

ALMA MATER STUDIORUM · UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

---

Scuola di Scienze  
Dipartimento di Fisica e Astronomia  
Corso di Laurea Magistrale in Fisica

## Giocare con la complessità: design di un gioco da tavolo sui sistemi complessi

Relatore:  
Dr.ssa Giulia Tasquier

Presentata da:  
Matteo Piraccini

Correlatore:  
Dr.ssa Sara Ricciardi

Anno Accademico 2021/2022



*“il prossimo secolo sarà il secolo della complessità.”*

Attribuita a S. Hawking

*“[il XXI secolo sarà] un secolo ludico”*

E. Zimmerman

## ABSTRACT

Nel 2021 il premio Nobel per la fisica è stato assegnato “per gli innovativi contributi alla nostra comprensione dei sistemi fisici complessi”. I sistemi complessi sono un campo di indagine sviluppatosi nella seconda metà del ventesimo secolo che riguarda una pluralità di campi oltre la fisica e la scienza. La loro applicazione trova spazio in ambiti come biologia, sociologia, fisica della materia, climatologia, ecc... L’interesse nei loro confronti è cresciuto nel tempo, come dimostra il Nobel, non solo per la molteplicità degli ambiti in cui sono impiegati, poiché la maggior parte dei problemi più pressanti attuali possono essere considerati nella prospettiva dei sistemi complessi: la crisi climatica, le migrazioni, le pandemie, ecc....Data quindi l’importanza che questi svolgono nella realtà globale e nell’interpretazione di problemi non solo scientifici ma con importanti ricadute sociali, negli ultimi trent'anni, anche la ricerca nella didattica delle scienze si è occupata dei sistemi complessi, con lo scopo di comprenderne e analizzare i meccanismi in modo tale da capire quali sono le difficoltà legate al loro insegnamento/apprendimento e quali strategie e/o metodologie didattiche possono essere sviluppate per affrontare queste difficoltà.

Questa tesi cerca di portare un contributo nel campo della didattica dei sistemi complessi utilizzando lo strumento del gioco da tavolo e l’ambito metodologico del *Game Design*. L’utilizzo dei giochi in ambito didattico, la cosiddetta didattica ludica, è un approccio che è presente nella didattica dei sistemi complessi ma i casi di applicazione non sono molti. In particolare questa tesi si focalizza sulla progettazione e realizzazione di un gioco da tavolo che inglobi al proprio interno concetti propri dei sistemi complessi. L’operazione di game design è stata portata avanti ricorrendo a una serie di criteri ludici, didattici e epistemologici ricavati dalla letteratura di ricerca. Il prodotto è stato il gioco da tavolo “Sì, ma stai calmo!”, validato da esperti del settore ludico e scientifico.

A seguito della realizzazione è stato condotto uno studio pilota di tipo qualitativo che ha preso in esame l’esperienza di gioco di un gruppo di persone eterogeneo dal punto di vista sia delle competenze di ricerca nel campo dei sistemi complessi e del game

design sia della familiarità con i concetti della complessità e con i giochi da tavolo. Lo studio pilota è stato monitorato con il supporto di una intervista semistrutturata collettiva. L'analisi dell'intervista ha fornito degli apporti utili nella prospettiva di un lavoro successivo avente come scopo portare in classe il gioco.

# INDICE

Abstract	1
Indice	3
Introduzione	5
1 - I sistemi complessi e la complessità fra scienza e società	8
1.1 - Introduzione alla complessità	9
1.2 - I Sistemi complessi e le proprietà	12
1.3 - Applicazioni dei sistemi complessi	14
1.4 - La scienza della complessità come occasione di riflessione sulla scienza	17
1.4.1 - La scienza attuale	18
1.4.2 - Il mondo attuale	19
1.4.3 - La scienza futura	20
1.4.4 - Fra scienza e società	20
2 - Didattica dei SC	22
2.2 - Le problematiche	24
2.1 - Le metodologie	26
2.3 - Considerazioni	28
3 - Il gioco come metodologia di insegnamento e la ricerca sul game design	31
3.1 - Cos'è il gioco?	32
3.2 - Didattica ludica	36
3.2.1 - Cos'è la didattica ludica	36
3.2.2 - Didattica ludica per la fisica	38
3.3 - I giochi da tavolo	41
3.3.1 - I GdT e la didattica	41
3.3.2 - I giochi da tavolo e la fisica	43
3.3.3 - Esempi	44
3.4 - Didattica ludica per i SC ovvero i giochi come SC	46
3.4.1 - I giochi come SC	46
3.4.2 - I giochi per l'apprendimento e la didattica dei SC	47
4 - Il Design dell'attività: progettazione, realizzazione e validazione di un gioco da tavolo sulla complessità	51
4.1 - Criteri di design	52
4.2 - Progettazione	56
4.3 - La validazione del gioco attraverso i <i>Playtest</i>	59

4.4 - La descrizione del gioco	62
4.5 - Elementi di complessità	65
4.6 - Maschere narrative	67
5 - Studio Pilota	73
5.1 - Modalità	73
5.2 - Partecipanti	75
5.3 - Analisi preliminare	79
5.3.1 - I sistemi complessi	80
5.3.2 - Gestione dell'aleatorietà	83
5.3.3 - La narrazione	84
5.3.4 - Ulteriori considerazioni	85
5.3.5 - Competenze	86
5.3.5 - Considerazioni finali	87
Conclusioni	89
Bibliografia	94
Appendice A - Regolamento	99
Appendice B - ID	103
Appendice C - Facilitazione focus group	104
Appendice D - Intervista semistrutturata	107
Appendice E - Facilitazione del gioco	110
Appendice F - Carte promemoria	111
Appendice G - Monitoraggio	114
Ringraziamenti	116

## INTRODUZIONE

Questo lavoro parte da due interessi personali che, nel mio percorso di studi di laurea magistrale prima e nel lavoro di tesi, hanno preso corpo come interessi professionali e poi si sono trasformati nelle due ipotesi fondative di questo lavoro.

Il primo interesse riguarda l'epistemologia della complessità. Queste idee nascono nella seconda metà del XX secolo constatando che il pensiero riduzionista non era più sufficiente a comprendere i fenomeni complessi che cominciavano ad occupare il campo delle scienze e in primis della fisica. Anche dal punto di vista dell'antropologia del pensiero scientifico si nota un enorme cambiamento. Le comunità degli scienziati si sono da sempre organizzate attorno ad un editore o attorno ad una università scavando e approfondendo conoscenza in verticale. Nel Novecento invece le comunità di ricerca cominciano ad aggregarsi attorno a una domanda, questo implica la creazione di un sapere orizzontale che si annoda tra diverse branche di ricerca. Nascono quindi delle scienze nuove per rispondere a queste nuove domande: ad esempio la cosmologia, l'ecologia e le neuroscienze riutilizzando e riorganizzando le conoscenze disciplinari (Levrini 2020, Morin 1999). Come il mondo è diventato man mano più complesso, intrecciando e legando i più svariati luoghi e settori, così le scienze sempre più si organizzano attorno ad una domanda piuttosto che scavando nella disciplina (Morin, 2001) e quindi nello stesso gruppo di ricerca è possibile trovare un fisico, una matematica, un sociologo, un'antropologa e una linguista, portando a una contaminazione tra i vari settori che spesso dà origine a nuove scienze. Non che le scienze non si occupino più degli ambiti peculiari alla disciplina, ma si sono espanse e sono andate a colonizzare campi al confine con le più svariate discipline. La scienza è stata al passo col mondo.

In che modo si può portare al mondo, in particolare in classe, questa nuova visione delle scienze? Il modus operandi è ricreando una caratteristica fondamentale di qualsiasi liminalità: la pluralità dei linguaggi. Pertanto al linguaggio scientifico si stanno mescolando quello storico, quello civico, quello antropologico, quello filosofico, quello informatico. Un linguaggio multi-inter-trans-disciplinare per rimodernare ed efficientare la comunicazione e l'apprendimento della scienza. Senza dimenticarci che la pluralità è uno dei motori della creatività. E ce n'è bisogno di creatività per essere in

grado di affrontare le nuove sfide, i nuovi problemi che si presentano costantemente, siccome le vecchie soluzioni non sono più adeguate (Senge, 1992). Soprattutto per il futuro. L'ambito di ricerca nelle scienze che più incarna le caratteristiche appena descritte sono i sistemi complessi. Questa branca della fisica trova applicazione nei più svariati campi: ecologia, magnetismo, sociologia.... Inoltre è lapalissiana la sua stretta relazione con la complessità e soprattutto con la sfida di riuscire a gestire tale complessità, senza che essa ci squassi e trascini, "così quel fiato li spiriti mali/ di qua, di là, di giù, di sù li mena", con la sua difficoltà nelle previsioni dovuta alla casualità, il motore dei sistemi complessi.

Il secondo interesse nasce da una passione personale. Da giocatore e da facilitatore di giochi da tavolo nel tempo ho sviluppato una profonda fiducia nei giochi come strumento da usare per la didattica. Questa fiducia acquisita con la pratica si è andata arricchendo e approfondendo grazie al lavoro di letteratura che ho potuto sviluppare per questo lavoro di tesi. Il gioco è uno strumento unico a disposizione di chi si occupa di insegnamento. Giocare risulta una delle attività basilari dell'essere umano, una delle attività umane tra le più singolari al pari dell'arte o della poesia (Huizinga, 1938). I giochi sono strumenti per apprendere; non solo ma coloro che partecipano sono motivati ad apprendere al pari di quanto sono coinvolti nel gioco. Poiché tutti puntano a vincere, tutti si sforzano di comprendere la miglior strategia per farlo e ognuno segue la propria strada. Inoltre il gioco ha un enorme potere narrativo, in grado di portare i giocatori in una sorta di luogo sospeso diverso dalla realtà dove valgono le regole del gioco e la storia che ti vuole raccontare. Per quanto riguarda le materie scientifiche, come vedremo nel corso di questa tesi, i giochi possono essere utilizzati per familiarizzare con i meccanismi e le dinamiche dei modelli usati nei vari ambiti della scienza, attraverso una scelta oculata dei modelli, selezionando quelli con le proprietà più caratteristiche, più semplici e più traducibili come meccaniche di gioco.

Il gioco, quindi, oltre ad un mezzo per suscitare interesse, può rappresentare anche una possibile risposta alle nuove esigenze dell'apprendimento della fisica e delle scienze. Il sapere è diventato un qualcosa di complesso e intrecciato, e nelle sfide sociali poste dai problemi della società dell'accelerazione e dell'incertezza (Levrini, 2020) non è più sufficiente apprendere nozioni ma è necessario capire quale pluralità di strumenti può essere in grado di trasformare le conoscenze in competenze e

attitudini che possano permettere ai giovani di sviluppare una “conoscenza viva” per affrontare le sfide presenti e future. Il gioco può allenare tali competenze, può essere uno strumento per il conseguimento di specifiche abilità inerenti le scienze, nel caso in cui si faccia ricorso a un'attenta progettazione volta a tale scopo. Questo il gioco lo può fare in virtù delle sue caratteristiche, innanzitutto la capacità di supportare una pluralità di linguaggi, tra cui quello narrativo che può contribuire alla costruzione di metafore e di senso nell'ambito scientifico, oltre a essere uno strumento semplice e senza prerequisiti. Forti di ciò, in questa tesi, nello specifico, si vuole rispondere a questa domanda di ricerca: *in che modo i concetti basilari dei SC possono essere impiegati in un'operazione di progettazione di un gioco da tavolo con una finalità didattica?*

In particolare nel capitolo 1 verranno presentati l'ambito dei sistemi complessi e la loro importanza nel mondo attuale. Nel capitolo 2 si passerà in rassegna la letteratura principale della didattica dei sistemi complessi per capire quali sono gli elementi più significativi per l'apprendimento e confrontare gli approcci ideati. Nel capitolo 3 si presenterà il gioco e la didattica ludica con tutte le potenzialità, in particolare la didattica ludica per la fisica, per finire sul rapporto speciale tra i giochi e i sistemi complessi. Nel capitolo 4 verrà illustrata l'operazione di game design del gioco prodotto e verrà presentato lo stesso. Infine nel capitolo 5 si mostreranno i risultati preliminari dell'analisi qualitativa condotta sul gioco che hanno portato a fare alcune considerazioni sulla sua applicabilità in contesto scolastico.

# 1 - I SISTEMI COMPLESSI E LA COMPLESSITÀ FRA SCIENZA E SOCIETÀ

*“con ogni probabilità l’universo non è stato progettato per rendere facile la vita dei fisici teorici”*

G. Parisi

Cos’è la complessità e cosa sono i sistemi complessi (SC)? La risposta non è facile e nemmeno univoca (Ladyman, 2012). La letteratura di ricerca mette in evidenza come il definire un sistema complesso sia sorgente di difficoltà legate al descriverne il comportamento, la struttura, e nell'individuare le cause della sua dinamica. Questa affermazione esprime il fatto che si tratta di un ambito di ricerca che non è stato ancora esplorato fino in fondo e probabilmente ci vorrà ancora molto tempo prima di poterlo sistematizzare e avere una chiara visione di insieme. Come sostiene Tullio Tinti, “Attualmente, come fa notare il fisico J. Doyne Farmer, la teoria della complessità è ancora molto frammentaria e assomiglia alla teoria della termodinamica così com’era nella prima metà dell’Ottocento, quando gli scienziati cominciavano a farsi un’idea dei concetti di base ma non si raccapezzavano ancora con le grandezze da misurare” (Tinti, 1998). Questo fa sì che tutto sia ancora molto fluido e in evoluzione, rendendolo un mare inesplorato: difficile orientarsi ma affascinante da navigare.

Comunque, malgrado non esista un vero e proprio accordo scientifico su una definizione di complessità univoca (Ladyman, 2012), gli studi sui sistemi complessi sono molteplici e approfonditi ed è possibile descrivere questi sistemi analizzando le loro caratteristiche comuni.

In questo capitolo, si affronteranno le principali questioni epistemologiche e concettuali sollevate dalla scienza dei sistemi complessi, sia da un punto di vista dello sviluppo storico/filosofico, sia per quel che riguarda i concetti e le proprietà principali che differenziano la fisica (scienza) della complessità dalla fisica classica. Il capitolo prosegue con un focus sulle applicazioni e una riflessione sull’importanza dello studio di questi sistemi nel mondo di oggi e di domani. L’impostazione di questo capitolo introduce il ruolo e la fattibilità dell’insegnamento/apprendimento della complessità in ambito scolastico, tema che verrà discusso nel capitolo 2.

## 1.1 - INTRODUZIONE ALLA COMPLESSITÀ

*“Vi sono due difficoltà preliminari quando si voglia parlare di complessità. La prima sta nel fatto che il termine non possiede uno statuto epistemologico. [...] La seconda difficoltà è di ordine semantico. Se si potesse definire la complessità in maniera chiara, ne verrebbe evidentemente che il termine non sarebbe più complesso.”*

E. Morin

Dalla seconda metà del XX secolo, all'interno della comunità scientifica si è delineato un nuovo campo di studio, la scienza della complessità. Questa disciplina studia i cosiddetti sistemi complessi, costituiti da un insieme di singoli elementi che, interagendo tra loro e con l'ambiente secondo relazioni non lineari, conferiscono ai sistemi risultanti alcune proprietà che quelli classici non hanno (Cilliers, 1998). I tratti principali dei sistemi più complessi possono essere riassunti principalmente in: i) non linearità delle equazioni che descrivono le variabili macroscopiche e delle regole per le interazioni locali tra gli agenti; ii) elevata sensibilità alle condizioni iniziali o “effetto farfalla”; iii) presenza di cicli di retroazione; iv) comparsa di proprietà globali non deterministicamente ascrivibili alle regole locali cui obbediscono i singoli agenti ma che emergono dall'autorganizzazione del sistema v) molteplicità di sottosistemi e multidimensionalità (Barelli, 2017; Ladyman, 2012).

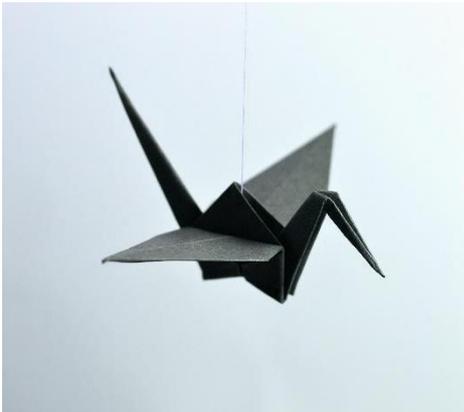
A partire dagli anni '70, molti sistemi sono stati studiati e modellati come complessi, all'interno di una gamma molto ampia di campi disciplinari, ad esempio, le cellule, il cervello umano, i solidi cristallini, i sistemi sociali, le città e il clima sono considerati e devono essere studiati come sistemi complessi. A causa della crescente rilevanza di questioni come il cambiamento climatico e la pianificazione urbana a molti livelli decisionali, la prospettiva della complessità sta diventando sempre più importante come prospettiva filosofica di fondo nelle attività decisionali (Batty, 2016).

Ma che cos'è la complessità?

Intanto bisogna distinguere tra *complessità* e *complicatazza*. Qualcosa può essere complesso senza essere complicato e viceversa. Qual è la differenza? Per trovare la risposta si parte dall'etimologia. L'etimologia di complesso è “dal latino *complexus*, part. pass. di *complecti* «stringere, comprendere, abbracciare»”(Treccani). Complicato

è il participio passato di complicare la cui etimologia è “dal latino complicare «piegare insieme, avvolgere», comp. di con- e plicare «piegare»” (Treccani). Dunque qualcosa di piegato su se stesso. Una facile associazione di immagine è quella di un origami.

