **tipo evento** (posizione o rimozione);

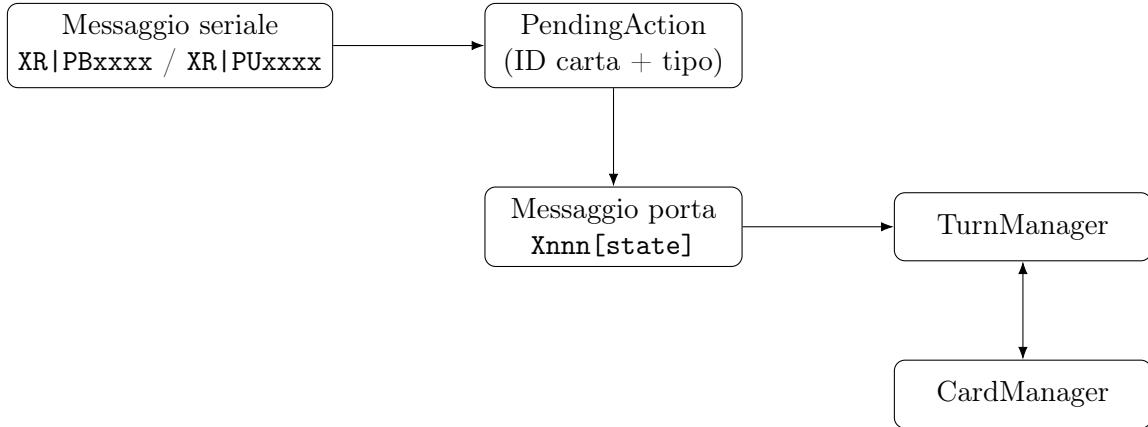


Figura 3.1: Pipeline di elaborazione dei messaggi RFID e validazione delle carte

- il secondo contiene **porta fisica** e **stato**.

Il `SerialReader` ricostruisce l'evento completo solo quando entrambe le informazioni sono arrivate e risultano coerenti.

### 3.5.3 Stack per porta: prevenzione degli errori più comuni

Per ogni antenna viene mantenuto uno stack locale:

- se arriva un PB (press) di una carta già presente nello stack, l'azione viene ignorata;
- se arriva un PU (pull) di una carta non in cima allo stack, l'azione viene ignorata;
- se una porta invia un evento di rimozione con stack vuoto, viene scartato come rumore.

Questo garantisce che:

- micro-movimenti delle tessere non generino doppi input;
- non venga mai rimossa una carta “fantasma”;
- l'ordine delle azioni rifletta sempre il comportamento fisico.

### 3.5.4 Gestione dei pulsanti fisici

I pulsanti fisici integrati nel tavolo vengono gestiti dal `SerialReader` come input speciali:

- Pulsante 1 → cambio scena Menu/Warning;
- Pulsante 2 → cambio scena Menu/Gioco;
- Pulsante 3 → funzione contestuale (skip intro, reset turno, restart game);
- Pulsante 4 → cambio lingua.

Il sistema distingue chiaramente:

- **pressione** (stato diverso da 0),
- **rilascio** (stato 0).

Solo il rilascio genera l'evento effettivo.

### 3.5.5 Integrazione con il TurnManager

Quando un input RFID completo viene validato, il `SerialReader` chiama:

```
TurnManager.ValidateCardPort(cardID, portID, actionPerformed)
```

Se l'input non è coerente con il turno corrente, il TurnManager lo rigetta e mostra una notifica.

Grazie a questo processo combinato, nessuna carta può essere giocata fuori turno o nella postazione sbagliata.

## 3.6 TurnManager: Controllo del Ritmo e della Sequenza di Gioco

Il `TurnManager` è responsabile dell'ordine dei turni, del flusso della partita, della validazione delle mosse e delle condizioni di vittoria e sconfitta.

### 3.6.1 Ruolo principale

- determina quale Custode deve giocare;
- riceve input filtrati dal `SerialReader`;
- verifica che la carta sia giocabile in quel turno;

- notifica eventuali errori (fuori turno, carta illegale);
- comunica con `CardManager` per applicare costi e benefici;
- aggiorna la UI (testi dei turni, notifiche);
- gestisce i cinque giri globali della partita.

### 3.6.2 Pipeline del turno

1. Avvio turno del Custode corrente;
2. attesa dell'input RFID tramite `SerialReader`;
3. verifica della porta;
4. verifica della validità della carta;
5. esecuzione dell'azione;
6. attesa della rimozione della carta (**tutti gli stack vuoti**);
7. passaggio al turno successivo.

### 3.6.3 Condizioni di endgame

La partita termina quando:

1. tutte le risorse raggiungono valore 10 → **vittoria**;
2. finisce il quinto giro globale → **sconfitta**;
3. una catastrofe porta una risorsa sotto 0 → **sconfitta immediata**.

Il `GameEndManager` coordina la UI finale.

## 3.7 ResourceManager: il Cuore Numerico dell'Ecosistema

Se la mappa proiettata rappresenta l'aspetto visibile dell'habitat, il `ResourceManager` ne costituisce l'apparato interno: è il modulo che mantiene, modifica e sorveglia i valori numerici delle quattro risorse (Acqua, Flora, Fauna, Civiltà), traducendo ogni scelta dei giocatori in una variazione concreta dello stato dell'ecosistema. Il suo

compito principale è garantire che queste risorse evolvano in modo coerente con le regole di gioco, rispettando limiti, condizioni e vincoli di bilanciamento.

L'intero flusso prende avvio quando il **CardManager** invia una richiesta di modifica: si tratta di una struttura che include i costi da sottrarre, i benefici da aggiungere, eventuali valori casuali associati alla carta giocata e regole speciali come l'effetto "risorsa più alta". Il **ResourceManager** elabora questa richiesta seguendo una sequenza ordinata, evitando che un'azione porti l'ecosistema in uno stato non ammesso. Prima di tutto verifica che i costi siano applicabili: se una risorsa si trova già al valore minimo, o se un costo rischia di portarla sotto zero, il sistema corregge automaticamente l'operazione mantenendo il limite inferiore. Successivamente vengono applicati i benefici: qualunque valore che ecceda la soglia di 10 viene bloccato, lasciando la risorsa nello stato di "equilibrio stabilizzato" che caratterizza il punteggio massimo. Questo garantisce che nessuna risorsa possa "impennarsi" oltre la capacità portante del sistema, preservando la coerenza ecologica dell'esperienza.

Durante questo processo, il **ResourceManager** genera una serie di notifiche verso gli altri moduli dell'installazione. Ogni volta che una risorsa cambia valore, vengono attivati eventi ai quali altri sistemi si iscrivono: il **MapVisualizer** aggiorna il paesaggio, il **DynamicMusicResourceManager** modifica l'intensità o la presenza dei layer musicali, il **ChallengeManager** valuta se la variazione influisce su una sfida attiva, e l'interfaccia UI rinfresca indicatori, icone e pannelli informativi.

Uno degli aspetti più delicati del **ResourceManager** riguarda la gestione degli effetti speciali delle carte. Alcune introducono valori casuali, altre richiedono condizioni sull'esatto valore di una risorsa, altre ancora attivano bonus o penalità solo se certe relazioni tra risorse sono soddisfatte (per esempio "la Flora deve essere almeno a 5" oppure "la Fauna deve essere la risorsa più alta al momento della giocata"). Il sistema tratta questi casi in modo uniforme: prima valuta la condizione, poi calcola il valore effettivo dell'effetto, quindi applica la variazione numerica nel rispetto dei vincoli strutturali. Questo approccio permette di aggiungere nuove carte o nuovi effetti senza dover modificare l'architettura interna, a beneficio della scalabilità futura.

Infine, il **ResourceManager** svolge un ruolo fondamentale anche nella percezione del ritmo di gioco. Poiché ogni modifica numerica si riflette immediatamente nella mappa e nella musica, il giocatore percepisce in modo immediato la conseguenza delle proprie scelte. Le risorse diventano così più di un semplice numero: si trasformano in un "organismo" che respira, reagisce, cresce o regredisce. Questa continuità tra logica numerica e rappresentazione audiovisiva è ciò che permette all'installazione di comunicare con chiarezza il messaggio educativo al centro del progetto: l'equilibrio

non è un valore statico, ma il risultato dinamico di decisioni interdipendenti.

## 3.8 CardManager: dal Tag RFID all’Effetto di Gioco

Se il **SerialReader** è il “traduttore” tra mondo fisico e digitale, il **CardManager** è il punto in cui l’azione simbolica associata a ogni tessera diventa operazione concreta sull’ecosistema.

Ogni tessera reale ha un tag RFID associato a un oggetto dati in Unity, uno **ScriptableObject** di tipo **ActionCard**. In questo oggetto sono codificati:

- l’ID univoco collegato al tag fisico;
- i costi e i benefici sulle quattro risorse;
- eventuali condizioni (per esempio: “attiva solo se l’Acqua è almeno a 5”);
- la presenza di componenti casuali (range da  $-3$  a  $+3$ );
- le regole speciali, come gli effetti che colpiscono la risorsa attualmente più alta;
- il testo narrativo, usato per la voce e per i messaggi di interfaccia.

Quando il **TurnManager** conferma che una tessera è stata giocata nel momento e nella postazione corretta, delega al **CardManager** l’applicazione dell’effetto. La sequenza è sempre la stessa: il **CardManager** riceve l’ID, recupera l’**ActionCard** corrispondente, valuta se le condizioni sono soddisfatte e costruisce una sorta di “lista di operazioni” da eseguire sul **ResourceManager**.

L’ordine con cui queste operazioni vengono applicate è stato progettato con attenzione. Prima vengono verificati i vincoli (ad esempio che i costi non portino una risorsa sotto lo zero), poi vengono sottratti i costi e infine aggiunti i benefici. Nel caso di carte casuali, il valore effettivo viene sorteggiato all’interno del range definito e registrato nel log, in modo da poter ricostruire a posteriori come si è evoluta una certa partita.

Alla fine del processo il **CardManager** non si limita ad aggiornare i numeri: notifica anche il sistema audio, la mappa e la UI. In pratica, da un singolo gesto fisico – la tessera posata su un’antenna – si innesta una catena di conseguenze coerenti: cambiano i valori delle risorse, la mappa si trasforma, si attivano animazioni e suoni, la challenge in corso aggiorna il proprio stato.

## 3.9 MapVisualizer: dalla Matematica al Paesaggio

Il `ResourceManager` mantiene una visione puramente numerica dell'ecosistema. Per il giocatore, però, l'esperienza passa prima di tutto dalla percezione visiva della mappa. Il compito del `MapVisualizer` è precisamente questo: tradurre i numeri in un paesaggio intuitivo.

Per ciascuna delle quattro risorse sono stati definiti quattro stati qualitativi:

1. **scarso** (0–3);
2. **medio** (4–6);
3. **ricco** (7–9);
4. **equilibrio** (10).