Un origami altro non è che un semplice pezzo di carta piegato su se stesso ma la forma esterna non fa presagire la sua struttura interna anche se, avendolo fra le mani e svolgendolo, sarà semplice accorgersi di avere in mano comune foglio di carta. Un “oggetto” complicato potrebbe essere un’equazione (Figura 1) con solo le quattro operazioni e i numeri naturali; ci vorrà del tempo ma si riuscirà a risolverla. La



$$\begin{aligned}
 & (x-2)^2(y-2x+2)^2(y+2x-10)^2(x-4)^2(y-2x+8)^2(y+2x-16)^2\left(y-3-3\left[x-\frac{11}{2}\right]^2\right)^2(x-8)^2 \\
 & \cdot \left(y-2-3\left[\frac{x-8}{2}\right]^2\right)^2(x-11)^2\left(y-\frac{1}{2}x+\frac{5}{2}-3\left[\frac{x-11}{2}\right]^2\right)^2\left(y+\frac{1}{2}x-\frac{17}{2}-3\left[\frac{x-11}{2}\right]^2\right)^2(x-15)^2 \\
 & \cdot \left(y-4-3\left[\frac{x-14}{2}\right]^2\right)^2(y-2x+52)^2(x-17)^2(y+x-21)^2(x-19)^2(y-x+17-3[x-20]^2)^2 \\
 & \cdot (y+x-23-3[x-20]^2)^2(y-x+19-3[x-21]^2)^2(y-3-3[x-21]^2)^2(x-25)^2\left(y+\frac{1}{2}x-\frac{41}{4}-3\left[\frac{x-25}{2}\right]^2\right)^2 \\
 & \cdot \left(y-\frac{1}{8}x-\frac{1}{8}-3\left[\frac{x-25}{2}\right]^2\right)^2\left(y+\frac{5}{8}x-\frac{151}{8}-3\left[\frac{x-25}{2}\right]^2\right)^2(y-2x+54)^2(y+2x-62)^2(y-3-3\left[x-\frac{57}{2}\right]^2)^2 \\
 & \cdot (x-31)^2(y+x-35)^2(x-33)^2(x-34)^2\left(y+\frac{1}{2}x-21-3\left[\frac{x-34}{2}\right]^2\right)^2\left(y-\frac{1}{2}x+15-3\left[\frac{x-34}{2}\right]^2\right)^2 \\
 & \cdot ((x-38)^2+(y-3)^2-1)^2(x-40)^2(y+2x-84)^2(y-2x+80)^2(x-42)^2(x-43)^2\left(y-2-3\left[\frac{x-43}{2}\right]^2\right)^2 \\
 & \cdot (y-3-x-47)^2((x-47)^2+(y-3+\sqrt{y^2-6y+9})^2)^2+(y^2-6y+8+\sqrt{y^4-12y^3+52y^2-96y+64})^2=0
 \end{aligned}$$

complicata la si può vedere come la matassa imbrogliata di un filo: per quanto difficile e apparentemente intricato alla fine, se si analizza accuratamente e con i giusti strumenti, si può ridurre il tutto a una serie di operazioni semplici, come lo svolgersi di un filo.

Nel caso della complessità la caratteristica che suggerisce l’etimologia è la necessità di una visione di insieme. Qualcosa che è complesso può essere scomposto nei suoi elementi fondamentali, ma con questa operazione si perdono le sue caratteristiche peculiari, il tutto è maggiore della somma delle parti. Un esempio di complessità è un ingorgo di auto. (Wilensky, Resnick, 1999). Se si prova a ricreare una simulazione del traffico, dove le auto accelerano e rallentano se davanti c’è un troppo vicina. La cosa che potrebbe sorprendere è che in queste condizioni ideali si forma un ingorgo; un ingorgo, che tra l’altro, si muove in direzione opposta rispetto al flusso del traffico. Questo comportamento è senza dubbio controintuitivo e analizzando le singole componenti non se ne riesce a trovare la spiegazione. Un sistema complicato è reso tale dalla numerosità dei suoi componenti e dalla interconnessione di essi ma è senza dubbio comprensibile e organizzabile attraverso una scomposizione in elementi, cosa che per i sistemi complessi non è possibile fare.

Entrambi i termini sono dunque ardui da definire in maniera chiara e definitiva, per il momento ci si può limitare a una distinzione. La complessità e la complicatezza indicano un qualcosa di difficile, ma per la complicatezza questa difficoltà si riferisce principalmente all'analisi dei singoli elementi e del modello e della loro eventuale numerosità, invece per complessità la difficoltà è situata nella comprensione e previsione del comportamento globale.

La complessità, quindi, ha modificato non solo la conoscenza scientifica ma anche il modo stesso di fare scienza e una certa visione della scienza, dando una nuova prospettiva. "Tra le novità epistemiche abbiamo: stretto rapporto tra filosofia e scienza, un nuovo approccio al concetto di evoluzione e un nuovo strumento fondante della scienza" (Tinti, 1998). Quest'ultimo è particolarmente interessante. Lo studio della complessità ha dato ad esempio uno slancio enorme all'utilizzo dei computer nella ricerca scientifica. I computer da quando sono nati sono stati utilizzati al servizio della scienza. Ma lo studio dei SC ha fatto assumere loro un ruolo diverso. Infatti molto spesso non è possibile ricreare i SC in laboratorio o perché unici (es. la biosfera) o perché richiedono una quantità eccessiva di calcoli. L'unico modo è studiare il comportamento di un modello e confrontarlo poi con la realtà. Quindi serve una simulazione possibile solo tramite un calcolatore. Il computer non è più solo una macchina per fare i conti ma diventa un vero e proprio laboratorio virtuale. Le simulazioni sono diventate il terzo strumento della scienza insieme alle teorie e alla sperimentazione in laboratorio (Parisi, 2001).<sup>1</sup> Aggiungiamo poi alle novità un nuovo concetto di incertezza, un nuovo approccio alla causalità, il focus sul singolo agente.

Questa introduzione più ampia mostra come la scienza della complessità non è riducibile solo allo studio di modelli fisici ma va più in profondità influenzando la nostra idea di scienza. I nodi concettuali, epistemologici, sociali che essa solleva, declinati per la didattica, verranno presentati più avanti in dettaglio nel capitolo 2. Infatti la ricerca educativa sui sistemi complessi ha mostrato forti e resilienti difficoltà nell'apprendere i sistemi complessi, principalmente a causa del conflitto tra i nuovi concetti relativi alla complessità e le credenze comunemente sostenute o precedenti dei discenti (Casti,

---

<sup>1</sup> Le simulazioni si possono suddividere in simulazioni a equazione, quando si hanno delle equazioni che vengono risolte numericamente, e quelle ad agente, quando viene programmato solo il comportamento dei singoli agenti.

1994). Le principali difficoltà concettuali, che vedremo successivamente, sono: i) difficoltà a rinunciare a un senso di controllo centralizzato e di causalità deterministica a favore di descrizioni che coinvolgono processi di autorganizzazione, stocastici e decentralizzati (Feltovich, Spiro & Coulson, 1989); ii) difficoltà a rinunciare alla concezione di una relazione lineare tra la dimensione dell'azione e l'effetto corrispondente, accettando l'effetto farfalla (Casti, 1994).

## 1.2 - I SISTEMI COMPLESSI E LE PROPRIETÀ

*“Tutto ciò che vediamo intorno a noi è un sistema complesso, compresi noi stessi.”*

G. Parisi

Come accennato in precedenza, non esiste una definizione univoca di SC. Tuttavia, come abbiamo scritto sopra, ci sono alcune caratteristiche comuni che sono ascrivibili ad un sistema complesso, che sono: i) non-linearità delle equazioni che descrivono le variabili macroscopiche e delle regole per le interazioni locali tra gli agenti; ii) elevata sensibilità alle condizioni iniziali o “effetto farfalla”; iii) presenza di cicli di retroazione; iv) comparsa di proprietà globali non deterministicamente ascrivibili alle regole locali cui obbediscono i singoli agenti ma che emergono dall'autorganizzazione del sistema; v) molteplicità di sottosistemi e multidimensionalità (Barelli, 2017; Landyman, 2012).

- i) Non-linearità. Un sistema si dice lineare se sommando due qualsiasi soluzioni delle equazioni che lo descrivono, si ottiene un'altra soluzione e se si moltiplica qualsiasi soluzione per qualsiasi fattore, si ottiene un'altra soluzione. Per i sistemi non lineari non vale questo principio. Molte volte questa condizione rende impossibile trovare una soluzione analitica ed è quindi necessario ricorrere a una soluzione numerica. Questa caratteristica è spesso dovuta alla caratteristica iii). La dinamica non-lineare porta a stati che sono molto difficili da prevedere.
- ii) “Effetto farfalla”. Questa caratteristica è una conseguenza della non-linearità. Piccole variazioni dello stato possono portare a macrostati radicalmente differenti, in altre parole minime variazioni causano una divergenza nelle soluzioni. I sistemi che presentano tale caratteristica

vengono detti sistemi caotici. Il nome "Effetto farfalla" proviene dal titolo di una ricerca di Edward Lorenz del 1972 intitolata "Può il batter d'ali di una farfalla in Brasile provocare un tornado in Texas?". Lorenz scoprì questo effetto lavorando con i sistemi meteorologici che sono, appunto, caotici. Da notare che i sistemi caotici sono deterministici ovvero seguono leggi deterministiche. Tali proprietà riduce la capacità di fare previsioni deterministiche sull'evoluzione del sistema.

- iii) **Casualità circolare.** La non-linearità si origina da una deviazione rispetto alla casualità lineare. Nella casualità lineare, alla causa A segue un effetto B che a sua volta causa un effetto C e così via. Nella casualità circolare ciò viene spezzato dalla presenza di cicli di retroazione. Si parla di retroazione quando, dato A che influenza B tramite una certa "azione", allora a sua volta B compie un'"azione" che influenza A. Si parla di ciclo perché A influenza B e B influenza A formando una catena circolare di causalità, e non un percorso lineare con un inizio e una fine. Si distinguono due tipi di cicli. Nel caso in cui l'azione di B rafforza l'azione di A si parla di ciclo positivo, se invece la smorza si ha un ciclo negativo.
- iv) **Comparsa di proprietà globali.** Tali proprietà sono chiamate proprietà emergenti. Si tratta della caratteristica più peculiare dei SC e che li rendono così "interessanti". Le proprietà emergenti non sono direttamente ricavabili dalle proprietà dei singoli agenti del sistema, ma vanno ricondotte al fenomeno dell'autoorganizzazione. Per autoorganizzazione si intende "comparsa di una struttura o di un modello senza che un agente esterno lo imponga" (Heylighen, 1970). Si tratta di un fenomeno controintuitivo sia dal punto di vista meccanicistico ma anche al "senso comune" che associa l'ordine a una qualche intelligenza superiore. (Heylighen, 1970) Invece in questo caso non c'è alcun fattore esterno come principio di ordine. Come vedremo nel capitolo 2 questo va contro l'habitus mentale della maggior parte delle persone. L'autoorganizzazione trae la sua origine solo dalle interazioni locali tra gli agenti e porta alle proprietà emergenti le quali invece sono strutture che si manifestano a livello non locale.

- v) Molteplicità dei sistemi. Si è visto che la caratteristica iv) trae origine dalle interazioni. Per esserci interazioni è necessaria la presenza di più agenti. Pertanto è necessario che i SC siano composti da molti sottosistemi, in ordine di dare luogo a un numero elevato di interazioni. Inoltre il manifestarsi di strutture a causa della caratteristica iv) porta alla multidimensionalità ovvero l'integrazione di diversi livelli di ordine che mantengono allo stesso tempo la loro identità, oltre a livello macroscopico e quello micro.

Questo insieme di caratteristiche porta immediatamente ad alcune conseguenze. Innanzitutto i SC sono sistemi adattivi, ovvero si adattano all'ambiente. Si tratta di sistemi aperti e pertanto sono influenzati dall'ambiente. Le risposte alle perturbazioni dell'esterno sono modulate dai vari cicli di retroazioni. Poi è evidente che l'approccio riduzionistico non è sufficiente, infatti conoscere solo le proprietà del singolo elemento non permette di dare una spiegazione al comportamento generale del sistema. Tuttavia nemmeno una prospettiva olistica è sufficiente siccome non si possono considerare le interazioni dei singoli elementi.

È infine opportuno sottolineare una cosa. Nessuna delle caratteristiche precedenti è sufficiente a dare origine a fenomeni complessi. La sensitività alle condizioni lineari è presente anche in sistemi caotici che non sono complessi, un esempio è il pendolo doppio a cui manca la caratteristica della molteplicità. A sua volta la molteplicità si ha in un gas ideale ma questo non è un SC siccome non presenta proprietà emergenti. Ancora, senza la multidimensionalità non sarebbe possibile l'amplificazione delle condizioni iniziali descritta dalle equazioni non-lineari. Le proprietà emergenti come si è visto non possono apparire senza la molteplicità e al contempo sono necessari i cicli di retroazione per la presenza di proprietà emergenti. Questi ultimi sono comuni ad altri sistemi che non possono essere definiti complessi se manca la molteplicità. L'aggettivo complesso si potrebbe dire che sia "autologico" in un certo senso: l'insieme, ovvero i SC, sono più della somma delle parti, le singole caratteristiche.

### 1.3 - APPLICAZIONI DEI SISTEMI COMPLESSI

Ecco alcuni esempi di SC nell'ambito delle varie discipline.

La fisica, disciplina che per prima ha studiato la complessità, presenta svariati casi di SC. Uno dei più semplici sono le celle di Rayleigh-Benard. Questo è un fenomeno che si verifica in un liquido quando esso è riscaldato dal basso ed è in contatto con un ambiente più freddo in superficie. Se la differenza di temperatura tra l'alto e il basso è abbastanza elevata, si dà origine a una cella di convezione. Le particelle più vicine alla superficie inferiore si scaldano e quindi si muovono verso l'alto, mentre avviene il contrario per le particelle vicino alla superficie a contatto con l'ambiente. Questi movimenti sommati insieme danno origine a una cella di movimento circolare, come mostrato in figura 1. Si è passati da un sistema disordinato a uno ordinato, dunque un comportamento emergente. Inoltre il verso della cella, orario o antiorario, è frutto della non-linearità siccome dipende sensibilmente dalle condizioni iniziali.

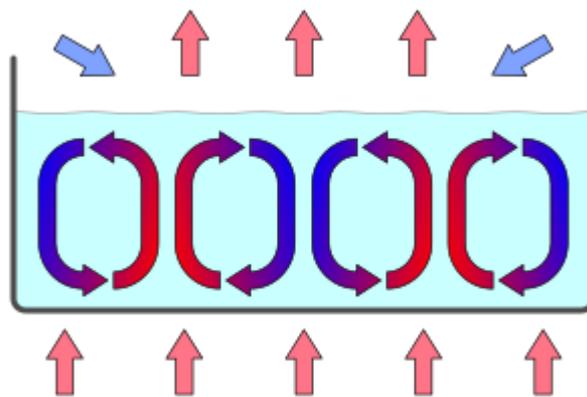


Figura 1

Rimanendo nel campo della fisica più "dura", non si può non citare la magnetizzazione e i vetri spin, lo studio dei quali ha fruttato il premio Nobel al prof. Giorgio Parisi (di cui riparleremo in seguito). I vetri spin sono leghe metalliche composte da metalli nobili con all'interno una piccola quantità di ferro. Prendono il nome dal fatto che la transizione di fase magnetica, dovuta agli spin, è simile a quella del vetro, ovvero non un passaggio di fase netto come l'acqua ma uno stato intermedio puntellato di stati metastabili. Si può modellizzare il tutto come un reticolo in cui i nodi sono gli spin e i collegamenti sono i legami (ferromagnetici o paramagnetici). Tutti questi spin interagiscono con gli spin adiacenti per cercare la configurazione più stabile, ma come detto sopra questa non rimane stabile a lungo. Il motivo è perché il sistema presenta un numero elevatissimo di stati di equilibrio. La scoperta di Parisi ha influenzato vari

ambiti a cui accenneremo in seguito. Un SC di vitale importanza è il clima. Infatti il clima è composto da vari sottosistemi che interagiscono tra di loro e danno luogo a varie retroazioni. Ad esempio l'atmosfera è un sistema aperto che interagisce col suolo, la radiazione solare, gli oceani... da una parte gli oceani assorbono CO<sub>2</sub> che riduce l'effetto serra, dall'altra l'aumento del vapore acqueo in atmosfera lo aumenta. Tutto questo insieme di sottosistemi non può essere risolto da un sistema di equazioni lineari. È evidente che siamo di fronte a un SC. Uno dei SC più importante per l'esistenza della specie umana tra l'altro, a rischio a causa del cambiamento climatico di cui è responsabile (un altro caso di causalità circolare). Ed è per questo che la ricerca in nuovi modelli sempre più dettagliati è riconosciuta come di vitale importanza dal mondo accademico come vedremo più avanti.

Passiamo alla biologia, un campo che si è molto avvalso dei SC perché gli si confanno, siccome gli organismi viventi sono essi stessi SC. In generale qualsiasi ecosistema può essere visto come un sistema complesso dove vari elementi (fauna, flora, terreno, ecc...) interagiscono tra di loro e si influenzano a vicenda. Andando più nello specifico, le catene alimentari sono un ottimo esempio di SC. All'interno della catena, le varie specie intrattengono dei rapporti preda-predatore e il variare di una popolazione influenza le specie in relazione con essa e questo fa partire una serie di effetti a cascata che vanno a incidere sull'intero sistema. Un modello molto semplice e molto famoso dell'interazione preda-predatore sono le equazioni di Lotka-Volterra. Si tratta di due equazioni differenziali che descrivono un sistema in cui ci sono solo due specie: le prede e i predatori. Inoltre ci sono quattro parametri che regolano le interazioni. Non avendo soluzione analitica, le equazioni possono essere risolte solo numericamente. Ha due soluzioni: una statica, ovvero le estinzioni di entrambe le specie, o una dinamica, in cui la consistenza delle popolazioni oscilla periodicamente. Ovviamente questi modelli sono lontani da descrivere accuratamente la realtà (vedi il caso di Isle Royale), ma rappresentano un buon punto di partenza e sono spesso utilizzate come modello giocattolo per la didattica dei SC. Altro esempio sono le strisce del manto delle zebre. Il manto delle zebre presenta le caratteristiche striature bianche e nere. Si tratta di un fenomeno emergente. Infatti le singole cellule che compongono il manto possono interagire solo con le cellule adiacenti attivando o inibendo la produzione dei pigmenti. Altro esempio sono le lucciole. Mentre sono in volo, questi insetti riescono a

sincronizzare l'emissione di luce, formando dei pattern, basandosi solo sul comportamento delle altre lucciole vicine. Stesso discorso per gli stormi degli uccelli, oggetti di studio del premio Nobel Parisi, dove non esiste un uccello che regola tutti gli altri ma le interazioni sono sempre a corto raggio.

Uno degli aspetti più affascinanti dei SC è la loro pervasività, ne siamo circondati più di quanto possiamo immaginare. Ad esempio, i SC trovano applicazione in sociologia. Uno degli esempi più vecchi e più semplici è il modello di segregazione di Schelling. Si tratta di un modello ad agente molto elementare nei meccanismi. Due popolazioni di agenti si trovano in una griglia e si spostano per avere un vicinato sufficientemente della medesima popolazione. Infatti come ben noto gli umani in linea generale preferiscono ciò che è simile. Simulando questo modello accadeva che si metteva in pratica una segregazione tra le due specie, una segregazione involontaria. Come tutti i modelli semplifica ma qualitativamente è valido. Ancora. L'economia (Lansing, 2003). La crisi del 2008 può essere vista come la rottura di un fragile equilibrio che si era creato tra i proprietari di case e gli investitori, innescata da una serie di retroazioni<sup>2</sup>, e dei SC ha condiviso una spiacevole, per noi, caratteristica: la difficoltà di previsione. Ultimo esempio sono le pandemie, ma di questo se ne parlerà più avanti.

Arrivati in fondo a questa galleria di esempi, l'aspetto più importante per questa tesi è il seguente: i SC parlano tanti linguaggi, sono estremamente interdisciplinari, sono applicati e applicabili in svariati di ambiti, capaci di mettere in dialogo le discipline più disparate e rivolgersi a sensibilità diverse.

#### 1.4 - LA SCIENZA DELLA COMPLESSITÀ COME OCCASIONE DI RIFLESSIONE SULLA SCIENZA

Dopo aver esposto le caratteristiche dei SC, passiamo ora a una discussione a riguardo dell'importanza dei SC nella scienza attuale e futura e nel mondo attuale e la società.

---

<sup>2</sup> [https://youtu.be/bx\\_LWm6\\_6tA](https://youtu.be/bx_LWm6_6tA)

### 1.4.1 - LA SCIENZA ATTUALE

Il Premio Nobel per la Fisica 2021 è stato “assegnato “per gli innovativi contributi alla nostra comprensione dei sistemi fisici complessi” con una metà assegnata congiuntamente a Syukuro Manabe and Klaus Hasselmann “per la modellizzazione fisica del clima della Terra, quantificando variabilità e prevedendo in modo affidabile il cambiamento climatico” e l'altra metà a Giorgio Parisi “per la scoperta della interazione del disordine e delle fluttuazioni nei sistemi fisici dalle scale atomiche a quelle planetarie””<sup>3</sup>

Come è risaputo il premio Nobel è il più importante premio in ambito scientifico a livello globale. Pertanto l'assegnazione sopra riportata sancisce il riconoscimento istituzionale definitivo della rilevanza dei SC per la scienza attuale (oltre a stimolare un po' di orgoglio patriottico) (Bielinskyi, 2021). Col Nobel i SC hanno ricevuto un'attenzione e una visibilità notevoli in breve tempo, come è successo per il bosone di Higgs; questa bolla naturalmente si sgonfierà e l'opinione pubblica si concentrerà su altro ma intanto per un attimo hanno fatto irruzione, hanno “sfilato”, molte persone ne hanno sentito parlare e questo è e sarà un potente motore per lo sviluppo di un settore. Insomma sono diventati “di moda”. Questo fa ben sperare a un'ulteriore accelerazione della ricerca in questo campo. Inoltre il brano soprastante è una sintesi di alcuni dei principali motivi sul perché i SC, e in generale la complessità, sono diventati così importanti. I motivi sono:

- “dalle scale atomiche a quelle planetarie” Il concetto di complessità si può applicare a una vastissima gamma di fenomeni e i SC spaziano dal livello microscopico degli atomi a quello delle galassie. Le scoperte di Parisi nello specifico hanno influenzato la matematica, la biologia, le neuroscienze, solo per fare alcuni esempi.

---

<sup>3</sup> The Nobel Prize in Physics 2021 was awarded "for groundbreaking contributions to our understanding of complex physical systems" with one half jointly to Syukuro Manabe and Klaus Hasselmann "for the physical modelling of Earth's climate, quantifying variability and reliably predicting global warming" and the other half to Giorgio Parisi "for the discovery of the interplay of disorder and fluctuations in physical systems from atomic to planetary scales"<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/>, traduzione dell'autore

- “cambiamento climatico” La complessità risulta cruciale, anzi fondamentale, per la comprensione e la gestione della più grande minaccia che l’umanità sta fronteggiando in questo momento. La scienza gioca un ruolo fondamentale nella risoluzione di questo “problema” che affligge il mondo attuale.

#### 1.4.2 - IL MONDO ATTUALE

In che modo la complessità incontra il mondo attuale? Sarebbe da fare la domanda al contrario cioè cosa non hanno in comune. Per semplicità limitiamoci a due casi eclatanti di come i SC influiscono sul mondo attuale.

- COVID19. La diffusione di una pandemia è modellizzabile come SC e come tale è stata trattata dagli scienziati per prevedere e arginare la sua diffusione in concomitanza alla ricerca dei vaccini. Sono stati messi in campo strumenti di analisi e modellizzazione dei SC, ad esempio il modello base SIR, per gestire la crisi. Ma c’è un altro aspetto che è emerso, quello riguardante la comunicazione scientifica. Questa è stata sostanzialmente disastrosa, almeno in Italia, il più delle volte causando confusione se non addirittura rigetto. Il motivo? Oltre a deficienze comunicative degli scienziati, la popolazione era sprovvista dei mezzi per comprendere il fenomeno visto che nessuno li aveva educati alla complessità e ai SC. Non avevano “lenti” adeguate per vedere il problema dalla giusta prospettiva
- “Quinta disciplina”. Nel 1990 esce un libro di Peter Senge “La quinta disciplina: l'arte e la pratica dell'apprendimento organizzativo”, dove presentava una nuova visione innovativa delle imprese e aziende. L’idea è che in un mondo sempre più interconnesso e dove più le aziende diventa dinamiche e complesse, più il lavoro deve diventare “ricco di apprendimento” se un’organizzazione vuole eccellere. Per arrivare a ciò, Senge elenca cinque discipline. Sono tutte fondamentali, ma quella che sta alla base e permette di armonizzarle è il pensiero sistemico: la disciplina di vedere gli interi, concentrarsi sulle interrelazioni, anziché le cose, e i modelli di comportamenti, e non le “istantanee” statiche. “Oggi, il pensiero sistemico è più necessario che mai perché stiamo per essere sopraffatti dalla complessità”

(Senge, 1992). Una visione ottimistica in cui non si resta in balia della complessità imperante ma si riesce a gestirla, se si vuole avere “successo” nel mondo.

#### 1.4.3 - LA SCIENZA FUTURA

Il ruolo dei SC nella scienza del futuro è assolutamente centrale. Oltre a essere fondamentali per fronteggiare i problemi ambientali, economici e sociali impellenti che si prospettano, i SC hanno portato nuovi modi di fare la scienza (Jacobson, 2001). Un esempio lampante è l'innovazione delle simulazioni al computer introdotte per “merito” dei SC e ora terza colonna della scienza (Parisi, 2001). E indietro non si torna di certo, si può solo andare avanti.

Riportiamo due citazioni che ben espongono la “rivoluzione” scientifica portata dai SC e che fanno ben sperare per una meravigliosa evoluzione futura.

“The importance of this view of the potential value of complex systems for science relates to the Kauffman’s (1995) observation that we may be at a historic juncture in which the relentless reductionism (i.e., increasingly fragmented and narrowly defined and isolated subspecialties) that has been occurring over the past three centuries of scientific disciplinary work may be coming to an end” (Jacobson, Wilensky, 2006)

“Abbiamo fatto il grande salto in avanti dal momento della nascita della scienza moderna. Perché Galileo aveva ignorato la complessità per riuscire a fare i calcoli e i modelli. Ora dopo più di tre secoli siamo riusciti a reintrodurre ciò il Galilei era stato costretto a ignorare.” (Parisi, 2021)

#### 1.4.4 - FRA SCIENZA E SOCIETÀ

Lo studio della scienza dei sistemi complessi può fornire risorse di pensiero per interpretare e comprendere la maggior parte delle moderne sfide globali, non solo agli scienziati, ma anche a professionisti di ambiti non scientifici, decisori politici e cittadini.

In un mondo sempre più complesso, la nostra società si trova ad affrontare grandi sfide globali, ad esempio riscaldamento globale, migrazioni, cambiamenti radicali nelle dinamiche del mercato del lavoro, crescita della popolazione mondiale - e la maggior parte di esse necessita di conoscenze e competenze STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) per essere affrontata e compresa (UNESCO, 2015). In effetti, le innovazioni nei campi della ricerca e dell'applicazione delle STEM hanno influenzato così tanto la società negli ultimi decenni che, per gestire razionalmente tali questioni, è necessario possedere risorse di pensiero specifiche ed essere consapevoli delle connessioni tra scienza (discipline STEM) e società, sia in termini di possibili pericoli che di opportunità (Branchetti et al., 2018).

Il crescente divario tra il sapere esperto degli scienziati e quello dei comuni cittadini (Jacobson, Wilensky, 2006) non è dovuto solo alle difficoltà concettuali dei temi ma anche alle novità epistemologiche e metodologiche che essi introducono (Barelli et al., 2018). Infatti, fenomeni complessi come il cambiamento climatico non possono essere indagati con il tradizionale metodo sperimentale (Pasini, 2015), ecco perché la maggior parte delle proiezioni ed elaborazioni di scenari futuri che – dovrebbero – informare le decisioni dei decisori politici non si basano su esperimenti ma piuttosto su simulazioni al computer.

Insegnare la complessità a scuola diventa quindi un tema di grande importanza ma anche dalla grande urgenza. La complessità è però un tema del tutto facoltativo, quasi mai trattato dai docenti. Quali sono le principali difficoltà legate all'insegnamento/apprendimento dei sistemi complessi? È possibile pensare di portare questi temi a scuola? Quali strategie e/o metodologie e/o strumenti possono essere adottati per facilitare l'insegnamento/apprendimento dei sistemi complessi?

Nei prossimi capitoli si cercherà di rispondere a queste domande.

## 2 - DIDATTICA DEI SC

*“Learning about complex systems is hard”*

C. E. Hmelo-Silver, R. Azevedo

Nel capitolo 1 si sono introdotti i SC e perché sono così importanti non solo per la scienza ma anche per la società e lo sviluppo di competenze di cittadinanza. E se qualcosa è importante allora vale la pena che entri a far parte del bagaglio conoscitivo a livello strutturale e ciò è stato asserito già a partire dagli anni '50 (Smith et al., 1957; Plate, 2010).

È possibile pensare di portare questi temi a scuola? Quali strategie e/o metodologie e/o strumenti possono essere adottati per facilitare l'insegnamento/apprendimento dei sistemi complessi? Quali sono le principali difficoltà legate all'insegnamento/apprendimento dei sistemi complessi?

Queste domande, legate alla necessità di ragionare sui sistemi complessi da un punto di vista didattico, sono state indagate da una prospettiva di ricerca verso il finire del secolo scorso (Resnick, Wilensky, 1993; Wilensky, 1996; Resnick, Wilensky, 1995; Resnick, Wilensky, 1999; Jacobson, 2001; Charles, D'Apolonia, 2003; Hmelo-Silver, Pfeffer, 2004; Plate, 2010)

Purtuttavia questo argomento sembra poco presente dai curriculum disciplinari. Infatti prendendo le indicazioni nazionali per i licei, le linee guida per gli istituti tecnici e professionali, ricercando “sistemi complessi” “complessità”, i risultati sono deludenti. Queste parole vengono usate riferendosi al senso del linguaggio comune e non a quello scientifico. Ci sono solo due usi delle parole in senso scientifico. La prima riguarda biologia per il secondo biennio dei licei “Si pone l'accento soprattutto sulla complessità dei sistemi e dei fenomeni biologici”. La seconda compare nelle linee guida per gli istituti tecnici dove nelle scienze integrate per il primo biennio “osservare, descrivere ed analizzare fenomeni appartenenti alla realtà naturale e artificiale e riconoscere

nelle varie forme i concetti di sistema e di complessità". In entrambi casi la complessità svolge il ruolo di caratteristica all'interno di una disciplina come un'aggiunta, un approccio che andrebbe evitato (Jacobson, Wilensky, 2006). Non c'è alcun accenno a una trattazione sistematica dell'argomento. E anche quantitativamente l'argomento appare poche volte. Come mai questa scarsa presenza nel sistema educativo formale di un'educazione ai SC, e più in generale a un'educazione alla complessità, nonostante la maggior parte degli attuali problemi più pressanti presenti un comportamento complesso? Una risposta che è stata data è perché o che non porta i vantaggi sostenuti oppure che questi vantaggi non sono abbastanza noti (Plate, 2010). A livello ancora più fondamentale il principale ostacolo è espresso dalla citazione a inizio capitolo, ovvero l'apprendimento dei SC è difficile (Hmelo-Silver, Azevedo, 2006). La ricerca nello studio dell'apprendimento dei SC si è orientata lungo due filoni: che cosa è difficile da apprendere e perché è difficile.

Dallo studio della letteratura di ricerca emerge che i concetti associati allo studio dei sistemi complessi sembrano essere contro-intuitivi, nel senso che contrastano con le credenze più comuni (Jacobson, Wilensky, 2006): le persone sono abituate a spiegare i fenomeni attraverso il pensiero lineare, il controllo centralizzato, il determinismo e il riduzionismo, mentre comunemente rifiutano la casualità come stimolo per l'emergere di uno schema ordinato (Jacobson, Wilensky, 2006).

Come ha affermato Jacobson in uno studio sui diversi approcci ai problemi adottati da esperti e novizi nel campo dei sistemi complessi (Jacobson, 2001; Barelli 2022), non solo vi sono differenze nei concetti conosciuti dai due gruppi, ma anche nella concezione epistemologica e ontologica delle credenze sul mondo. I novizi nel campo dei sistemi complessi adottano un approccio riduttivo e deterministico, ricercano un'unica causa per il comportamento del sistema, che considerano lineare, e una funzione del sistema. Al contrario, gli esperti nel campo dei sistemi complessi analizzano un sistema considerando le relazioni tra gli elementi e descrivendone le dinamiche in termini di processi di equilibrio. Quando si tratta di spiegare il comportamento di un sistema complesso, i novizi spesso adottano ciò che Wilensky e Resnick (1999) chiamano "mentalità deterministica-centralizzata", cioè la tendenza a: i) vedere un sistema complesso come un sistema deterministico "a orologeria", in cui gli elementi sono interconnessi come ingranaggi di un orologio; ii) pensare che i pattern

emergenti debbano essere spiegati solo con una leadership centralizzata (Wilensky, Resnick, 1999).

Nel seguente capitolo ricorrerà più volte l'espressione "pensiero sistemico", per essa si intende lo schema concettuale, correlato da conoscenze e strumenti, che guarda i sistemi nella loro completezza (Senge, 1992) e in grado di superare la "mentalità deterministica-centralizzata" (Wilensky, Resnick, 1999).

Nella prima parte di questo capitolo (2.1) si esporranno alcuni dei risultati di ricerca riguardo alla difficoltà di apprendimento dei SC. Nella seconda parte (2.2) verranno presentate le principali metodologie sviluppate per la didattica dei SC. Infine nell'ultima parte (2.3) si presenteranno gli aspetti più rilevanti per la tesi e la proposta di questa tesi.

## 2.2 - LE PROBLEMATICHE

*"Research into complex systems touches on some of the deepest issues in science and philosophy—order vs. chaos, randomness vs. determinacy, analysis vs. synthesis."*

U. Wilensky e M. Resnick

La ricerca della didattica sui SC relative alle problematiche dell'apprendimento dei SC ha prodotto una vasta letteratura. Come detto precedentemente, il tema centrale è il fatto che i SC e il loro comportamento sono controintuitivi per le persone, anzi sono addirittura in contraddizione con le loro credenze comuni.

Partiamo dal piano concettuale. Uno dei concetti più travisati è quello di livello, fondamentale per comprendere l'emergenza. In (Wilensky, Resnick, 1999) vengono individuati tre diverse interpretazioni del concetto di livello: a organigramma (i livelli equivalgono a gradi di gerarchia come in un esercito), a contenitore (un livello è contenuto dentro un altro, come un mese contiene trenta giorni), emergente (i livelli emergono dalle interazioni tra le varie parti del sistema). Quella che più si adatta ai SC è la terza e risulta poco comune. Questa confusione sul concetto di livello è una delle caratteristiche della "mentalità deterministico-centralizzata". Sempre l'emergenza è un concetto difficile per gli studenti con sole lezioni in classe e attività basate sui

modelli (Wilensky, Jacobson, 2006) e questa mancata comprensione è figlia a sua volta di una mancata comprensione della causalità multipla, al cui posto viene applicata una causalità lineare (Perkins, Grotzer, 2000) (Hmelo-Silver, Pfeffer, 2003) (Plate, 2010). Tutto questo porta a una difficoltà notevole nella capacità di prevedere come si comporterà il sistema. In generale per la comprensione dei SC non basta focalizzarsi sui concetti dei SC (Jacobson, 2001), ma viene richiesto un radicale cambiamento concettuale (Jacobson, Wilensky, 2006) (Perkins, Grotzer, 2000), una nuova ecologia concettuale (Jacobson, 2001).

Ma i cambiamenti richiesti non si limitano al piano concettuale. Anche il piano ontologico e quello epistemologico sono coinvolti. L'ontologia relativa ai SC si scontra contro la "mentalità deterministico-centralizzata". Quest'ultima è frutto di secoli in cui l'educazione scientifica si basava su meccanicismo, determinismo e riduzionismo (Bielinskyi, 2021). Tutti questi paradigmi sono inadatti per comprendere e gestire i SC. Dalla ricerca è emerso come ci sono delle differenze nette a livello di credenze fondamentali tra "gente comune" e "esperti". (Jacobson, 2001). In particolare è emerso come le ontologie più difficili da apprendere siano la non-linearità e il comportamento stocastico (Charles, D'Apollonia, 2003) (Jacobson et al., 2008). Altra credenza radicata è la totale opposizione tra caos e ordine (Resnick, 1996) (Stavrou, Komorek, 2008) (Jacobson, Wilensky, 2006). Per la maggior parte delle persone si tratta di due concetti opposti, dove è presente l'uno, l'altro va escluso. Ma nel capitolo 1 si è visto come il fenomeno dell'autoorganizzazione smentisce questa credenza.