Ogni passaggio da una fascia all'altra scatena un piccolo “evento grafico”: compaiono nuovi alberi, i corsi d'acqua si ingrossano, aumentano le luci degli insediamenti, la fauna si anima di nuove presenze. Tecnicamente questo è realizzato tramite una serie di clip gestite da `ImageSequencePlayer`; concettualmente significa che l'habitat *risponde* in modo visibile alle scelte dei Custodi.

Il `MapVisualizer` riceve notifiche dal `ResourceManager` ogni volta che un valore cambia. Invece di aggiornare immediatamente ogni singolo elemento, accumula le modifiche e le applica con transizioni morbide, per evitare “salti” brutali della scena. Questo aspetto è particolarmente evidente quando una risorsa passa da scarso a ricco nel giro di pochi turni: la trasformazione è rapida ma sempre leggibile, quasi come una sequenza di time-lapse.

Al centro del tavolo, il **medaglione** sintetizza lo stato complessivo. Ogni volta che una risorsa raggiunge il valore 10, il medaglione si illumina con un pattern dedicato; quando tutte e quattro le risorse sono in equilibrio, l'oggetto entra in uno stato “sbloccato” con un'animazione finale che comunica chiaramente il successo della partita. In questo modo, anche un visitatore che osserva a distanza può capire a colpo d'occhio se l'habitat è in crisi o in equilibrio.

## 3.10 Sistema Audio: un Ecosistema anche Sonoro

Parallelamente alla mappa visiva, esiste un secondo strato di feedback: quello sonoro. Il sistema audio è costruito come un piccolo ecosistema musicale, nel quale ogni risorsa controlla porzioni diverse della colonna sonora.

L’**AudioManager** gestisce gli effetti puntuali e la voce narrante, mentre il **DynamicMusicResourceManager** si occupa dei layer musicali. Per esempio, l’Acqua attiva tessiture fluide e continue, la Flora aggiunge arpeggi e dettagli organici, la Fauna introduce pattern ritmici più dinamici e la Civiltà porta in scena timbri più elettronici e “costruiti”.

Quando una carta modifica le risorse, il **ResourceManager** notifica il **DynamicMusicResourceManager** che adegua il mix in modo graduale: alcuni strumenti vengono attenuati, altri si fanno più presenti, altre parti entrano o escono. Il giocatore non ascolta mai un “pezzo” statico, ma un paesaggio sonoro che respira insieme all’habitat proiettato sul tavolo.

Gli effetti sonori (SFX) scandiscono i momenti chiave: la conferma di una mossa, un errore di turno, l’arrivo di una catastrofe, il completamento di una challenge o la vittoria finale. Il **TurnAudioLibrary** organizza questi suoni in famiglie coerenti: ogni Custode ha una propria firma sonora, così come le sfide o gli eventi globali. L’obiettivo non è solo informare, ma anche dare corpo emotivo alle decisioni: un aumento di Fauna suona diverso da un’espansione della Civiltà, e questo contribuisce a rendere più immediato il legame tra azioni e conseguenze.

### 3.11 Challenge: obiettivi che cambiano il Ritmo

Il ciclo base del gioco – quattro turni per giro, cinque giri complessivi – potrebbe essere sufficiente a sostenere l’esperienza. Tuttavia, per introdurre variazioni di ritmo e dare al gruppo traguardi intermedi, è stato sviluppato il sistema delle **Challenge**.

Le Challenge sono classi autonome, tutte derivate da una stessa interfaccia gestita dal **ChallengeManager**. Dal punto di vista del design, funzionano come “missioni temporanee” che si innestano sopra l’andamento normale della partita: chiedono, per esempio, di portare una risorsa a una certa soglia entro la fine del giro, oppure di mantenere tutte le risorse entro un intervallo ristretto.

Il loro ciclo di vita è sempre lo stesso. All’inizio di un giro o di un turno particolare, il **ChallengeManager** istanzia la sfida prevista e ne chiama il metodo **Initialize()**, impostando i parametri in base alla fase della partita (per esempio soglie più permissive all’inizio e più severe verso la fine). La Challenge attiva il proprio pannello UI tramite il **ChallengeResourceUIController**: i giocatori vedono quale risorsa è coinvolta, qual è il target e in che arco di tempo va raggiunto.

Durante il giro, la Challenge non “sonda” continuamente lo stato del gioco, ma si limita a ricevere gli eventi **OnResourceChanged** che il **ResourceManager** emette ogni volta che un valore viene modificato. In questo modo conosce l’andamento dell’habitat senza introdurre logiche ridondanti.

Alla fine del giro, o quando scatta la condizione di verifica, la Challenge esegue `CheckCondition()`. Se la sfida è stata completata, applica una ricompensa (tipicamente un piccolo bonus distribuito su più risorse); in caso contrario introduce una penalità mirata, che costringe il gruppo a ricalibrare le proprie priorità.

Il risultato è che la partita non procede mai in modo perfettamente lineare: di tanto in tanto una Challenge chiede al gruppo di concentrarsi su una risorsa trascurata, o di contenere gli eccessi di una risorsa che sta crescendo troppo velocemente. Dal punto di vista educativo, questo sistema rende più evidente la natura dinamica dell'equilibrio ecosistemico.

### 3.12 Pannello dei Pulsanti Fisici: una Console Nasosta nel Tavolo

Accanto all'interazione dei visitatori con le carte, l'installazione prevede un **pannello hardware** dedicato allo staff museale. Si tratta di quattro pulsanti integrati direttamente nella scocca del tavolo: una sorta di console minima che permette di governare l'installazione senza bisogno di tastiera o mouse.

I pulsanti non dialogano con il gioco come se fossero carte “speciali”: il `SerialReader` li riconosce a livello di protocollo e li inoltra su un canale logico separato agli script `MenuGame`, `VideoToGame` e `GameManager`. In questo modo non esiste il rischio che un comando di servizio (per esempio un restart) venga confuso con un'azione di gioco o viceversa.

Il comportamento è volutamente semplice: il pulsante 1 commuta tra Menu e Warning Stripes, il pulsante 2 tra Menu e Game, il 3 svolge una funzione contestuale (skip dell'introduzione, reset del turno o riavvio della partita) e il 4 cicla tra le lingue disponibili. La scelta di eseguire il comando al *rilascio* del pulsante riduce i falsi positivi, soprattutto quando lo staff tiene premuto il tasto più a lungo per assicurarsi che il comando sia stato ricevuto.

### 3.13 Allineamento Phygital: un Tavolo che “Coincide” con la Proiezione

Uno dei principi che hanno guidato il progetto è stato quello di far coincidere il più possibile spazio fisico e spazio digitale. Ciascun Custode ha davanti a sé un'area proiettata che contiene la rappresentazione del mazzo, dello scarto, del tracciato

di punteggio e della zona in cui posare la carta. Esattamente sotto quella zona è collocata l'antenna RFID corrispondente.

Questa scelta riduce al minimo il carico cognitivo: i giocatori non devono imparare istruzioni astratte (“appoggia la carta in alto a sinistra”), ma semplicemente posare la tessera nel punto in cui la grafica suggerisce di giocare. Allo stesso modo, indicatori e notifiche appaiono vicino alla postazione del Custode interessato, evitando che il tavolo si trasformi in un collage di scritte sparse.

Anche la mappa centrale segue la stessa logica. Pur essendo bidimensionale e stilizzata, è divisa in quattro grandi zone che rimandano alle aree tematiche delle risorse e che sono specchiate rispetto all'asse lungo del tavolo, così che i giocatori di entrambi i lati possano leggerla senza difficoltà. Il risultato è un tavolo che si comporta come un oggetto unico, nel quale componenti fisici (legno, antenne, pulsanti) e componenti proiettate appaiono come parti di un solo artefatto.

### 3.14 Testing: dalla Simulazione al Contesto Museale

La robustezza dell'architettura non è solo una scelta progettuale, ma l'esito di un percorso di test articolato.

In una prima fase sono stati realizzati prototipi hardware con Arduino e lettori RC522, utili per esplorare la lettura RFID, le distanze operative e la gestione delle collisioni tra tag. Questa fase ha permesso di definire la geometria del tavolo e la posizione ottimale delle antenne.

Successivamente il sistema è stato migrato alle schede Nexmosphere, con l'implementazione del protocollo XR/XN e la verifica delle latenze in condizioni realistiche. Parallelamente, in Unity, il `SerialReader` è stato sottoposto a test intensivi con sequenze di input volontariamente “sporche”: carte mosse rapidamente, messaggi troncati, press e pull in ordine invertito. L'obiettivo era verificare che lo stack per porta e il meccanismo di pending gestissero in modo corretto gli scenari limite.

Una volta stabilizzata la parte tecnica, i test si sono spostati sul tavolo reale. Operatori museali e gruppi di bambini e ragazzi hanno giocato più partite complete, consentendo di misurare la durata effettiva (intorno ai 20 minuti), la comprensione dei feedback visivi e sonori, e l'impatto delle Challenge sul ritmo. Le osservazioni raccolte in questa fase hanno portato a piccoli aggiustamenti: ritocchi al bilanciamento delle carte, semplificazioni di alcune notifiche e ridefinizione di alcuni tempi di transizione della mappa.

### 3.15 Conclusion del Capitolo

Dal punto di vista tecnico, *I Custodi dell’Habitat* è il risultato di una combinazione di scelte architettoniche molto concrete e di esigenze pedagogiche altrettanto precise. Il **SerialReader** filtra il mondo fisico e protegge la partita da errori di lettura; il **TurnManager** organizza l’esperienza in una sequenza di turni chiara; il **CardManager** applica le regole del gioco collegando ogni tessera a un insieme di costi e benefici coerenti; il **ResourceManager** mantiene lo stato dell’ecosistema; il **MapVisualizer** e il sistema audio trasformano i numeri in un paesaggio visivo e sonoro; il **ChallengeManager** introduce obiettivi dinamici che mettono alla prova la cooperazione del gruppo.

Tutti questi componenti concorrono a un unico obiettivo: fare in modo che il tavolo ellissoidale della Sala 7 non sia solo uno schermo orizzontale, ma un dispositivo phygital in cui le decisioni dei visitatori prendono forma, diventano immagini, suoni, narrazione e – soprattutto – occasione di discussione sul significato di equilibrio ambientale.

# Capitolo 4

## Valutazione dell'Esperienza: Osservazione dei Visitatori, Questionari, Simulazioni

Dopo aver descritto il contesto teorico (Cap. 1), il concept e la progettazione del gioco (Cap. 2), e l'implementazione tecnica dell'installazione (Cap. 3), questo capitolo analizza la fase conclusiva del progetto: la valutazione dell'esperienza da parte dei visitatori e alcune prime simulazioni digitali a supporto del bilanciamento.

L'obiettivo è comprendere:

- come bambini, ragazzi e accompagnatori utilizzano il sistema di gioco;
- quali dinamiche cooperative emergono spontaneamente;
- quali elementi risultano più chiari o critici dal punto di vista dell'usabilità;
- quale percezione i visitatori sviluppano rispetto al tema dell'equilibrio ambientale;
- come il gioco si integra nei tempi e nel flusso complessivo di visita del museo;
- in che modo strumenti di simulazione automatica possano affiancare l'osservazione sul campo.