Anche sul piano epistemico i SC risultano latori di una nuova visione in contraddizione col pensiero comune (Barelli et al., 2018). Specialmente vi è una spiccata preferenza per la casualità lineare a scapito di quella circolare. (Plate, 2010) (Barelli et al., 2018) (Hmelo-Silver, Pfeffer, 2002) (Perkins, Grotzer 2000). Questo è correlato a una tendenza a focalizzarsi sulle strutture, essendo più facilmente percepite e disponibili, oltre a richiedere una quantità di dati da processare minore, invece che sui comportamenti del sistema e sulle funzioni degli elementi (Hmelo-Silver, Pfeffer, 2002).

In fondo da segnalare i problemi di altra natura, innanzitutto uno di tipo tecnico. In generale gli educatori non sono preparati a supportare gli studenti nell'apprendimento

tramite le nuove tecnologie, es. le simulazioni al computer (Hmelo-Silver, Azevedo, 2006). Inoltre la troppa “scientificità” dei nuovi concetti rischia di sconfortare chi vi si avvicina (Barelli et al., 2018). Infine passando a una prospettiva più generale le abilità di modellizzazione e simulazioni, così fondamentali non solo per i SC ma per la vita umana in generale, rimangono escluse dai programmi scolastici e pertanto gli studenti dispongono di poche “risorse” per costruire modelli; eppure queste dovrebbero essere allenate soprattutto nel caso dei SC siccome sono più difficili da modellizzare e simulare (Niazi, Temkin, 2017).

## 2.1 - LE METODOLOGIE

*“Ogni soluzione genera nuovi problemi”*

Corollario n. 7 della legge di Murphy

Una delle risposte alle problematiche appena esposte è stata la ricerca e la progettazione di nuove metodologie. L’adagio recita “Per nuovi problemi, servono nuove soluzioni”. Ma prima di iniziare bisogna tenere conto della citazione a inizio capitolo. Infatti per problemi nuovi ci vogliono soluzioni nuove ma le nuove metodologie hanno portato a loro volta altre problematiche. Detto ciò, si può cominciare a trattare delle principali metodologie sviluppate in ambito della didattica dei SC. Si possono suddividere in tre tipologie:

- Costruzione di grafici di casualità circolare
- Utilizzo di simulazioni al computer
- Utilizzo di simulazioni partecipate

La casualità circolare rappresenta uno degli aspetti peculiari dei SC, è uno dei mattoni fondamentali della dinamica di un dato sistema. Quindi essere in grado di sviluppare una mappa mentale di cause ed effetti è un passo fondamentale nella comprensione della dinamica di un sistema (Plate, 2010). È un’abilità che gli studenti devono acquisire per arrivare alla comprensione e manipolazione dei SC. In uno studio risalente agli anni ’70 (Roberts, 1978) si è dimostrato come l’abilità di comprendere, individuare e saper rappresentare le dinamiche di retroazione sottostanti a un sistema siano acquisibili dalle elementari. In questa sperimentazione attraverso un percorso di analisi e sintesi

si è mostrato come i bambini delle elementari potevano apprendere concetti solitamente insegnati all'università. Una parte fondamentale di questa attività era il saper riconoscere e saper costruire dei grafici di casualità circolare dato un certo tipo di situazione. L'altro utilizzo dei grafici di casualità circolare è stato come strumenti di misura (Plate, 2010). Attraverso un tipo di test detto CMAST, basato sulla costruzione di mappe di casualità, si è misurato in maniera quantitativa la differenza tra chi aveva nel proprio curriculum un percorso sul pensiero sistemico e chi non nell'approcciarsi ai SC. Va aggiunto che l'autore sottolinea che la costruzione di mappe causali non lineari è condizione necessaria ma non sufficiente per la comprensione della dinamica del sistema.

La seconda tipologia è la simulazione al computer. La possibilità di studiare i SC si è sviluppata in seguito all'utilizzo dei calcolatori. Queste macchine in grado di compiere una quantità enormi di operazioni in tempi brevissimi hanno reso possibile la simulazione dei SC diventando dei laboratori "digitali" per l'analisi di questi fenomeni altrimenti irreplicabili. Da qui il passo è breve all'idea di introdurre questo strumento nella didattica dei SC, un ragionamento analogo agli esperimenti di meccanica in laboratorio mentre si studiano la cinematica e la dinamica. Pionieri in questo campo negli anni '90 sono stati U. Wilensky e M. Resnick, i quali si sono focalizzati in particolare sul concetto di livello di un sistema (Resnick, 1996) (Wilensky, Resnick, 1999). Dopo aver creato una piattaforma di programmazione molto semplice per simulare i sistemi complessi, StartLogo, usufruibile senza la necessità di competenze avanzate di programmazione, hanno condotto degli studi basati sull'idea che osservare non fosse sufficiente per comprendere i SC. Infatti gli studenti rimanevano stupiti dei comportamenti dei sistemi. Per i due ricercatori era necessario far sì che i ragazzi costruissero loro stessi i modelli, applicando un approccio costruttivista. Inoltre queste simulazioni possono essere usate come parte della strumentazione per misurare la comprensione dei SC (Jacobson, 2008)

L'idea di fondo dei due ricercatori sopramenzionati, cioè che la crescita cognitiva sia possibile solo tramite "a dance between diving-in and stepping-out" (Ackermann, 1996), li ha portati alla sperimentazione di un'altra metodologia: le simulazioni partecipate (Wilensky, Resnick, 1998). La simulazione partecipata è come una simulazione al computer ma in questo caso gli agenti della simulazione sono persone

in carne e ossa che seguono delle regole precise. La simulazione permetteva di immergersi con i propri sensi nel fenomeno, coinvolgendo mente e corpo nell'apprendimento, in modo da contrastare la visione asettica e deumanizzata della scienza; inoltre erano percepite come ancorate alla realtà a differenza delle simulazioni al computer. Un altro lavoro importante riguardo alle simulazioni partecipate è il libro *System Thinking Playbook* di L. Sweeney e D. Meadows. All'interno del libro sono presenti varie attività sul pensiero sistemico e alcune di queste sono vere e proprie simulazioni partecipate di SC e pertanto atte alla comprensione dei SC (Maines, 2019).

Infine va segnalato anche l'utilizzo di videogiochi che simulano i SC per l'apprendimento. Un esempio è *ChangeGame* (Lonidetti, 2021).

### 2.3 - CONSIDERAZIONI

I vari ricercatori incontrati fino a questo punto hanno lasciato varie suggestioni. Le più interessanti parlano di applicare un approccio costruttivista dove il discente costruisce la propria conoscenza tramite un ruolo attivo, un apprendere legato al fare (Jacobson, Wilensky, 2006) (Bilsen et. al., 2010). Un costante appello a proporre agli studenti problemi che siano interessanti e stimolanti, il tutto immerso in un'ambiente di collaborazione e cooperazione condivisa così da confrontarsi con le varie sfaccettature dei vari casi in modo da facilitare l'utilizzo dei concetti appresi in vari ambiti e stimolare la costruzione di artefatti e rappresentazioni comuni (Bielinskyi, 2021) (Jacobson et al., 2008) (Jacobson, Wilensky, 2006) (Jacobson, 2001).

Riprendiamo quanto esposto nel capitolo. I SC risultano di difficile comprensione perché contro le credenze comuni e poiché richiedono profondi cambiamenti a livello concettuale, ontologico ed epistemico. Non si può pensare pertanto a un insegnamento dei SC basato solo su lezioni in classe focalizzate sui concetti. Servono interventi più profondi e che coinvolgano in maniera non superficiale, di pari passo a un continuo allenamento a modellizzare e a simulare. Bisogna cambiare la mentalità e ciò è possibile solo immergendosi nei SC, invece di studiarli con asetticità, e divenire progettisti di SC in modo da influenzarli. Uno dei concetti basilari da apprendere nei SC è la casualità circolare senza la quale non si può comprendere l'emergenza, oltre che a

spostare la visione dalle strutture alle dinamiche; è stato visto che questo concetto è acquisibile fin dalla scuola elementare. Il tutto all'interno di un ambiente interdisciplinare e che dialoghi con i vari ambiti in cui i SC sono presenti, meglio se in una cornice narrativa che coinvolga e sia in grado di trasmettere un senso.

A tutto questo bisogna aggiungere che gli studenti non sono dotati degli strumenti di analisi statistica per un approccio quantitativo ai SC, essendo tali strumenti molto raffinati e richiedono una preparazione specialistica. Quindi è necessario un approccio che stimoli l'analisi quantitativa ma in cui l'analisi qualitativa possa avere un ruolo importante di facilitazione.

Delle metodologie sopra esposte la più particolare e meno approfondita è la simulazione partecipata. È uno strumento non associato all'ambito scientifico solitamente. Pertanto rappresenta un campo di ricerca interessante, appunto perché poco approfondito. Tuttavia, basandosi sulle problematiche sopra esposte, un approccio costruttivista è irrinunciabile per l'insegnamento dei SC. Dunque è necessario che gli studenti siano in grado di poter scegliere almeno in parte il proprio corso di azioni, come per le simulazioni al computer. Si tratterebbe di attività inquadrata in un certo sistema di regole in cui gli studenti hanno un ruolo di protagonisti attivi. Un'attività che corrisponde a questi criteri è il gioco. Nonostante i giochi siano poco presenti come strumenti per la didattica delle scienze, presentano una serie di caratteristiche che li fanno sembrare molto adatti per l'apprendimento dei SC; in particolare, tra le varie tipologie di giochi, i giochi da tavolo siccome danno una particolare enfasi sulle regole. Infatti nei giochi da tavolo i giocatori interagiscono con le regole in maniera attiva siccome per raggiungere il proprio scopo è necessario fare scelte che, non solo tengano conto del sistema di regole, ma che lo sfruttino in maniera ottimale e migliore rispetto agli avversari. L'ipotesi di ricorrere ai giochi da tavolo come metodologia per la didattica dei SC viene rafforzata dal fatto che i giochi da tavolo sono dei sistemi: hanno degli elementi che li compongono, delle regole interne che regolano il comportamento tra i vari elementi. Pertanto i giochi da tavolo si prestano a implementare modelli. L'emergere dei concetti principali dei SC potrebbe avvenire ricorrendo alla pratica del debriefing, stimolando la riflessione e la metacognizione. Sulla base di queste promettenti considerazioni, si è scelto di indagare la possibilità del

gioco come strumento dei SC. Tale indagine, unita a un inquadramento del ruolo del gioco nella didattica, sarà l'argomento del capitolo 3.

### 3 - IL GIOCO COME METODOLOGIA DI INSEGNAMENTO E LA RICERCA SUL GAME DESIGN

*This above all: games are not valuable because they can teach someone a skill or make the world a better place. Like other forms of cultural expression, games and play are important because they are beautiful. Appreciating the aesthetics of games – how dynamic interactive systems create beauty and meaning – is one of the delightful and daunting challenges we face in this dawning Ludic Century.*

E. Zimmerman

Il capitolo 2 si chiudeva con l'affermazione che il gioco era una possibile naturale "soluzione" ai problemi legati alla didattica dei SC. In questo capitolo si darà conto di questa affermazione.

Introduciamo il "Manifesto for a Ludic Century" di E. Zimmerman, un brevissimo saggio pubblicato nel 2003. Questo saggio, organizzato come manifesto, è costruito su una serie punti. Riporto brevemente gli aspetti che secondo me sono più interessanti rispetto a questo lavoro di tesi (Manifesto per un secolo ludico):

- I giochi sono antichi, sono parte fondamentale dell'uomo.
- Il XXI secolo sarà un secolo profondamente diverso dal XX. Tutto è molto più connesso e complicato, a partire dalle informazioni.
- Viviamo in un mondo di sistemi.
- C'è la necessità di essere giocosi, in quanto la giocosità è fonte di creatività e innovazione
- Dobbiamo pensare come progettisti, in particolare come progettisti di giochi
- I giochi sono un'alfabetizzazione che può farci affrontare i nostri problemi
- I giochi sono belli. Non hanno bisogno di giustificazioni.

Tirando le somme, il saggio porta ufficialmente e completamente alla ribalta l'homo ludens, avverando le parole di Huizinga (vedi 3.1) di quasi cent'anni fa: "Quando noi uomini non risultammo così sensati come il secolo placido del "culto della Ragione" ci aveva creduti, si dette alla nostra specie, accanto al nome di homo sapiens, anche quello di homo faber - uomo produttore. Termine che era meno esatto del primo

perché anche più di un animale è faber. Ciò che vale per fare, vale anche per giocare: parecchi animali giocano. Tuttavia mi pare che l'homo ludens, l'uomo che gioca, indichi una funzione almeno così essenziale come quella del fare, e che meriti un posto accanto all'homo faber.” (Huizinga, 1938)

Questo capitolo si articola in quattro sezioni. Si comincerà trattando sul gioco in sé, rappresentazione e definizioni (3.1). Poi si passerà al gioco applicato alla didattica (3.2) e in particolare nella didattica della fisica, presentando potenzialità e criticità. Si proseguirà con un focus sui giochi da tavolo (3.3) con una breve disamina su alcuni dei giochi da tavolo per la fisica. Infine nell'ultima sezione (3.4) si ritornerà ai SC e si illustrerà come i SC possano essere compresi e sperimentati attraverso una pratica educativa basata sul gioco, esso stesso etichettabile come SC. Argomenteremo le numerose opportunità in ambito educativo che si aprono con questa prospettiva.

### 3.1 - COS'È IL GIOCO?

Partiamo dall'inizio. L'uomo ha da sempre giocato. Anzi ha giocato prima di essere uomo, infatti anche gli animali mammiferi giocano (Huizinga, 1938). Ma perché gioca? E che cosa vuol dire giocare? Fino al XX c'erano sostanzialmente due tesi: l'uomo giocava perché era una funzione biologica oppure l'uomo gioca per svagarsi, rilassarsi. La prima sorgeva dal fatto acclarato che anche gli altri animali giocano. Pertanto è una funzione biologica che condividiamo con altre specie. Ma se è una funzione biologica qual è il fine? È possibile trovare solo delle risposte parziali che in quanto parziali fanno intuire che ci sia qualcosa di più. Il gioco come svago, rilassamento sembra a prima vista un'argomentazione solida. Nel più antico trattato sui giochi che conosciamo, il medievale “Libros de los juegos” di Alfonso X di Castiglia, i giochi sono i tanti modi che l'uomo ha trovato per avere l'“alegría” che ha origine divina e serve per “sopportare le preoccupazioni e le fatiche”. Quindi uno svago, un rilassamento. Ancorché, basta riflettere un attimo e verranno in mente parecchi esempi tratta dalla propria esperienza in cui il giocare è tutt'altro che rilassante. Putacaso una gara agonistica di corsa oppure una partita a Risiko particolarmente “accesa”. Tuttavia, già nel Libro de lo juegos si può, leggendo tra le righe, intravedere quello che verrà poi messo per

iscritto secoli dopo in un libro che rivoluzionerà la concezione del gioco e lo studio del gioco, che è poi ciò che si sostiene in questa tesi. Dalla vita sfrenata e altalenante del gioco dei dadi, passando accanto ai pezzi degli scacchi che diventano categorie sociali del tempo, fino a ritrovarsi in giochi che rappresentano il cosmo e la sua armonia, nel trattato medievale i giochi non sono meri mezzi bensì sono simboli; simboli portatori di un significato e di un senso. “Il gioco come tale oltrepassa i limiti dell'attività puramente biologica: è una funzione che contiene un senso” Questa è l'idea centrale del libro “Homo ludens” scritto da Joahn Huizinga nel 1938, dove il gioco viene analizzato dal punto di vista storico e antropologico; tale opera sarà fondamento di tutti i successivi studi sui giochi. Più nello specifico si afferma che “spingendo il pensiero fino alle ultime conseguenze del processo conoscitivo umano, si deve giungere a riconoscere che ogni azione umana appare un mero gioco” (Huizinga, 1938). Lo studioso olandese ribatte all'argomentazione che il gioco non è una cosa seria e quindi tutte le cose serie non possono essere gioco, ad esempio la politica o la religione, scardinando la dicotomia serio-ludico facendo notare come i giocatori sono seri quando giocano, i bambini non ridono quando giocano davvero, gli scacchisti sono assolutamente seri quando giocano. Dopo essersi sbarazzato degli ostacoli principali, Huizinga lancia l'affondo: il gioco come fenomeno culturale. “la cultura sorge in forma ludica, la cultura è dapprima giocata.” (ibidem). Tuttavia “ciò non significa che il gioco muta o si converte in cultura, ma piuttosto che la cultura, nelle sue fasi originarie, porta il carattere di un gioco, viene rappresentata in forme e stati d'animo ludici. In tale "dualità-unità" di cultura e gioco, gioco è il fatto primario, oggettivo, percettibile, determinato concretamente; mentre cultura non è che la qualifica applicata dal nostro giudizio storico al dato caso.” (ibidem). Pertanto il gioco è “indispensabile alla collettività per il senso che contiene, per il significato, per il valore espressivo, per i legami spirituali e sociali che crea, insomma in quanto funzione culturale.” (ibidem). Sintetizzando si può affermare che il gioco produce cultura. Il libro contiene altre interessanti riflessioni, tra cui va segnalata un'analisi in cui i principali fenomeni culturali, quali la lingua, l'arte, il sapere, hanno tutte in comune un certo carattere ludico in tutte le attività più elevate dell'uomo. Gli altri argomenti esposti, per quanto interessanti, esulerebbero dallo scopo di questa tesi.