La valutazione è stata condotta attraverso una triangolazione di metodi, in linea con le raccomandazioni sulla valutazione dei serious games e delle esperienze interattive Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014; Serrell, 1998:

1. osservazioni dirette in sala durante le sessioni di gioco;
2. brevi interviste informali ai gruppi di visitatori e alle guide;

3. un questionario strutturato somministrato a un campione di visitatori;
4. alcune partite simulate tramite agenti artificiali, per esplorare win-rate e utilizzo delle carte.

## 4.1 Metodologia

### 4.1.1 Osservazione diretta

Le sessioni di gioco sono state osservate in diverse giornate di apertura al pubblico, in orari e condizioni di affluenza differenti. Sono stati coinvolti sia gruppi spontanei (famiglie, piccoli gruppi di amici, classi scolastiche), sia gruppi invitati per età omogenea per facilitare il confronto tra fasce (8–10, 11–13, oltre 14 anni).

L'osservazione è stata guidata da una *scheda di playtest* strutturata (adattata dalla *Guida Playtest* utilizzata in fasi precedenti del progetto), che prevedeva, tra gli altri, i seguenti indicatori:

- tempo necessario per comprendere le regole di base;
- necessità o meno dell'intervento della guida museale;
- livello di cooperazione e comunicazione tra i Custodi;
- capacità del gruppo di mantenere l'attenzione per tutta la durata prevista;
- attenzione alla mappa e ai feedback visivi rispetto ai soli punteggi numerici;
- fluidità dell'interazione fisica con il tavolo e le tessere RFID;
- eventuali momenti di frustrazione, disorientamento o abbandono della partita.

L'osservazione si è concentrata quindi sia su aspetti comportamentali (chi parla, chi guida le decisioni, chi resta in silenzio) sia su aspetti temporali (durata effettiva del turno, tempi morti, momenti di picco dell'attenzione), in continuità con le tradizioni di *timing and tracking* degli studi sui visitatori museali Bitgood, 2010; Serrell, 1998.

### 4.1.2 Interviste informali

Al termine o durante brevi pause della partita, ai gruppi è stato proposto un breve colloquio informale, condotto in forma dialogica e annotato dall'osservatore. Le domande chiave erano:

- “Cosa avete capito delle risorse dell’habitat?”
- “Qual è stata la scelta più difficile come squadra?”
- “La mappa vi ha aiutato a capire cosa succedeva?”
- “Quale ruolo di Custode vi è piaciuto di più e perché?”
- “Avete avuto la sensazione che la fortuna nella pesca delle carte contasse molto?”

Le risposte non sono state registrate in audio, ma sintetizzate in forma anonima, con particolare attenzione alle ricorrenze tematiche (es. richiami esplicativi all’*equilibrio*, al “lavorare insieme”, alla “fortuna/sfortuna”).

#### 4.1.3 Questionario strutturato

Per approfondire in modo più sistematico la percezione dell’esperienza è stato predisposto un questionario breve, ispirato a strumenti di valutazione di giochi educativi e installazioni digitali Hainey et al., 2010; Petrelli et al., 2013. Il questionario è stato somministrato, in forma cartacea o digitale, a un campione misto di giovani visitatori e, in alcuni casi, a guide ed educatori che avevano assistito a più partite.

La struttura includeva:

- alcune domande a scala Likert (1–5) su:
  - comprensione delle regole;
  - percezione della cooperazione;
  - grado di immersione e coinvolgimento;
  - percezione di imparare qualcosa sull’ambiente;
- domande aperte del tipo:
  - “Cosa ti è piaciuto di più del gioco?”
  - “Cosa cambieresti o miglioreresti?”
- due domande di verifica concettuale:
  - “Secondo te si può vincere aumentando solo una risorsa?”
  - “Cosa succede se una risorsa cresce troppo rispetto alle altre?”

Nella lettura dei dati si è preferito mantenere una scala qualitativa (“molti”, “la maggior parte”, “una minoranza”) anziché focalizzarsi su numeri assoluti, coerentemente con la natura esplorativa e formativa della valutazione.

#### 4.1.4 Simulazioni con agenti artificiali

Parallelamente ai test con i visitatori, è stata condotta una serie esplorativa di partite simulate, utilizzando agenti artificiali molto semplici (strategie greedy e semi-casuali) per:

- stimare in modo approssimato la probabilità di vittoria del gruppo in condizioni diverse;
- osservare quali carte tendono a essere giocate più spesso in strategie “miopi” rispetto a strategie più bilanciate;
- verificare la sensibilità del sistema rispetto alla fortuna nella pesca, al variare dell’ordine di gioco e dell’uso delle carte speciali casuali.

Queste simulazioni non hanno la pretesa di descrivere il comportamento umano reale, ma offrono una prima fotografia delle *curve di vittoria* e dell’impatto statistico di alcune scelte di design (ad esempio il numero di carte condizionali o con effetti casuali) che possono orientare future revisioni del bilanciamento.

## 4.2 Risultati dell’Osservazione

### 4.2.1 Comprensione delle regole e guida all’esperienza

La maggior parte dei gruppi è stata in grado di iniziare a giocare con sicurezza dopo la breve introduzione video e le prime indicazioni della guida museale. Il tempo necessario per “capire come funziona” il turno—pesca, scelta, posizionamento della carta, osservazione del risultato—si è mantenuto generalmente entro il primo giro completo di tavolo.

Due elementi hanno giocato un ruolo chiave:

- la presenza della **voce narrante** in-game, che scandisce le fasi e riduce il carico di spiegazioni a carico dello staff;
- il supporto della **guida**, che nei primi minuti aiuta a tradurre i simboli e i feedback numerici in indicazioni operative.