Un altro dei capisaldi dello studio dei giochi è Roger Caillois, sociologo francese, che nel 1958 pubblica il libro "I giochi e gli uomini" (Caillois, 1958) dove espone la prima classificazione sistematica dei giochi. Questa classificazione è impostata su due dimensioni: l'atteggiamento verso il gioco e la tipologia di gioco. L'atteggiamento ha due poli opposti: *paidia* e *ludus*. La *paidia* è il giocare spensierato e sfrenato senza regole precise, ad esempio quando i bambini giocano a rincorrersi. Il *ludus* è il gioco serio, rigidamente regolato e organizzato, un esempio sono gli scacchi. Tra questi due estremi si collocano tutti i giochi che presentano in quantità variabili entrambi gli atteggiamenti. Invece le tipologie sono quattro: *agon*, *alea*, *mimicry*, *ilinx*. *Agon* è il gioco che è basato sulla competizione dove viene creata un'equità di partenza per mettere a confronto una o più abilità dei giocatori, esempio la dama e la maratona. *Alea* è il gioco basato solo sulla sorte e la vittoria non dipende dal giocatore ma da eventi imprevedibili, ad esempio la tombola e il gioco dell'oca. *Mimicry* intende i giochi di immedesimazioni in ruoli, mimica e travestimento, ambientazioni fittizie. Infine *ilinx* raccoglie i giochi che ricercano il senso di vertigine, ad esempio le montagne russe. Queste categorie non sono compartimenti stagni e un gioco può stare in tutte e quattro le categorie per diversi aspetti che lo compongono. Come esempi prendiamo due giochi noti: il famosissimo gioco da tavolo Monopoly e il secondo l'andare in altalena. In Monopoly i giocatori interpretano il ruolo di investitori in un mercato immobiliare e lo scopo è rimanere l'unico proprietario; ci si sposta secondo il risultato dei dadi lungo un tabellone su vari appezzamenti di terreno in cui bisogna pagare il proprietario oppure si può decidere di acquistare la proprietà; lo scopo è rimanere l'unico proprietario a non finire in bancarotta. Per Monopoly, rispetto all'atteggiamento la prevalenza è verso il ludus, invece riguardo alla tipologia abbiamo sicuramente alea (i dadi per andare avanti), mimicry (si finge di essere degli uomini di affari) e agon (c'è competizione diretta tra i giocatori e i soldi passano dalle mani di un giocatore che si impoverisce a uno che invece si arricchisce), invece l'ilinx è totalmente assente. Il secondo esempio è l'altalena; in questo l'atteggiamento è completamente spostato verso la paidia, poiché non ci sono regole scritte anche se esiste una consuetudine sull'uso dell'altalena, altresì la categoria è pura ilinx (la vertigine di andare sempre più forte e in alto).

La definizione di gioco è una questione tutt'altro che banale. "Durante lo scorso decennio, sono state proposte più definizioni di gioco di quanto sia mai stato fatto prima [...]. Allo stesso tempo, una definizione canonica, ma contestata, viene accettata con riluttanza[...]" (Stenros, 2017). Per definire il cosiddetto gioco si utilizzerà tale definizione che è la seguente "[il gioco] è un sistema nel quale i giocatori si impegnano in un conflitto artificiale, definito dalle regole, con un risultato quantificabile" (Salen, Zimmerman, 2003). Una seconda definizione molto simile alla precedente ma arricchita è "Un gioco è un sistema al cui interno i giocatori scelgono di impegnarsi in un conflitto artificiale, ben definito da regole, che porta a un risultato quantificabile" (Bertolo, Mariani, 2014) Cerchiamo di analizzarle brevemente. Partiamo dal fatto che si tratta di un sistema. Questa parola dovrebbe già far intendere come questa tesi possa essere nata o perlomeno produrre una certa eco dopo aver letto i capitoli precedenti. Un sistema è composto da più elementi. Nel caso del sistema-gioco si ha per prima cosa un artefatto cioè un sistema di regole, eventualmente insieme a oggetti e materiali specifici, quindi non un oggetto ma un processo. L'altro elemento sono i giocatori; sono fondamentali siccome un gioco diventa tale solo se giocato ovvero emerge solo dall'interazione dei suoi elementi. Ed è proprio dall'interazione tra artefatto ludico e i giocatori prorompe l'esperienza di gioco, il vero obiettivo di giocatori, autori di giochi e educatori (la presenza di quest'ultima categoria sarà chiara in 3.2). Nella definizione si parla di conflitto artificiale e può essere tra giocatori ma anche tra giocatori e sistema. L'artificialità del conflitto è fondamentale per creare il cosiddetto cerchio magico tra i giocatori, cioè quella particolare situazione in cui pare di essere in un momento e un luogo "altro" rispetto alla realtà che il gioco può far sperimentare. Finalmente ci sono le regole che regolano il tutto e un obiettivo preciso. Nella seconda definizione è più esplicita l'idea di scelta e il fatto che il gioco se non viene appunto scelto è grandemente depotenziato; "esso è libero, è libertà. Ogni gioco è anzitutto e soprattutto un atto libero. Il bambino e l'animale giocano perché ne hanno diletto, e in ciò sta la loro libertà." (Huizinga, 1938). Da queste definizioni vengono esclusi tutti i giochi dove la paidia prevale, ad esempio la sopracitata altalena. Infatti queste definizioni non sono adatte a comprendere tutti i giochi, ma una categoria di giochi dove prevale il ludus sulla paidia. La denominazione di tale categoria

è giochi strutturati. La didattica ludica fa ricorso esclusivamente a questo tipo di giochi. Pertanto da qui in avanti, con gioco si intenderà gioco strutturato.

Concludiamo con una breve classificazione, tutt'altro che definitiva, aggiornata delle tipologie di giochi presenti (Ligabue, 2020). Anche qui come in Caillois non si tratta di compartimenti stagni.

- Giochi da tavolo. Giochi con la presenza di un elemento competitivo o cooperativo, giocabile su un tavolo o in una stanza e che necessita di componenti di qualche tipo.
- Giochi di ruolo o di narrazione. Giochi dove i giocatori inventano una storia collettiva.
- Giochi tridimensionali. Giochi la cui caratteristica saliente è la presenza di miniature e di elementi scenici.
- Videogiochi. Giochi per un qualsiasi strumento informatico come computer, console, ecc...

In questa tesi il focus sarà sui giochi da tavolo.

## 3.2 - DIDATTICA LUDICA

*Play is how mammals learn.*

J. S. Brown

Dopo aver parlato del gioco, bisogna inquadrare in che maniera tale artefatto può essere uno strumento per la didattica. Bisogna parlare di didattica ludica.

Si partirà con una definizione, alcuni aspetti pedagogici e educativi per passare a un'analisi nel dettaglio di come questo approccio è spendibile nell'ambito della fisica.

### 3.2.1 - COS'È LA DIDATTICA LUDICA

*Bambole vestite da monaca furono i primi balocchi che le si diedero in mano [a Gertrude]*

A. Manzoni, I promessi sposi

Con didattica ludica si intende la disciplina che studia le relazioni fra gioco e insegnamento, cercando di capire come utilizzare al meglio le attività ludiche per fini didattici (Giannotti, 2013). Nonostante al momento il ricorso al gioco in ambito educativo nelle Indicazioni Nazionali del 2012 (Indicazioni Nazionali) sia limitato all'ambito della scuola primaria, la sua possibilità di applicazione copre lo spettro di tutta la vita degli individui. Normalmente un'attività di didattica ludica si articola in tre momenti (Ligabue, 2020): pre-gioco, gioco e post-gioco. Il pregioco comprende la progettazione e la preparazione dell'attività, il gioco è la fase dove i soggetti agiscono attivamente mentre l'educatore monitora, infine il post-gioco, durante il quale si tiene un debriefing in cui si riesamina collettivamente la partita e si discute sulle dinamiche e le strategie.

Il gioco nella prospettiva educativa poggia su tre pilastri:

- Il gioco come palestra di abilità: acquisire nozioni e sviluppare abilità di carattere cognitivo e socio-relazionale, quali il problem solving e la metacognizione
- Il gioco come sistema di regole: sollecita competenze etiche con al centro la libertà delle scelte e il rispetto delle regole
- Il gioco come aggregazione e socializzazione: nel gioco c'è interazione tra i partecipanti quindi una comunicazione e bisogna affrontare la questione competizione/collaborazione<sup>4</sup>

Per la didattica della fisica l'aspetto prominente dev'essere naturalmente quello di palestra della abilità, utilizzare lo strumento gioco per passare concetti e esercitare competenze. Pertanto questa tesi si focalizza principalmente su questa prospettiva.

A livello pedagogico la didattica ludica si colloca nell'alveo del costruttivismo, oggi considerato il punto di riferimento per le ricerche in didattica. Il costruttivismo concepisce la conoscenza come una costruzione attiva del soggetto e adattamento al contesto dei concetti. Secondo il prof. Ugo Besson, (Besson, 2009 in Giannotti, 2013) «gli ambienti di apprendimento di taglio costruttivistico dovrebbero:

---

<sup>4</sup> Interessante in (Ligabue, 2020) il confronto tra le competenze sviluppate nell'ambito della didattica ludica e i sette saperi necessari all'educazione del futuro di E. Morin, autore che ha ben presente la complessità come si è potuto leggere sopra.

- dare enfasi alla costruzione della conoscenza e non alla sua riproduzione;
- evitare eccessive semplificazioni, rappresentando la naturale complessità del mondo reale, e presentare compiti autentici (contestualizzare piuttosto che astrarre);
- offrire ambienti d'apprendimento assunti dal mondo reale, basati su casi, piuttosto che sequenze istruttive predeterminate;
- offrire rappresentazioni multiple della realtà e alimentare pratiche riflessive e metacognitive;
- favorire la costruzione cooperativa della conoscenza, attraverso negoziazione sociale»

La didattica ludica può soddisfare tutti questi punti:

- è necessario imparare le regole e le strategie di un gioco all'interno del gioco stesso
- il gioco deve raggiungere un equilibrio tra una noiosa ipersemplificazione e una ingiocabile ipercomplicazione per essere giocabile e apprezzabile, inoltre non esiste una soluzione unica
- le ambientazioni possono ispirarsi al mondo reale
- l'infinita gamma delle ambientazioni dà la possibilità di parlare di qualsiasi aspetto della realtà, inoltre il gioco si presta alla metacognizione tramite determinate pratiche
- Le pratiche di debriefing dopo il gioco stimolano un apprendimento cooperativo.

### 3.2.2 - DIDATTICA LUDICA PER LA FISICA

*"Dio non gioca a dadi"*

A. Einstein

La didattica ludica negli ultimi anni ha avuto un forte sviluppo nell'ambito educativo. Tuttavia il fenomeno è stato tutt'altro che omogeneo sotto vari profili. Innanzitutto se si prova ad andare su Boardgamegeek (il più grande archivio digitale di GdT), sotto la categoria educational, si trovano pochi titoli con tematiche legate alle cosiddette

“scienze dure”, l’unica eccezione è la matematica; poi gli sforzi sono stati principalmente indirizzati nelle scuole elementari dalle Indicazioni Nazionali 2012. Unendo queste due considerazioni diventa scontato che nell’ambito della fisica la didattica ludica non ha avuto una grande applicazione anche a livello di studi. Pertanto questo motiva ulteriormente questa tesi, non come coltivatrice di un terreno ben noto, ma un’esploratrice di un territorio poco battuto e ricco di risorse. Questa landa, la didattica ludica per la fisica, presenta delle insidie come tutti i territori non ancora ben mappati, ma anche potenzialità che ne motivano la perlustrazione.

Partiamo dalle criticità (Giannotti, 2013). Si tratta di una miscela tra questioni ben note alla didattica ludica e problemi riscontrati nel materiale esistente. La prima è la strumentalizzazione. Un gioco ha come requisito fondamentale quello di essere divertente. Se un gioco non è divertente, nessuno vorrà giocarci. È necessario prestare attenzione all’aspetto piacevole delle attività ludiche, altrimenti esse perderanno la loro essenza di gioco e quindi tutte le loro potenzialità. Un esempio di strumentalizzazione potrebbe essere usare un gioco a quiz con solo domande per la prossima verifica; in generale tutti i giochi nozionistici rischiano di avere questa criticità. Per evitare ciò è necessario avere buone basi di ludologia e game design, in modo da essere nelle condizioni di progettarlo “bene”. Altra criticità sono i destinatari. Essendo la fisica insegnata come disciplina autonoma solo dai quattordici anni in su, la didattica della fisica ha a che fare principalmente con individui cognitivamente adulti. Per quanto riguarda le scuole secondarie e soprattutto per le secondarie superiori c’è una esigenza forte di arrivare al raggiungimento di obiettivi disciplinari insieme al raggiungimento di competenze. Per questo motivo il gioco strutturato può essere uno strumento interessante dal punto di vista didattico sia se costruito ad hoc appunto come strumento educativo sia se costruito per essere un prodotto commerciale di livello quando la narrativa del gioco o le sue meccaniche possono concorrere alla maturazione di obiettivi disciplinari. Ulteriore difficoltà è l’empatia. Il gioco è un fenomeno sociale, oltre al fatto che l’interazione costruttiva con i pari aumenta l’efficacia dell’apprendimento, come indica il costruttivismo. Questa rischia di sparire nei videogiochi, siccome non è scontata la possibilità di interagire con altri utenti direttamente nel gioco. Poi c’è la criticità dell’incertezza e dell’interattività. Un buon gioco non deve avere una soluzione prefissata, la presenza di tale soluzione toglierebbe

tutta la tensione durante il gioco, svuoterebbe di importanza le scelte del giocatore, siccome sarebbe già nota e determinata la mossa da seguire per vincere; in più non si avrebbe una costruzione attiva della conoscenza dato che tutto si ridurrebbe a trovare la soluzione giusta. Inoltre la mancanza di incertezza è legata pure a una scarsa importanza dell'interattività tra i giocatori, che è un aspetto latore di incertezza. Senza incertezza il gioco si riduce a un'attività prevedibile e noiosa. Va notato che anche un gioco in cui l'incertezza è l'aspetto dominante su tutti rischia di diventare noioso, ad esempio il gioco dell'oca, dove l'interattività è pressoché nulla e i giocatori non prendono mai decisioni. In più la mancanza di incertezza è dovuta, anche, a una mancata interattività tra i giocatori, vedi il gioco dell'oca. Proseguendo c'è il rischio del nozionismo. Un gioco nozionistico non stimola la costruzione del sapere; più in generale qualsiasi gioco che preveda delle conoscenze specifiche che in realtà vorrebbero essere trasmesse premia solo chi già sa. Pertanto non si può dire un buon gioco didattico siccome non porta a farsi domande ma solo a dare risposte memorizzate. Tuttavia se si cambiasse prospettiva anche i giochi nozionistici potrebbero avere delle buone potenzialità didattiche. Questo cambio consisterebbe nel passaggio degli studenti da fruitori del gioco a costruttori del giochi; in questo caso la parte di costruzione sarebbe insita nel processo di ideazione e creazione del gioco. Infine troviamo la cruciale questione della realtà e della simulazione. Da una parte abbiamo sempre il rischio che il modello della simulazione sia preso come verità, problema sempre in agguato nella didattica della fisica, dall'altra nei giochi "ambientati" nella realtà, come gli sport, ovviamente le leggi della fisica sono presenti e valide, ma in tali giochi manca della trasposizione didattica. Pertanto è imprescindibile un adeguato scaffolding da parte dell'educatore che si traduce nel debriefing, sopra citato.

Riassumendo velocemente un gioco nella situazione ideale ha le seguenti caratteristiche: è divertente, è giocabile con un senso, è adatto all'età, stimola l'interazione sociale, è incerto, è interattivo, suscita domande, non richiede prerequisiti specifici, fa ricorso alla simulazione in maniera opportuna (Giannotti, 2013).

Passando alle potenzialità per la maggior parte sono state esposte in 3.2.1 e sono quelle della didattica ludica. Sottolineiamo qui la capacità di coinvolgere e intrigare

piacevolmente, cosa tutt'altro che scontata per la fisica, e la possibilità del gioco di creare credenze (Hunicke, LeBlanc, Zubek, 2004).

### 3.3 - I GIOCHI DA TAVOLO

*“La nostra unica speranza è finire la partita!”*

Jumanji

Nel XXI secolo la categoria di giochi che ha avuto la diffusione più spettacolare a prima vista sono i videogiochi. Sono dappertutto, vengono enormemente pubblicizzati, tutti li giocano e ne vengono creati una marea ogni anno. Ma in realtà c'è stata una proliferazione più notevole anche se meno appariscente: i giochi da tavolo (GdT). I GdT hanno subito un'enorme diffusione, una crescita esponenziale nella creazione di nuovi giochi (Giannotti, 2013); la cosa che più fa meraviglia è che nessuna compagnia o azienda ha mai fatto pubblicità in maniera massiccia. Come si spiega ciò? Con una constatazione semplice: i GdT piacciono molto, a tal punto che è bastato il passaparola per farli espandere immensamente. Questo è uno dei motivi per cui sono risultati la mia principale scelta per le attività di didattica ludica.

In questo capitolo si analizzeranno le peculiarità nella didattica ludica per i GdT. Poi ragioneremo sull'utilizzo dei GdT in didattica per la fisica. Concluderemo con alcune menzioni di GdT particolarmente riusciti che hanno come tema principale la fisica nei più svariati aspetti.

#### 3.3.1 - I GdT E LA DIDATTICA

I giochi da tavolo fanno parte dei giochi strutturati, come esposto precedentemente. Rispetto agli altri giochi strutturati presentano alcuni vantaggi che passeremo in rassegna velocemente.

Innanzitutto una praticità nell'utilizzo. Tutto quello che viene richiesto è contenuto nella scatola da gioco, di solito facilmente trasportabile, e un posto dove giocare: una stanza con tavoli e sedie. Il gioco non ha prerequisiti e non necessita di una

preesistente preparazione disciplinare. Si tratta di un mezzo molto semplice e “povero”. Queste sono caratteristiche molto importanti per chi deve portare l'attività ludica in classe..

I GdT sono in grado di adattarsi a diversi stili di apprendimento rispondendo sia alle esigenze di chi ha bisogno di concretizzare l'apprendimento, ad esempio materializzando gli aspetti astratti in elementi specifici del gioco, sia per chi predilige un impianto della costruzione della conoscenza più teorico; in questo caso le metafore del gioco sono la chiave per supportare l'apprendimento. “For those who learn best from concrete specifics, games transform abstract concepts. Others, who need to begin with the big picture, are supported by the metaphor(s) of the game itself. Games are ideal to accommodate different learning styles.” (Treher, 2011). Inoltre sono in grado di sintetizzare e rinforzare le informazioni in una forma altamente accessibile. In più permettono di implementare in maniera non forzata delle pratiche che aiutano l'apprendimento. Ad esempio fare pause durante l'apprendimento, migliora i risultati e nel gioco queste pause sono “incarnate” dal tempo di attesa tra un turno e l'altro; durante queste pause il giocatore ha il tempo per riflettere sull'esperienza. Poi i giochi possono svolgere il ruolo di presentare una panoramica di un tema, fornendo così un primo quadro concettuale e un aiuto a familiarizzare col tema; tutte pratiche che aiutano l'apprendimento (Treher, 2011). Infine i GdT promuovono il confronto e la comunicazione tra i giocatori tramite l'interattività e l'attività di debriefing. Quest'ultima è una pratica standard nella didattica ludica. Il suo ruolo è fondamentale al pari dell'esperienza di gioco (Ligabue, 2020). Il debriefing consiste in una restituzione dell'esperienza di gioco durante la quale si cerca di focalizzare la motivazione e il coinvolgimento dei giocatori, in modo da sfruttare il più possibile le potenzialità dell'esperienza dal punto di vista dell'apprendimento tramite pratiche di confronto e metacognizione. Il debriefing è necessario per il passaggio dalle esperienze alle conoscenze, siccome l'esperienza di per sé non è sufficiente per la costruzione di conoscenze (Treher, 2011).