Dopo le prime mosse, molti gruppi hanno dichiarato di “non pensare più alle regole” ma soltanto alle decisioni strategiche, segno di una buona internalizzazione del *core loop* di gioco.

#### 4.2.2 Cooperazione, attenzione e gestione del tempo

L’osservazione ha evidenziato un livello di cooperazione elevato, soprattutto nei gruppi di età intermedia e più grande. Le frasi raccolte durante il gioco mostrano chiaramente momenti di pianificazione congiunta:

- “Se giochi quella carta ora, poi io posso aiutarti con la mia.”
- “Flora sta per scendere, serve qualcuno che la alzi.”
- “Aspetta, la Civiltà è già alta: rischiamo la catastrofe.”

Spesso, dopo qualche turno, emergono ruoli informali: chi tiene d’occhio i punteggi, chi propone strategie, chi controlla il tempo mancante. Dal punto di vista attentivo, molti gruppi hanno dichiarato di essersi “dimenticati dell’orologio” e di aver percepito la partita come molto immersiva. Questo fenomeno è interpretabile in chiave di *flow* ludico Csikszentmihalyi, 1990; Kiili, 2005.

Tale immersione, però, porta con sé una tensione rispetto ai **tempi museali**: l’installazione è progettata per partite di circa 20 minuti, compatibili con il percorso complessivo, ma in alcune occasioni la negoziazione tra i giocatori tende ad allungare i tempi, soprattutto quando il gruppo si appassiona alla partita o quando ci sono molte discussioni sulle carte condizionali. Ciò suggerisce che l’esperienza richiede un livello di concentrazione e impegno superiore rispetto a installazioni puramente contemplative: un aspetto positivo dal punto di vista educativo, ma da monitorare in relazione ai flussi di visita.

#### 4.2.3 Uso della mappa proiettata e dei feedback

All’inizio, diversi giocatori rivolgono l’attenzione soprattutto ai valori numerici delle quattro risorse. Dal secondo giro in poi, però, la **mappa proiettata** diventa progressivamente la principale fonte di comprensione:

- l’aumento della vegetazione viene subito associato alla crescita di Flora;
- la comparsa di nuovi animali rende tangibile la progressione della Fauna;
- i corsi d’acqua più estesi indicano il buon stato dell’Acqua;
- l’accensione delle luci nelle case e la complessità degli edifici segnala l’avanzamento della Civiltà.

Il **medaglione centrale** è stato percepito quasi unanimemente come un indicatore chiaro dell’avvicinamento alla vittoria: molti gruppi lo guardano regolarmente

per farsi un’idea rapida dello stato complessivo dell’habitat, confermando l’efficacia del dispositivo come “cruscotto” sintetico.

#### 4.2.4 Difficoltà e punti di frizione

Sono emerse alcune difficoltà ricorrenti:

- **gestione del tempo:** alcuni gruppi si dilungano molto nella negoziazione e rischiano di non concludere la partita nei tempi previsti dal percorso;
- **carte condizionali:** soprattutto i giocatori più giovani faticano inizialmente a comprendere l’importanza del “momento giusto” per giocare certe carte, anche se spesso imparano per tentativi;
- **sfide dinamiche:** una parte dei gruppi più piccoli tende a ignorare le Challenge, concentrandosi solo sull’obiettivo principale; al contrario, i gruppi più grandi le percepiscono come elemento stimolante di tensione;
- **percezione della fortuna:** la componente aleatoria legata alla pesca delle carte viene riconosciuta da molti giocatori; alcuni la vivono come elemento divertente e “emozionante”, altri come possibile fonte di frustrazione quando la partita viene percepita come “sfortunata” nonostante una buona cooperazione.

Nel complesso, tuttavia, tali criticità non compromettono l’esperienza, ma indicano spazi possibili di approfondimento e raffinamento delle regole.

### 4.3 Risultati del Questionario e delle Simulazioni

#### 4.3.1 Comprensione dell’equilibrio ecosistemico

Alla domanda concettuale “Si può vincere aumentando una sola risorsa?”, la grande maggioranza dei partecipanti ha risposto negativamente, spesso motivando la risposta con frasi come:

- “Se una risorsa è troppo alta arrivano le catastrofi.”
- “Bisogna tenerle tutte più o meno uguali.”
- “Serve equilibrio, non solo punteggi alti.”

Questo suggerisce che il messaggio chiave del gioco—non basta far crescere una singola componente, ma occorre bilanciare l’intero sistema—viene interiorizzato in modo esplicito.

#### 4.3.2 Percezione della cooperazione e del ruolo del gruppo

Alla domanda su quanto fosse importante collaborare per vincere, la grande maggioranza dei rispondenti ha indicato un livello alto o molto alto di importanza. Nelle risposte aperte compaiono frequentemente espressioni come:

- “Da soli non si vince.”
- “Se uno pensa solo alla sua risorsa, perdiamo tutti.”
- “Mi piaceva che ognuno aveva il suo compito ma dovevamo parlare.”

Molti giocatori dichiarano di essersi sentiti parte di un **gruppo**, non solo rappresentanti di una singola risorsa. La partita è descritta come “una cosa che facciamo insieme” e non come una competizione tra Custodi: un risultato coerente con gli obiettivi cooperativi del progetto.

#### 4.3.3 Coginvolgimento, immersione e richiesta di ricompense

Quasi tutti i rispondenti dichiarano di essersi divertiti e di aver trovato il gioco “stimolante” o “molto coinvolgente”. Alcuni sottolineano di aver provato un mix di *tensione* e *ansia positiva* legata sia al tempo limitato sia alla paura di far scendere troppo una risorsa.