### 3.3.2 - I GIOCHI DA TAVOLO E LA FISICA

*“Per capire cosa sia un modello e quale sia la sua utilità per un fisico teorico possiamo pensare al gioco del Monopoly.”*

G. Parisi

I giochi di ruolo possono essere pensati come strumenti, ovvero dei mezzi per far passare delle conoscenze e acquisire conoscenze ma possono anche essere pensati come modelli. I modelli sono il pane quotidiano della fisica, sono il bagaglio di metafore con cui il fisico interpreta e legge la realtà. I GdT possono creare delle metafore, così come lo fanno i modelli, in particolare possono aiutare a creare le metafore con cui il fisico interpreta la realtà. Per far sì che un GdT sia uno strumento per la creazione delle metafore è necessario che ricostruisca al meglio un modello fisico, partendo dalle meccaniche e dalle dinamiche, poi successivamente calarle in una qualche ambientazione. Se si parte dalla narrazione, utilizzando meccaniche e dinamiche arbitrarie, difficilmente si riesce a restituire l'idea del modello fisico.

Nella tesi di laurea di (Giannotti, 2013), viene proposto il GdT come gioco in grado di soddisfare tutte le caratteristiche di un gioco ideale per la didattica ludica della fisica (vedi 3.1.2). In particolare, propone la sottocategoria dei cosiddetti eurogames, giochi basati principalmente sulla comprensione delle meccaniche di gioco e ideazione di adeguate strategie di gioco con regole abbastanza semplici.

Ma quali sono i vantaggi specifici dei GdT per la fisica a livello di apprendimento? In un articolo di (Chiarello, Castellano, 2016) sull'apprendimento di temi della fisica moderna tramite i GdT, si elencano i seguenti motivi:

- La natura giocosa e coinvolgente dei giochi da tavolo facilita l'attenzione, la concentrazione e la motivazione dei giocatori.
- Nel corso del gioco i giocatori sperimentano una "sospensione dell'incredulità" che li prepara ad accettare idee anche lontane dall'esperienza quotidiana.
- Giochi da tavolo permettono un "learning by doing" fornendo sviluppo pratico e diretto di competenze e conoscenze
- Grazie alla competitività e alla voglia di vincere, i giocatori sono invitati a comprendere a fondo le regole del gioco.

- Tempo di attesa tra turni stimola riflessione e discussioni
- Tempo di attesa facilita chiarificazioni e spiegazioni in maniera non disturbante da parte di insegnante

A conclusione dell'articolo, si riporta che i GdT hanno dato risultati migliori in: intrigare e motivare gli studenti, catturare interesse con le spiegazioni, dare metafore, esempi e analogie, spingere gli studenti a una più profonda comprensione degli aspetti fondamentali.

A questi pregi, va aggiunto un altro punto. I GdT stimolano un'analisi quantitativa, siccome in un GdT un fenomeno fisico va per forza quantificato, pertanto l'ottimizzazione delle strategie prevede un'analisi quantitativa (Giannotti, 2013). Inoltre si possono aggiungere varie competenze cognitive sopra citate quali il problem solving.

Nella sperimentazione (Chiarello, Castellano, 2016), si è arrivati a spingere oltre al semplice giocare. Si è arrivati persino a far progettare ai soggetti stessi un gioco basato sulla fisica. I primi risultati sono incoraggianti, ma necessitano di ulteriori ricerche e analisi.

### 3.3.3 - ESEMPI

*"Maybe good games about physics are rare because the laws of physics are not made for interesting gameplay, but for making our world work."*

F. M. Marquès

Per volontà di completezza, dopo una lunga trattazione sui giochi per la didattica della fisica elenchiamo alcuni dei migliori esempi di GdT che incorporano meccanismi fisici. Così da avere una prospettiva più completa dell'argomento, non limitandosi alla trattazione ma visionando anche l'applicazione pratica.

Big\*Bang di F.M. Marqués, pubblicato da Nestorgames. Una sorta di versione della dama ma in questo caso i due schieramenti rappresentano la materia e l'antimateria presenti all'inizio del nostro universo. Attraverso una serie di mosse, i giocatori cercano di assicurarsi più condizioni di vittoria rispetto all'altro. Queste condizioni di vittoria

rappresentano i meccanismi che hanno portato la prevalenza della materia sull'antimateria nel nostro universo.

Spin glasses di Alexander K. Hartmann. Sviluppato presso University of Oldenburg e usato per l'insegnamento in ambito universitario, si tratta di un gioco per due giocatori con una componentistica molto semplice (è possibile costruirlo a casa). I due contendenti si sfidano su una speciale scacchiera: un reticolo di vetri-spin. Ogni nodo di questo reticolo ha solo due stati possibili. Lo scopo del gioco è fare più punti possibili raggiungendo certe configurazioni del reticolo per ottenere più punti possibili.

PIXEL - Picture (of) the Universe è un gioco da tavolo di Andrea Ligabue, Giannandrea Inchingolo, Rachele Toniolo, Sara Ricciardi e Stefania Varano; sviluppato dall'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) all'interno della collaborazione con il GAME Science Research Center (GSRC) e simula il mondo della ricerca astrofisica. In particolare PIXEL si propone di simulare la gestione di un centro di ricerca per lo studio di diversi oggetti dell'Universo, cercando di osservarli con una risoluzione sempre migliore.

Nell'articolo (Chiarello, Castellano, 2016) vengono presentati tre giochi per l'insegnamento di temi riguardanti la fisica moderna. Quantum race, un gioco di corse dove valgono alcune delle leggi della meccanica quantistica. Lab on chip, un labirinto particolare per spiegare il sistema immunitario e le nanotecnologie per lo studio di questo. Time race, di nuovo un gioco sulle corse ma questa volta con le leggi della relatività ristretta.

Net war di Giacomo Scettri. Un gioco dove i giocatori cercano di ottenere il controllo di porti sul Mediterraneo e testato per l'apprendimento di concetti della network science

Infine citiamo Harvest in (Sweeney, Meadows, 2010). Un gioco creato nell'ambito dell'apprendimento del pensiero sistemico. Il gioco consiste in uno sfruttamento delle risorse; fondamentale è individuare i cicli di retroazione.

### 3.4 - DIDATTICA LUDICA PER I SC OVVERO I GIOCHI COME SC

A questo punto ci si pone la domanda: “In che modo si possono relazionare i GdT con i SC?”

#### 3.4.1 - I GIOCHI COME SC

Un primo collegamento è possibile trovarlo nella definizione di gioco esposta in 3.1. Il gioco viene definito come un sistema. Per far luce ulteriormente su questo aspetto, bisogna tornare al saggio citato a inizio capitolo “Manifesto for a Ludic Century” (Zimmerman, 2014). Lo si riassumerà per sommi capi, sottolineando le parti più pertinenti a questa tesi, poi ci sarà un approfondimento, facendo ricorso a un articolo (Babini et al., 2021) che partendo dal Manifesto sviluppa alcuni temi, tra cui l’alfabetizzazione mediatica del gioco (AMG) e i SC. Zimmerman dice che i giochi sono antichi, accompagnano l’uomo da sempre e forse sono il più antico sistema interattivo inventato dall’uomo. Il XX è stato il secolo dell’informazione, ora nel XXI l’informazione si è messa “in gioco” aumentando la complessità e pertanto si è passati da media lineari, es. i giornali, a media più sistemici, modulari, personalizzabili e partecipativi. Insomma da esperienze lineari a esperienze ludiche. Viviamo in un mondo di sistemi che si intrecciano tra loro e per una realtà del genere, i giochi sono appropriatissimi. C’è bisogno della giocosità in quanto motore di innovazione e creatività. È necessario avere una relazione attiva con i sistemi, ovvero non solo dobbiamo imparare a gestirli, ma a modificarli e migliorarli, bisogna essere progettisti. I giochi sono un’alfabetizzazione; non solo, sono un’alfabetizzazione necessaria in questo secolo. Nel secolo ludico tutti saranno progettisti ludici. I giochi sono belli non hanno bisogno di essere giustificati. Sono belli e creano significato. L’articolo (Babini et al., 2021) si concentra sull’alfabetizzazione ludica e su come questa possa aiutare nel nostro mondo sempre più complesso, siccome la AMG sarebbe uno strumento per renderci partecipanti attivi. Innanzitutto le abilità cognitive sviluppate durante i giochi in genere sono molto più complesse di quelle sviluppate in classe; dopodiché si espone che per l’AMG i SC sono sistemi di apprendimento. Dopo aver spiegato cos’è un SC, si dà una motivazione del perché siano così interessanti ovvero “how mysterious its behavior

can appear, and how incredibly hard is to predict how it will behave. It is the seeming simplicity of these systems that baffles scientists when instead they generate different intricate patterns.” Segue una affermazione cruciale ossia i giochi sono SC in base alla definizione che danno di SC “Complex systems are described as large systems of heterogeneous parts, interconnected hierarchically without centralized control. Every individual part interacts with other local parts (neighbors), which in turn generates a global behavior. In other words, it is from local interactions with simple rules that complex patterns can emerge.”. E in virtù di ciò promuovono il pensiero sistemico. “A framework for seeing interrelationships rather than things, for seeing patterns of change, rather than static snapshots.” Per risolvere i problemi di oggi, sempre più complessi, occorre un pensiero ludico, transdisciplinare dove i sistemi vanno analizzati e riprogettati. E perciò i giochi sono adatti. Non solo, viene ribadito il vantaggio educativo del gioco come luogo protetto dove c’è la paura dello sbaglio. Infine sottolinea la necessità di cambiare i sistemi, non solo di comprenderli. Questa conoscenza profonda si ha solo se si guarda il mondo come (game) designer.

#### 3.4.2 - I GIOCHI PER L’APPRENDIMENTO E LA DIDATTICA DEI SC

Dunque i giochi possono essere SC. Questa caratteristica li rende uno strumento privilegiato per l’apprendimento dei SC. Questo perché gli elementi basilari del gioco, ovvero le meccaniche e le dinamiche sono elementi in comune tra i SC e i giochi e per entrambi sono aspetti essenziali. In questo caso le caratteristiche dell’argomento non hanno bisogno di essere tradotte nel gioco facendo ricorso all’ambientazione. Un esempio riguardo alle dinamiche sono la retroazione e la causalità circolare. Questa è una conseguenza diretta dell’interattività tra i giocatori stessi e tra i giocatori e il gioco. I giocatori in seguito al risultato delle proprie mosse e a quelle degli altri giocatori modificano e aggiustano le proprie. Inoltre come è stato esposto precedentemente il gioco è uno strumento in grado di sviluppare competenze quali le competenze trasversali, il problem solving, ecc...

Un esempio di competenza trasversale legata ai SC è il pensiero sistemico. Nel libro di (Sweeney, Meadows, 2010) “The Systems Thinking Playbook”, le due autrici partono

dalla domanda su come si possono aiutare le persone a essere coinvolte a tutti i livelli nell'apprendimento di come pensare e comportarsi in sistemi sempre più complessi. La loro risposta sono attività e giochi, sulla scia del gioco della birra proposto in (Senge, 1992). Questi coinvolgono mente e corpo, ritenendolo un metodo molto efficace per l'apprendimento, come abbiamo già visto; inoltre citano studi in cui si sottolinea il fatto che i giochi sono "psicologicamente più veri" dei momenti di vita quotidiana. Nel libro si sottolinea come i giochi possono rivelare i modi di interagire e di risolvere problemi dei partecipanti, illustrano il potere delle abitudini, paradigmi nella risoluzione e concettualizzazione dei problemi, riproducono archetipi sistemici, aiutano a creare un ambiente di apprendimento dove non c'è la paura di sbagliare, coinvolgono partecipanti con diversi stili di apprendimento. L'apprendimento nei giochi avviene tramite scoperta, succede qualcosa di inaspettato, o conferma, la strategia dà i risultati attesi. Questo discorso sollecita una riflessione importante: le materie scientifiche possono trarre benefici profondi dalla didattica ludica. Altresì le discipline scientifiche possono sfruttare i giochi a un livello più profondo. Infatti abbiamo visto che i giochi possono essere una palestra di abilità, di competenze cognitive. Le materie scientifiche, come la matematica e la fisica, non possono basarsi solo sui concetti ma anche sulla manipolazione di questi e quindi sono richieste paradigmi mentali, metafore, credenze. I giochi possono essere uno strumento per l'apprendimento di queste abilità. Questo vuol dire un uso più radicale di questo strumento, siccome non lo si limita a facilitatore di memorizzazione.

Per giochi e SC riveste una grande importanza il concetto del problem solving. Questo concetto è insito nei giochi, infatti come abbiamo visto precedentemente non esiste una soluzione ottimale in un gioco. Lo stesso concetto è proprio dei SC (Parisi, 2021). Nei SC è difficile trovare la soluzione ottimale, mentre è molto più facile trovare delle soluzioni subottimali, ovvero danno buoni risultati, ma non i migliori. Passando a un altro punto, nel capitolo 2 si è visto come i SC richiedano un cambio di credenze per poter essere compresi e assimilati; è stato detto che il gioco è in grado di creare credenze, fornire nuove metafore e analogie. Si è visto come uno dei concetti più difficili da assimilare riguardante i SC sia il concetto di casualità. Le persone tendono a contrapporre tra caos e ordine, hanno una inclinazione epistemologica verso il meccanicismo, ovvero se faccio A allora succede B, sempre. Invece nei SC il caos è un

ingrediente fondamentale in grado di portare un maggior grado di ordine. Questa coppia di concetti ha il suo corrispettivo all'interno dei giochi: alea e agon. L'alea è appunto legata alla casualità, all'imprevedibile, un giocatore non ne ha il controllo. L'agon è l'opposto, una situazione in cui non c'è imprevedibilità, ma è nel controllo dei giocatori (nei limiti del comportamento dei singoli giocatori, ma qui andiamo nella teoria dei giochi...). Da una parte un totale affidarsi a quello che verrà, una sorta di fatalismo e accettazione. Dall'altra una costruzione del proprio futuro, il giocatore artefice del proprio destino e che lo controlla. Nei SC si è visto come ordine e caos convivono insieme e sono in stretta relazione, sono una sorta di aurea mediocritas tra i due poli opposti. Nei giochi l'aleatorietà può essere vista in vari modi dai giocatori: la fonte dei fallimenti, un eccitante ostacolo, una frustrazione dei propri piani. Il giocatore, se ben motivato, impara a gestire questo aspetto che può essere conflittuale. Dall'intrecciarsi di questi due livelli, la casualità dei SC e l'aleatorietà dei giochi, può nascere uno strumento per imparare un nuovo approccio alla casualità ed è in questa direzione che la tesi si è spinta. Partendo dalla concezione di casualità dei SC, questa può essere tradotta in termini di aleatorietà nei giochi. Il risultato sono giochi che bilanciano l'alea e l'agon, richiedendo uno sforzo da parte del giocatore di conciliare i due elementi e cercare strategie vincenti che tengano conto di entrambe, accettando sia la mancanza di un totale controllo che la responsabilità delle proprie scelte. Dopodiché si compie l'ultimo passaggio e si ritorna al punto da cui si è partiti, i SC. Una volta abituatosi a destreggiarsi a tra le due componenti dei giochi, attraverso un adeguato scaffolding, la persona può trasferire i concetti dai giochi ai SC e portarsi come bagaglio un nuovo modo di interagire con la casualità, non più solo come elemento di puro disordine negativo.

Arrivati a questo punto della trattazione l'idea che emerge è che, seguendo la via di (Chiarello, Castellano, 2016), i SC possono essere la base da cui partire per progettare dei GdT. In fondo si è detto che i giochi sono SC; si tratta solo di renderli adeguati alle esigenze dell'apprendimento. Unendo tutto il materiale fin qui esposto, si può ricavare il suggerimento della progettazione di un GdT basato sui SC, visti in un'ottica didattica, per un apprendimento attivo e cognitivamente profondo dei SC, oltre alla promozione di competenze STEM. La funzione di questo strumento sarà propedeutica allo studio

formale dei SC, in modo da poter essere giocato da persone senza alcuna conoscenza dei SC.

Un'ultima nota che pone l'accento sulla necessità di essere game designer in questo secolo, riprendendo il Manifesto di Zimmerman. Siccome anche qui si ha una convergenza tra i giochi e i SC. In particolare qui sono i SC che possono dare un contributo ai GdT. Da una parte si ha il game design appena citato, come necessaria forma mentis per comprendere e cambiare il nostro secolo. Diametralmente si ha un coinvolgimento maggiore, e quindi un apprendimento, per i SC nel progettare i SC (Resnick, 1996). Ribadendo l'assunto che i giochi sono SC allora è chiaro come una buona capacità di design nei SC si traduca in un miglioramento come game designer. In pratica lo studio dei SC e della loro progettazione fornisce delle competenze aggiuntive al game designer per la progettazione dei giochi. Sintetizzando non limitarsi trasferire nel gioco meccanismi tipici dei SC, ma anche utilizzare quelle stesse meccaniche per raggiungere degli obiettivi di design. Una strada da testare sarebbe unire questa considerazione con l'idea di sperimentazione di (Chiarello, Castellano, 2016), ovvero unire progettazione di giochi e dei SC, in particolare la progettazione di giochi supportata dalle competenze di progettazione dei SC. Tuttavia si tratta di una tappa di un lungo e articolato percorso di ricerca. Pertanto questa tesi si occuperà solo della progettazione ludica da parte degli educatori.

## 4 - IL DESIGN DELL'ATTIVITÀ: PROGETTAZIONE, REALIZZAZIONE E VALIDAZIONE DI UN GIOCO DA TAVOLO SULLA COMPLESSITÀ

Nel capitolo 3 si è presentato il gioco come strumento metodologico nell'insegnamento/apprendimento e si sono presentate quali motivazioni hanno portato a scegliere di creare un gioco da tavolo basato sui SC.