In più di un questionario emerge il desiderio di una **ricompensa tangibile** associata alla vittoria: adesivi, piccoli gadget, una cartolina con il medaglione centrale, o una traccia digitale (es. un “badge” da mostrare alla classe). Questo suggerisce una possibile evoluzione verso sistemi di ricompensa simbolica, in linea con le pratiche di gamification educativa.

#### 4.3.4 Percezione della fortuna e risultati delle simulazioni

Sia dalle interviste sia dai questionari emerge la consapevolezza che la **fortuna nella pesca delle carte** abbia un ruolo non trascurabile. Alcuni giocatori la associano a momenti “epici” (pescare la carta perfetta all’ultimo turno), altri la vivono come elemento talvolta “ingiusto”.

Le simulazioni con agenti artificiali confermano che:

- il fattore casuale ha un impatto percepibile sul risultato della partita, ma
- la differenza tra strategie basate solo su giocate immediate e strategie che sfruttano meglio le carte condizionali e di redistribuzione è significativa: gli agenti “più attenti” alle condizioni di equilibrio ottengono tassi di vittoria sensibilmente maggiori rispetto agli agenti puramente casuali.

Questo supporta l'idea che il gioco non sia dominato dalla fortuna, ma lasci uno spazio effettivo alla competenza strategica e alla cooperazione del gruppo, pur mantenendo un certo margine di imprevedibilità.

## 4.4 Interpretazione dei Risultati

Nel complesso, i dati raccolti indicano che *I Custodi dell'Habitat*:

- comunica in modo chiaro il concetto di **equilibrio ecosistemico**, grazie alla combinazione di punteggi, catastrofi e feedback visivi;
- stimola una **cooperazione autentica**, non solo superficiale: i giocatori discutono, negoziano, si aiutano, si rimproverano e celebrano insieme la vittoria o l'eventuale sconfitta;
- richiede un livello di **attenzione e concentrazione** superiore a quello di molte installazioni museali di tipo più passivo, trasformando il visitatore da spettatore a *co-autore* dell'evoluzione dell'habitat;
- offre un'esperienza percepita come **divertente e immersiva**, al punto da far “dimenticare il tempo”, pur con la necessità di monitorare l'allineamento con i tempi del percorso;
- integra **elementi di fortuna** che contribuiscono alla rigiocabilità e alla suspense, senza annullare la percezione di responsabilità rispetto alle proprie scelte.

In termini educativi, il serious game raggiunge l'obiettivo di *tradurre l'interdipendenza ecosistemica in esperienza concreta*: i visitatori non solo comprendono che le risorse sono collegate, ma sperimentano in prima persona il peso di decisioni sbilanciate (favorire troppo la Civiltà, trascurare l'Acqua, ecc.), in linea con quanto suggerito dalla letteratura sulla *game-based learning* Connolly et al., 2012; de Freitas e Maharg, 2014.

## 4.5 Sviluppi Futuri

### 4.5.1 Evoluzioni possibili del gioco esistente

A partire dai risultati emersi, si possono delineare alcune direttive di sviluppo per *I Custodi dell'Habitat*:

- **Modalità di difficoltà variabile:** prevedere una versione “base” per i gruppi più piccoli, con meno carte condizionali e un numero ridotto di sfide, e una modalità “avanzata” per scuole secondarie e gruppi esperti, con meccaniche aggiuntive (nuove challenge, eventi rari, carte con effetti più complessi).
- **Gestione adattiva del tempo:** introdurre strumenti per monitorare il tempo effettivo di gioco e, se necessario, proporre una chiusura guidata (es. riassumere la partita a metà del quinto giro) per garantire la compatibilità con i ritmi museali senza troncare bruscamente l’esperienza.
- **Sistema di ricompense simboliche:** affiancare alla vittoria un piccolo riconoscimento tangibile (adesivi del medaglione, cartoline, certificati di “Custodi dell’Habitat”) o digitale (badge, QR code che sblocca contenuti extra), in grado di estendere la memoria dell’esperienza oltre la sala.
- **Accessibilità e inclusione:** esplorare varianti che facilitino la partecipazione di visitatori con disabilità sensoriali o cognitive (ad esempio potenziando il canale sonoro, introducendo controller alternativi, o semplificando alcune interfacce testuali).
- **Analitiche di gioco:** utilizzare in modo più sistematico i log generati dall’installazione (sequenze di carte giocate, durata dei turni, frequenza delle vittorie) per affiancare ai dati qualitativi una lettura quantitativa continua nel tempo.

#### 4.5.2 Verso una famiglia di giochi da tavolo interattivi phygital

Al di là del singolo caso, l’esperienza di *I Custodi dell’Habitat* mette in luce il potenziale dei **giochi da tavolo interattivi phygital** come format museale e didattico. Si possono immaginare diverse linee di ricerca e sviluppo:

- **Nuovi contenuti tematici:** adattare il modello a temi diversi (storia locale, archeologia, rischio naturale, orientamento in montagna, ecc.), mantenendo l’idea di tavolo cooperativo con risorse in equilibrio.
- **Confronto con giochi analogici:** progettare studi comparativi tra versioni puramente analogiche e versioni phygital dello stesso gioco, per valutare come cambia il coinvolgimento, la comprensione dei concetti e la memoria a lungo termine.