In questo capitolo, quindi, sarà presentata la parte originale di questa tesi di laurea che consiste nella costruzione del gioco e nel processo di design che portato all'elaborazione del gioco stesso.

Il capitolo si suddivide in tre macro parti. La prima riguarda l'ideazione dei criteri di design, i principi su cui si è basata la costruzione del gioco e che ne hanno orientato la progettazione. La seconda riguarda la descrizione del processo che, partendo dalla formazione dell'idea, è terminato nella realizzazione vera e propria del gioco; il processo include anche la fase di test, di validazione e di revisione successiva del gioco che ha portato al prodotto finale vero e proprio. La terza riguarda la descrizione del gioco stesso.

Prima di proseguire e addentrarsi nel vivo del capitolo, è necessario introdurre alcuni termini tecnici tipici del game design (Hunicke, LeBlanc, Zubek, 2004): meccaniche, dinamiche e estetiche. "Le meccaniche sono le varie azioni, i comportamenti e i meccanismi di controllo offerti al giocatore in un contesto di gioco" (Hunicke, LeBlanc, Zubek, 2004). Le dinamiche sono i comportamenti "in tempo reale delle meccaniche che agiscono sugli input dei giocatori e sulle loro uscite degli altri nel corso del tempo" (Hunicke, LeBlanc, Zubek, 2004). Le estetiche riguardano la resa emotiva e visiva del gioco ovvero ciò che l'esperienza di gioco evocherà al giocatore a livello emozionale. Fa parte dell'estetica anche la costruzione di possibili maschere narrative, cioè delle storie che si possono costruire e narrare, e che animano il gioco da tavolo nel suo dispiegarsi durante "il giocare".

## 4.1 - CRITERI DI DESIGN

Nella ricerca in didattica della fisica, i *design principles* (criteri di design) sono il risultato di un processo di astrazione che parte dalla ricostruzione educativa dei contenuti scientifici da un punto di vista disciplinare, epistemologico e metodologico e che guidano la progettazione di contenuti e/o attività e/o strumenti di insegnamento. I *design principles* sono stati utilizzati in questa tesi, legati al *Model of Educational Reconstruction - MER* (Duit et al., 2012). Il modello di ricostruzione educativa di Reinders Duit è un approccio all'insegnamento della scienza che mira a favorire lo sviluppo di una comprensione profonda e flessibile dei concetti scientifici. Implica una serie di passaggi che gli insegnanti (o chi svolge il ruolo di manipolazione della conoscenza) possono utilizzare per guidare i discenti attraverso il processo di costruzione della propria comprensione dei concetti scientifici (Duit et al., 2012; Levrini et al., 2015).

Come è illustrato in Fig. 1, il MER è costituito da tre componenti strettamente correlate.

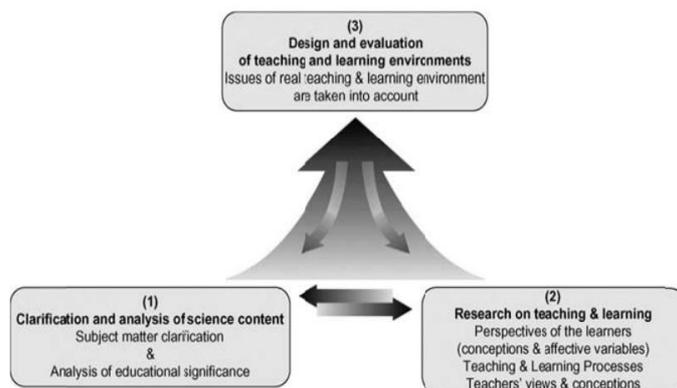


Fig. 1, le fasi dell MER da Duit et al., 2012.

**(a) Chiarificazione e analisi del contenuto scientifico.** Lo scopo di questa componente è chiarire le concezioni scientifiche specifiche e la struttura dei contenuti da un punto di vista educativo. Sono inclusi due processi strettamente collegati, il chiarimento della materia e l'analisi del significato educativo. La struttura del contenuto di un certo dominio deve essere trasformata in una

struttura del contenuto per l'istruzione, poiché le due strutture sono sostanzialmente diverse. In primo luogo il contenuto deve essere reso semplice per renderlo accessibile agli studenti, ma anche arricchito inserendolo in contesti che abbiano senso per loro. In questo processo devono essere prese in considerazione le questioni relative ai contenuti scientifici e le questioni relative alle prospettive epistemologiche e personali (le concezioni e punti di vista sul contenuto, nonché le variabili affettive come gli interessi).

**(b) Ricerca sull'insegnamento e l'apprendimento.** Sia il processo di chiarificazione e analisi del contenuto scientifico che il processo di costruzione della struttura del contenuto per l'istruzione devono essere basati sulla ricerca empirica sui processi di insegnamento e apprendimento e sul ruolo particolare dei metodi didattici.

**(c) Progettazione e valutazione di ambienti di insegnamento e apprendimento.** La terza componente comprende la progettazione vera e propria di materiali didattici, attività di apprendimento e sequenze di insegnamento e apprendimento, ovvero le attività di apprendimento che, come presentate, devono prendere in considerazione tutte le dimensioni sopra menzionate.

Applicando il modello al caso specifico di questa tesi, la prima fase ha visto lo studio e la ricostruzione della fisica dei SC. In particolare, sono stati selezionati alcuni concetti chiave fondamentali al cuore del tema dei sistemi complessi e ritenuti fondamentali per la comprensione (risultato dell'analisi dei capitoli 1 e 2). Successivamente si è scelto e progettato lo strumento didattico e pedagogico (risultato del capitolo 3). Infine la traduzione delle prime due analisi nella costruzione delle regole e delle meccaniche del gioco, inclusi i play test svolti con esperti e giocatori provenienti da vari campi, ha permesso l'attuazione della terza fase del design.

L'ideazione e la costruzione di criteri di design per un gioco da tavolo che si occupa di sistemi complessi, richiede il difficile esercizio di tenere insieme campi di studio diversi che hanno strutture, regole, obiettivi, linguaggi e anche principi e valori molto diversi fra loro. L'operazione di sintesi fra mondi così diversi richiede una delicata operazione di gerarchizzazione a cui seguono necessariamente scelte e rinunce.

Guardando dal punto di vista della scienza e, in questo caso specifico, della scienza dei sistemi complessi, un principio alla base è l'esigenza di correttezza disciplinare, rigore del ragionamento e completezza. Questi sono criteri di base che guidano una tipica ricostruzione dei contenuti.

Guardando dal punto di vista del Game Design, un gioco - per sua struttura ontologica - deve essere divertente e coinvolgente. Chiarello e Castellano (2016), hanno elaborato i seguenti criteri, che sono quelli seguiti per questo lavoro:

- Selezionare un ristretto numero di concetti chiave fondamentali per permettere e facilitare la comprensione dell'argomento e costruire tutta la struttura del gioco intorno a questi concetti
- Gli elementi di conoscenza non vanno inseriti come elementi esterni
- Le regole devono essere semplici e immediate
- Il gioco deve fruibile e godibile anche da chi non conosce l'argomento

Tali criteri saranno i riferimenti che orienteranno la fase di progettazione di questa tesi.

Ora è necessario un focus sul primo. Come si può progettare un gioco basato sulla fisica? Come riferimento si prenda l'articolo "Physics Laws as Game Rules" (Marquès, 2016). Creare un gioco partendo dalle leggi della fisica è simile alla stessa ricerca di leggi in fisica: si cercano schemi più semplici in ambienti complessi. Quali sono le caratteristiche più significative? La progettazione di un GdT sulla fisica è un cerchio chiuso. Si parte da un'analisi dei concetti fisici e dalle leggi, poi si cerca di tradurli in regole, poi queste vengono usate per creare il gioco, infine si controlla che il risultato evochi in maniera soddisfacente i concetti da cui si era partiti (e sì, è un ciclo di retroazione). Il grado di simulazione del gioco è fondamentale siccome se è troppo elevato non sarà più un gioco ma una simulazione e quelle sono da lasciare ai computer. Dunque il processo è delicato perché punta a un equilibrio tra la simulazione realistica del fenomeno e la giocabilità. Non è sufficiente usare regole semplici perché possono portare a scenari colmi di dettagli, soprattutto nel caso dei SC, penalizzando la giocabilità. Bisogna aggiungere che esistono concetti scientifici che per loro natura non si prestano ad essere tradotti in giochi essendo privi di una dimensione competitiva e divertente. In conclusione si tratta di un processo per prova, errore,

aggiustamento dove le soluzioni ai problemi possono essere trovate in maniera inaspettata. Esattamente come in un esperimento.

Questi criteri di design nella seguente tesi vengono declinati secondo i SC. Innanzitutto è necessario isolare i concetti principali dei SC e man mano scremare in modo che ne rimangano un numero esiguo ma che siano altamente significativi. Dopodiché questi concetti serviranno per selezionare dei modelli esistenti dei SC, in cui emergano in maniera forte tali concetti; dopo i modelli selezionati andranno presi, semplificati e adattati in modo da renderli la base del gioco. Un ulteriore criterio di design è l'utilizzo di concetti propri dei SC, in particolare della causalità circolare, come supporto al design stesso al fine di raggiungere determinati obiettivi nelle dinamiche di gioco.

Nel paragrafo 4.2, dedicato alla progettazione vera e propria del gioco, si mostra come i criteri di Chiarello e Castellano (2016) sono stati applicati in questo lavoro.

Oltre ai criteri di design, sono stati utilizzati alcuni principi/regole di base che hanno sempre guidato la progettazione, che sono:

- *La complessità come proprietà emergente del gioco.* Il gioco è pensato come strumento per sviluppare e allenare determinate competenze quindi deve essere giocabile anche da coloro che non hanno conoscenze a riguardo dei SC; la complessità è quindi strutturale al gioco e la si identifica quindi come proprietà emergente del gioco. Questo rende il gioco avvicinabile ad un pubblico generico e la riflessione sulle meccaniche e il processo di gioco può permettere poi di introdurre e/o riflettere sui sistemi complessi in un secondo momento solo dopo averli direttamente sperimentati e avendo in mente la propria esperienza di gioco.
- *Tenere implicito il riferimento alla scienza.* Si è visto che in alcuni associare la scienza a una dimensione ludica porta a un rigetto da parte del discente quindi si è deciso di evitare espliciti riferimenti a modelli scientifici, pur utilizzandoli come base di partenza. Questa scelta ha portato a scartare anche l'utilizzo del formalismo all'interno del gioco, concentrandosi piuttosto sulle metodologie, in modo da evitare il piano concettuale di cui se ne fa carico lo scaffolding.
- *Garantire la giocabilità (in classe).* Si è tenuto conto di una serie di restrizioni necessarie affinché il gioco fosse fruibile per le attività in classe, visto che il

target principale sono gli studenti della scuola secondaria superiore, pertanto il gioco deve avere regole semplici in grado di veicolare dinamiche NON semplici, prevedendo la possibilità di giocarlo (ed esaurire il gioco) nel tempo di un'ora scolastica.

I primi due principi hanno come conseguenza anche un principio di inclusività, permettendo di ampliare la platea di possibili giocatori, includendo persone non interessate alle scienze o con una formazione di base non a carattere scientifico.

#### 4.2 - PROGETTAZIONE<sup>5</sup>

In questo paragrafo si descriverà tutto il processo di progettazione del gioco che permetterà di vedere in azione l'applicazione del modello di *Educational Reconstruction*, i criteri del game design e i principi/regole di design.

Seguendo quanto sopra esposto, il punto di partenza è stata l'individuazione di un gruppo di concetti basilari e ritenuti significativi per la comprensione dei SC. Attingendo dalla letteratura (Barelli, et al., 2018), sono stati individuati cinque concetti dei SC più rilevanti: non linearità, sensibilità a condizioni iniziali, causalità circolare, proprietà emergenti. Successivamente la seconda è confluita nella non-linearità, visto che sono due aspetti strettamente connessi, ovvero la non-linearità è condizione necessaria per la sensibilità alle condizioni iniziali. Quindi, per non dover ideare troppe meccaniche di gioco, era meglio considerare solo la non-linearità. Poi si è deciso che il gioco sarebbe stato diviso in fasi, possibilmente una per ogni concetto. Questo avrebbe facilitato il ragionamento su ogni parte tenendo solo in parte in conto delle altre così da ridurre lo sforzo di comprensione dei modelli, ovvero è molto più facile sbrogliare più matasse da un filo ciascuna che un'unica matassa composta dai più fili. Inoltre la divisione in fasi evitava turni troppo lunghi. Il passo successivo è stato selezionare modelli di SC da utilizzare come base per le meccaniche; era necessario selezionare

---

<sup>5</sup> In questo paragrafo e nei successivi si ometteranno tutte le questioni inerenti alla componentistica. Per la creazione del gioco, e dei giochi in generale, hanno un aspetto cruciale, ma per questa tesi non sono rilevanti.

modelli in cui una delle caratteristiche fosse rilevante e il più possibile evidente e che fossero i più semplici possibili. Sono stati selezionate le equazioni Lokta-Volterra per la non-linearità, le reti complesse e il modello di segregazione di Schelling per le proprietà emergenti, il gioco Harvest per la causalità circolare. Si è cominciato a lavorare su ogni singola fase, lasciando a un momento successivo le meccaniche delle interazioni tra queste fasi.

La non-linearità si è rivelata fin dal principio molto ostica da tradurre in meccanica, non essendo possibile ricorrere a calcolatori. Si trattava della meccanica più difficile da implementare, infatti non è stato trovato un gioco in cui venisse applicata. Proprio perché sembrava una sfida così ardua, oltre ovviamente al fatto che è una delle caratteristiche precipue dei SC, si sono profusi sforzi. La linea guida era trovare le equazioni non-lineari più semplici possibili, discretizzarle e semplificare per poi trasformarle in meccaniche. Con le equazioni Lokta-Volterra si è rivelata presto un'operazione insensata: dopo poche iterazioni entrambe le specie si estinguono. Ci si è rivolti a equazioni più semplici ovvero la funzione logistica ma in questo caso non si riusciva a trovare un modo per avere un'adeguata precisione nei numeri, pertanto è stata scartata. La soluzione è stata trovata nel libro di Amaldi "La fisica del caos" (Amaldi, 2011); nel libro si parla dei diagrammi Moran-Ricker e del metodo grafico per calcolare le iterazioni. Si potevano creare una serie di grafici con vari casi dei diagrammi e i giocatori, tramite ausilio di appositi righelli, potevano calcolare l'iterazione successiva (discretizzando i valori). Tuttavia a una valutazione successiva è stato deciso di escludere la non-linearità perché appesantiva troppo il gioco.

Riguardo alla causalità circolare si era pensato di riutilizzare in toto il gioco Harvest, cambiando degli aspetti minori, e integrandolo con le altre fasi, dandogli una serie di meccaniche per le interazioni. Anche questa fase è stata scartata, per evitare di rendere il gioco troppo complicato e quindi renderlo inadatto a un pubblico ampio. Tuttavia si è prestata attenzione a inserire vari cicli di retroazione all'interno delle meccaniche di gioco, dato che si è ritenuto questo concetto dei SC irrinunciabile.

Alla fine il nucleo concettuale sono state le proprietà emergenti. Sono rimaste solo due fasi, una basata sulle reti complesse e l'altra sul modello di segregazione di Schelling. In questo modello, sono presenti due popolazioni distribuite casualmente nello stesso

ambiente, un agente emigra casualmente da dove si trova se la percentuale di vicini della stessa popolazione non supera una certa soglia; questa percentuale è un parametro. Il modello di Schelling, per quanto semplice, risultava ancora troppo complicato, essendo impossibile gestire un numero elevato di operazioni. Si è ricorso a un modello semplificato, tratto da una simulazione partecipata in (Resnick, Wilensky, 1998). In tal modo si semplificavano i movimenti, essendo gli agenti raggruppati e spostandosi in blocco e si bloccava la percentuale soglia. Tuttavia risultava ancora troppo pesante la gestione del movimento in caso di spostamenti stocastici, oltre a essere poco giocabile siccome non c'era possibilità di agire sul sistema. Il primo problema è stato risolto riducendo gli spostamenti ai soli gruppi adiacenti; per il secondo si posto rimedio aumentando il numero di popolazioni. La scelta di quanti gruppi, quante popolazioni, quanti agenti è stata fatta calcolando il comportamento del sistema nei vari casi. La scelta è ricaduta sulla configurazione che pareva dare luogo a un sistema che non raggiungeva immediatamente lo stato di equilibrio, in modo da rendere il comportamento non banale e intrigante.

Per reti complesse si intende "Network che, nel contesto della teoria matematica delle reti, presenta alcune caratteristiche topologiche di non immediata intuibilità e normalmente non rilevabili nelle reti semplici" (Treccani). Un controesempio sono i reticoli cristallini. Per questa fase si è partiti dall'idea di una rete sociale, dove i nodi rappresentano gli individui e i collegamenti le relazioni. Dopo poco si è scartata l'idea di una rete fissa da gestire da parte dei giocatori, poiché in tal caso i giocatori avrebbero imparato come sfruttare quella rete specifica. Così si è impostato una rete che i giocatori dovessero interamente costruire. In questa rete l'obiettivo era connettere i nodi in maniera più favorevole possibile. I nodi sarebbero serviti per influenzare la fase di controllo, in modo da agire come parametri. Lasciando così il sistema lo si sarebbe privato di dinamica e ci si sarebbe focalizzati sui nodi e non sulle connessioni. Quindi una visione statica, contrariamente ai SC che sono dinamici. Si è deciso di introdurre una meccanica che perturbasse le reti, ancorché questa fase risultava poco avvincente. La meccanica si è ispirata al GdT Pandemic: dei cubetti che simulavano la diffusione di una malattia. A questo punto il modello passa da una rete di relazioni, alla diffusione di una epidemia in forma discretizzata. Con questa aggiunta, il modo in cui si costruivano le reti diventava estremamente rilevante, facilitando o

meno la diffusione della malattia. Rimaneva da decidere come e dove la malattia si diffondesse. Per rimanere più aderenti possibili ai SC si sarebbe dovuto fare tutto casualmente, ma questo avrebbe reso il gioco ingestibile e molto frustrante per i giocatori, andando a deteriorare l'elemento ludus. Il come è stato reso deterministico, mentre per il dove si è optato per un ibrido, in parte casuale, in parte controllato dai giocatori.