- **Reti di installazioni:** immaginare una costellazione di tavoli interattivi in diversi musei, collegati da una narrativa comune (ad esempio ecosistemi diversi che “dialogano”) e dotati di metriche condivise, in modo da confrontare comportamenti e strategie di pubblici differenti.
- **Integrazione con dispositivi personali:** sperimentare forme leggere di continuità tra l’installazione e il mondo esterno (es. mini-giochi o visualizzazioni accessibili da smartphone che riprendono la partita giocata al museo).

Queste prospettive si inseriscono in un panorama più ampio di ibridazione tra gioco, partecipazione e narrativa museale, che la letteratura recente identifica come una delle direzioni più promettenti per i musei esperienziali e partecipativi Falk e Dierking, 2009; Petrelli et al., 2013.

#### 4.5.3 Metodi di valutazione per esperienze interattive complesse

Infine, l’esperienza di valutazione di *I Custodi dell’Habitat* suggerisce alcune indicazioni metodologiche utili per futuri progetti:

- **Triangolazione sistematica:** combinare osservazione, interviste, questionari e analisi dei log di gioco, evitando di affidarsi a un singolo indicatore (es. sola soddisfazione percepita o soli dati di utilizzo).
- **Valutazione iterativa:** utilizzare la valutazione non solo in chiave “sommativa” a fine progetto, ma come strumento di feedback continuo nei cicli di prototipazione e aggiornamento.
- **Simulazioni e AI come strumenti di supporto:** impiegare agenti artificiali per esplorare scenari difficili da osservare in sala (ad esempio combinazioni rare di carte, strategie estreme, lunghe serie di partite) e per individuare eventuali squilibri del sistema prima del rilascio di nuove versioni.
- **Coinvolgimento di educatori e guide:** considerare guide ed educatori non solo come facilitatori dell’esperienza, ma come co-valutatori e co-designer, raccogliendo sistematicamente i loro feedback, frutto di un’esposizione quotidiana ai comportamenti dei visitatori.

## Conclusione

Il processo di valutazione mostra come *I Custodi dell'Habitat* funzioni contemporaneamente come dispositivo educativo, esperienza ludica cooperativa e tassello coerente di un percorso museale più ampio. I visitatori dichiarano di divertirsi, di sentirsi parte di una squadra e di aver compreso—a livello sia intuitivo sia dichiarativo—che la cura di un ecosistema richiede equilibrio, dialogo e capacità di rinunciare a guadagni immediati in favore del bene comune.

Al tempo stesso, l'analisi mette in luce margini di miglioramento e un ampio spazio di esplorazione futura: sia per raffinare questo specifico gioco, sia per sviluppare una vera e propria *famiglia* di giochi da tavolo interattivi phygital e di metodi di valutazione adeguati a esperienze museali sempre più complesse, situate e partecipative.

# Bibliografia

- Abt, C. C. (1970). *Serious Games*. Viking Press.
- Bitgood, S. (2010). *An Attention-Value Model of Museum Visitors*. Left Coast Press.
- Connolly, T. M., Boyle, E. A., MacArthur, E., Hainey, T., & Boyle, J. M. (2012). A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & Education*, 59(2), 661–686.
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. Harper & Row.
- de Freitas, S., & Maharg, P. (2014). *Digital Games and Learning*. Routledge.
- de Varine, H. (1980). *Le temps des musées dans le village*. Seuil.
- Design I/O & New York Hall of Science. (2015). Connected Worlds [Interactive ecosystem installation at the New York Hall of Science].
- Dewey, J. (1938). *Experience and Education*. Macmillan.
- Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2009). *The Museum Experience Revisited*. Left Coast Press.
- Gee, J. P. (2003). *What Video Games Have to Teach Us about Learning and Literacy*. Palgrave Macmillan.
- Hainey, T., Connolly, T. M., Stansfield, M., & Boyle, E. A. (2010). Evaluation of a game to teach requirements collection and analysis in software engineering. *Computers & Education*, 56(1), 21–35.
- Hein, G. E. (1998). *Learning in the Museum*. Routledge.
- Interactive, T. (2022). Dorfromantik: The Board Game [Cooperative tile-laying board game].
- Kiili, K. (2005). Digital game-based learning: Towards an experiential gaming model. *The Internet and Higher Education*, 8(1), 13–24.
- Kolb, D. A. (1984). *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*. Prentice Hall.
- Leacock, M. (2008). Pandemic [Cooperative board game].
- Leacock, M. (2010). Forbidden Island [Cooperative board game].

- Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems: A Primer* (D. Wright, Cur.). Chelsea Green.
- Petrelli, D., Ciolfi, L., van Dijk, D., Hornecker, E., Not, E., & Schmidt, A. (2013). Integrating Material and Digital: A New Way for Cultural Heritage. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 588–597.
- Pfister, A., & Walker-Harding, P. (2015). Isle of Skye: From Chieftain to King [Tile-laying board game].
- Prensky, M. (2001). *Digital Game-Based Learning*. McGraw-Hill.
- Reuss, R. E. (2017). Spirit Island [Cooperative board game].
- Rivièvre, G. H. (1978). *Le musée, temple ou forum?* Centre Georges-Pompidou.
- Serrell, B. (1998). *Paying Attention: Visitors and Museum Exhibitions*. American Association of Museums.
- Teuber, K. (1995). The Settlers of Catan [Board game].
- Vacarrino, D. X. (2012). Suburbia [Tile-laying city-building board game].
- Various. (2000). Biodiversity Game [Educational game on biodiversity; various implementations in museum and classroom contexts].
- Various. (2010a). Green Team Game [Educational team-based game on environmental issues].
- Various. (2010b). Water Wise Challenge [Educational game focused on water resources and sustainability].
- Wrede, K. (2000). Carcassonne [Tile-laying board game].