Completati i modelli si è passato a ragionare in che modo potessero essere assegnati i punti. Si è scelta un sistema dove i punti si guadagnavano soltanto durante la fase di controllo, specificatamente tramite il controllo dei gruppi. Per rendere possibile questo si è adottata una meccanica di maggioranza per stabilire il controllo di una o più popolazioni da parte di un giocatore. Questo controllo era dato a sua volta dal controllo sui nodi delle reti. Un controllo indiretto proprio come quello sui modelli SC.

In più si sono introdotte tutta una serie di meccaniche ad hoc, per far sì il gioco fosse bilanciato, ovvero non ci fosse possibilità che un giocatore facesse troppi punti rispetto agli altri e pertanto far annoiare gli altri giocatori.

Infine un discorso a parte va fatto per la narrazione di gioco. Durante la progettazione del gioco, il focus sono state le meccaniche e le dinamiche, la parte legata all'ambientazione è stata trascurata. Arrivati in fondo si è notato, che proprio grazie ai SC e alla loro applicazione ai più svariati campi, che il gioco si prestava a più narrazioni. Questo peculiare aspetto sarà ripreso in 4.6.

### 4.3 - LA VALIDAZIONE DEL GIOCO ATTRAVERSO I *PLAYTEST*

Dopo la costruzione del prototipo, la fase successiva della creazione di un gioco è il *playtest*. Con *playtest* si intende fare giocare con il prototipo a gruppi di giocatori guidati dall'autore. Durante il gioco l'autore controlla lo svolgimento del gioco registrando gli aspetti che non funzionano o che gli imprevisti che accadono. Finita la partita c'è una restituzione dei giocatori verso l'autore durante la quale vengono dati consigli, giudizi, indicati i punti di forza e deboli secondo ogni giocatore. Si tratta di una fase molto importante nella creazione di un gioco prima di avere il gioco pronto per essere giocato.

Di seguito si elencano i playtest effettuati e le principali questioni sollevate in ognuno.

#### 1° playtest

- Si è diviso il turno di gioco in tre, aggiungendo una fase finale legata alla diffusione dei cubetti.
- L'ordine del turno viene stabilito in base ai punti in modo da svantaggiare il giocatore con più punti
- Si è consigliato di usare esagoni invece che quadrati per motivi grafici e aumentare le connessioni possibili.

#### 2° playtest

- Si è deciso di passare da 20 a 10 turni sennò il gioco superava l'ora di durata
- Si è proposto di introdurre una soglia oltre cui aumentare il numero di cubetti per rendere le dinamiche di gioco più instabili
- Si è stabilito che dove posizionare i cubetti sarebbe stato determinato dal tiro di due dadi, un d10 e d8.
- Si è proposta di cambiare il primo a stallo a ogni turno, ma poi la regola è stata accantonata perché si è ritenuto complicasse troppo.

#### 3° playtest

- Si è deciso che il ripristino dischetti avvenisse ogni tot turni per aumentare l'interazione tra giocatori.
- È stato stabilito di usare un foglio di calcolo per distribuire omini per sveltire la procedura
- Si è deciso di consegnare segnalini a chi ha maggioranza per renderlo più evidente
- La fase della diffusione è diventata la prima fase per dare rilevanza a questa fase anche nell'ultimo turno.
- Si è suggerito di inserire una dinamica che a fine partita che coinvolgesse i cubetti e premiasse chi avesse meno dischetti con cubetti nella propria rete
- In caso di pareggio tutti i giocatori in pareggio piazzano i cubetti.

#### 4° playtest

- Si è verificato che il gioco non funziona per due giocatori.
- Si è reso esplicito che gli spostamenti degli omini non dipendono direttamente da controllo.
- Si è deciso di dare un solo punto per casella e non in base a colori a chi arrivava secondo per uniformare e non rendere troppo vantaggioso il secondo posto.
- Si è stabilito che nel caso di tre giocatori si debbano usare meno tessere.
- Per il finale si è proposto di rimuovere i dischetti con i cubetti e contare collegamenti rimasti e assegnare 2 punti al giocatore a cui ne sono rimasti di più.

#### 5° playtest

- Si è sollevata la perplessità che due cubetti da rimuovere fossero troppo pochi.
- È stato verificato che funziona per 3 giocatori

Infine c'è stato un playtest finale di validazione condotto dai membri del gruppo dell'Inaf in collaborazione con il Game Science Research Center. Quest'ultimo è un centro di ricerca interuniversitario il cui scopo è promuovere, supportare e diffondere la ricerca nel campo della Game Science.

#### Validazione

- È stato proposto di tirare 8 dadi per colore per posizionare i seguaci e abbandonare il foglio elettronico di modo che l'aleatorietà fosse ben visibile ai giocatori.
- È stato stabilito che l'ordine di gioco seguisse quello del tracciato punti e, in caso di segnalini impilati, prima viene quello più in alto e a seguire fino al fondo.
- È stata proposta una versione del gioco di soli 7 turni per le presentazioni alle scuole.
- È stato stabilito di non assegnare punti ai secondi nei tracciati maggioranza in caso di parità.

- È stato proposto di creare delle carte per la facilitazione con istruzioni sullo svolgimento delle fasi e sulla diffusione.
- Si è proposto di scrivere un documento per la facilitazione e uno per il monitoraggio
- È stato proposto di non giocare la Fase 1 al primo turno.

Dopo aver aggiustato gli aspetti appena citati, il gioco è stato approvato come giocabile e godibile.

Tuttavia si è rivelato necessario un ulteriore cambiamento. Si è aggiunto la determinazione casuale del senso orario o antiorario nella fase di aggiornamento per simulare un cammino randomico. Questo è stato fatto poiché ci si è resi conto che senza si perdeva la componente casuale nell'evoluzione del sistema, un dettaglio cruciale nei SC.

#### 4.4 - LA DESCRIZIONE DEL GIOCO



Figura 1. Il prototipo del gioco con tutte le componenti

Dopo aver superato la validazione, il gioco era pronto per essere giocato. È stato dato come titolo "Sì, ma stai calmo". Le motivazioni sono due: una di tipo aneddotico avvenuta durante i playtest, l'altro è perché si tratta di un'esortazione al giocatore. Il gioco ha molta interazione tra giocatori e questo porta a conflitti che bisogna saper gestire, oltre a un suggerimento di non puntare a sforzarsi di essere sempre il primo.

In questo capitolo verrà presentato brevemente il gioco, per ulteriori approfondimenti si faccia riferimento alle appendici. Seguiranno l'analisi degli aspetti peculiari del gioco: il legame con i SC e le maschere narrative.

Il gioco è per 3-4 giocatori, è adatto a giocatori dai 14 anni in su e dura circa 60 minuti. Il gioco si compone di una plancia (Figura 2) e una tabella (Figura 3). Sulla plancia sono presenti due settori separati: il reticolo e gli stalli. Nella plancia sono inclusi il tracciato dei punti e quello dei turni. La tabella è composta da quattro tracciati di colori diversi. Nel reticolo ogni nodo è occupato da un dischetto di uno dei quattro colori della tabella. Gli stalli sono disposti circolarmente in modo che ogni stallo confini con altri due. Dentro gli stalli sono disposti casualmente tutti i seguaci dei quattro colori. Il gioco dura dieci turni, dopodiché finisce e vince il giocatore che ha totalizzato più punti.

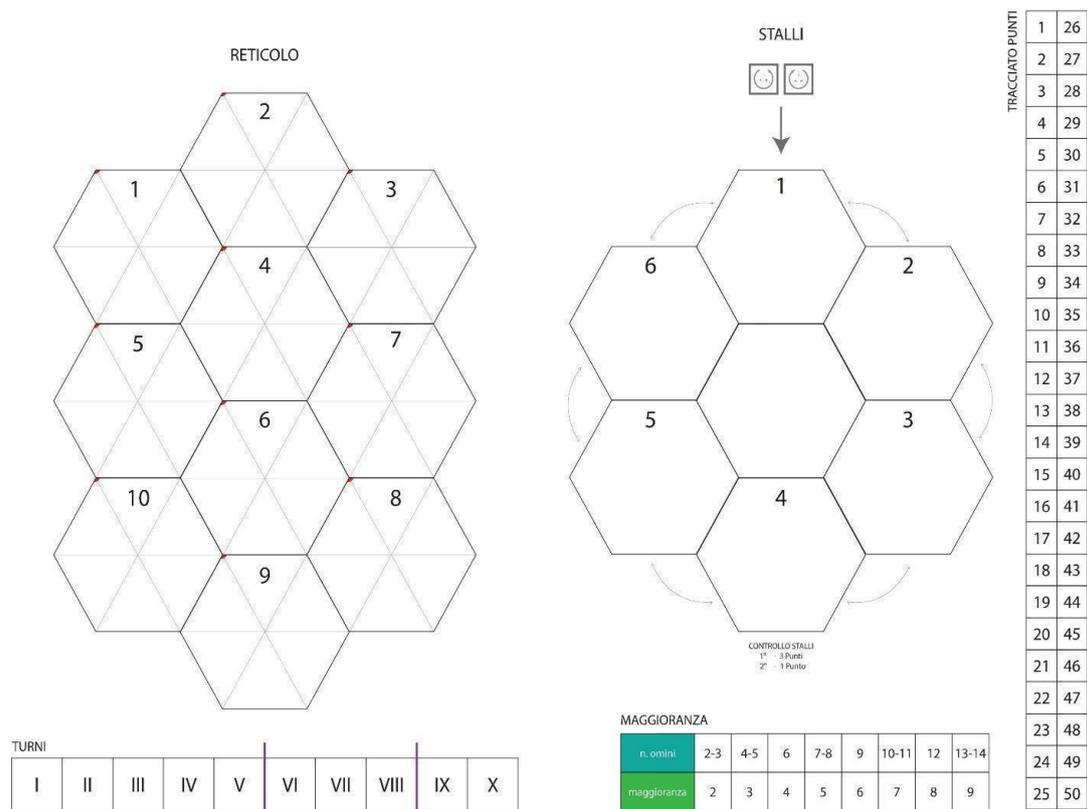


Figura 2. La plancia di gioco: a sinistra il reticolo, a destra gli stalli. Intorno i tracciati dei turni e dei punteggi, il promemoria per calcolare le maggioranze negli stalli.

13	13	13	13
12	12	12	12
11	11	11	11
10	10	10	10
9	9	9	9
8	8	8	8
7	7	7	7
6	6	6	6
5	5	5	5
4	4	4	4
3	3	3	3
2	2	2	2
1	1	1	1

TRACCIATI MAGGIORANZE

Figura 3. I tracciati maggioranze

Ogni turno è composto da tre fasi che ogni giocatore svolge. La prima fase, detta di diffusione, vedrà il collocamento di cubetti sui vari dischetti del reticolo, in parte

casualmente e in parte a scelta dei giocatori. Se c'è più di un cubetto su un dischetto, quest'ultimo "esplode". Si mette un cubetto su ogni dischetto collegato, ovvero si diffonde, viene rimosso il dischetto con i due cubetti e si rimuoveranno tutti i collegamenti adiacenti. La fase successiva si chiama fase dell'azione. In questa fase i giocatori sono completi protagonisti e possono esercitare la propria libertà di scelta. In questa fase ogni giocatore decide tra due azioni possibili: o posizionare due collegamenti propri lungo i segmenti del reticolo, così da collegare i dischetti. In tal modo potrà far avanzare i propri segnalini lungo i tracciati maggioranza in base al colore dei dischetti collegati. Oppure può rimuovere due cubetti da qualsiasi dischetto. Dopo che tutti hanno svolto un'azione, si passa alla fase di controllo. Prima di tutto il primo giocatore in ogni tracciato maggioranza ottiene il controllo di quel colore, nel caso che ne controlli più di uno, questi colori vengono considerati solo uno per tutta la fase. Si procede a controllare ogni singolo stallo in verso orario o antiorario. Se uno dei colori ha la maggioranza dei 2/3 in quello stallo, fa sì che i seguaci degli altri colori se ne vanno. Dopo aver controllato tutti gli stalli, si spostano tutti i seguaci nello stallo successivo seguendo il verso. Poi si ricontrollano tutti gli stalli per vedere quale colore ha la maggioranza. Per ogni stallo dove ha la maggioranza il giocatore che controlla il colore riceve punti. Ma se nessun seguace si è mosso, non si contano i punti e bisogna ricollocare casualmente tutti i seguaci.

Come si può vedere si tratta di un gioco ad alta interazione tra i giocatori, che avviene nel reticolo particolarmente. Inoltre vi è una componente aleatoria che impedisce la definizione di una precisa strategia a lungo termine e porta a continui aggiustamenti di tattica.

#### 4.5 - ELEMENTI DI COMPLESSITÀ

Dopo aver presentato il gioco è opportuna un'analisi per mettere in evidenza tutti gli elementi di complessità presenti nel gioco, non tutti facilmente distinguibili, a livello di meccaniche e di dinamiche.

Cominciando dalle meccaniche, come precedentemente detto ci sono dei modelli di SC alla base delle regole del gioco. Gli stalli implementano la simulazione di un modello

di Schelling semplificato. Invece di una griglia si è ricorso a sei stalli dove viene applicata la regola per determinare se la popolazione di una certa tipologia deve spostarsi. Tutti gli agenti sono disposti casualmente e si spostano in verso orario o antiorario in maniera casuale. Le interazioni tra agenti sono locali siccome riguardano solo gli agenti presenti nello stesso stallo e si tratta di una regola di maggioranza ovvero se una tipologia di popolazione rappresenta i due terzi degli agenti nello stallo, gli altri agenti se ne andranno. Lo stallo può essere visto come reificazione del "livello medio" (Levy, Wilensky, 2008), a metà tra il singolo agente e l'intero sistema, in grado di aiutare il giocatore a simulare mentalmente il sistema. Come già esplicitato in precedenza, il reticolo e le meccaniche collegate possono essere viste come la simulazione di un modello di diffusione di una pandemia discretizzato. La casualità è rappresentata dalla disposizione dei dischetti e dal posizionamento dei cubetti. I dischetti rappresentano gli agenti del sistema, i collegamenti le interazioni che avvengono tra gli agenti, si tratta di interazioni locali. La diffusione dei cubetti si basa su regole di interazioni locali siccome dipende dai collegamenti, ovvero alla struttura della rete, ad esempio esistono particolari strutture che amplificano la diffusione (vedi Nowak, 2012). Inoltre un ulteriore fattore di complessità è dovuto al controllo indiretto degli stalli attuato tramite il reticolo, in maniera analoga ai parametri di una simulazione.

Riguardo agli elementi di complessità nelle dinamiche, si aggiungono vari elementi. Cominciando dagli stalli il sistema tenderà a ordinarsi man mano che si aggiorna, ovvero le popolazioni all'interno degli stalli tenderanno a diventare più omogenee rispetto allo stato iniziale; siamo di fronte a una proprietà emergente del sistema. Nel reticolo abbiamo come proprietà emergenti delle reti dei giocatori il fatto di essere più o meno suscettibili alla diffusione dell'epidemia in base al numero di collegamenti nei diversi nodi e alle connessioni con le reti degli altri giocatori. Inoltre la diffusione dei cubetti segue un comportamento non-lineare; è possibile che la diffusione rimanga sostanzialmente stabile o che esploda improvvisamente, in base alle configurazioni delle reti e al posizionamento dei cubetti. Questo perché è presente un ciclo di retroazione positivo, ovvero l'esplosione di un cubetto porta ad aumentare il numero dei cubetti che a sua volta fa aumentare il numero di esplosioni. Poi abbiamo tutta una serie di retroazioni volte al bilanciamento del gioco, si tratta dell'utilizzo dei SC come strumento di design; principalmente si tratta di cicli di retroazione negativi.

Il giocatore con più punti diventa primo giocatore e questo gli impone degli svantaggi siccome non saprà le mosse dei giocatori successivi.

Aumentare il numero di collegamenti vuol dire aumentare la possibilità di fare punti tramite il controllo delle fazioni, ma aumentare anche la diffusione dei cubetti nella propria rete.

Aumentare il numero di collegamenti porta al superamento di una soglia nei tracciati maggioranza, la conseguenza è che i cubetti posizionati casualmente diventano due e quindi aumenta la diffusione e la possibilità che il numero dei collegamenti diminuisca.

Collegarsi ai dischetti al centro del reticolo aumenta il numero di possibili collegamenti ma aumenta anche la probabilità di avere un cubetto nella propria rete. Viceversa collegarsi ai dischetti sui bordi dà accesso a meno collegamenti ma riduce la probabilità di avere cubetti nella rete

Se le esplosioni aumentano allora diminuiscono i dischetti. Questo porta nel lungo periodo a una diminuzione delle esplosioni, visto che diminuiscono i collegamenti.

L'ultimo giocatore ha diritto a posizionare un cubetto, questo vuol dire che verranno danneggiati i giocatori con più punti di lui e quindi sarà più probabile non essere l'ultimo giocatore.

Più un dischetto è collegato più farà punti, ma tuttavia aumenta la diffusione dei cubetti.

Infine si può parlare di causalità circolare anche nell'aggiustamento delle tattiche dei singoli giocatori. Infatti una certa mossa porterà a un certo risultato e questo risultato influenzerà la mossa successiva. Così come ogni mossa influenza quelle degli altri giocatori che a sua volta influenzano le proprie.

#### 4.6 - MASCHERE NARRATIVE

Durante la progettazione del gioco ci si è imbattuti in una questione in maniera inaspettata. Durante le prime fasi della creazione del gioco, si era accantonata l'ambientazione ovvero quale fosse la narrazione dietro a questo gioco: chi

interpretavano i giocatori, cosa erano i seguaci e i dischetti, cosa rappresentavano i collegamenti, ecc... Una certa idea primitiva era presente durante la progettazione per supportare il processo creativo ma non era considerata definitiva. Verso la fine della progettazione la questione è ritornata a galla. Essendo la creazione del prototipo giunta a buon punto, si era ricominciato a parlare di quale ambientazione dare al gioco. Durante la discussione sono saltate fuori molte proposte, veramente parecchie e molto diverse tra loro, con diversi scenari, diversi toni. E la maggior parte si adattavano in maniera adeguata con facilità. Notando questo ci si è resi conto del potenziale di narrazione del gioco, dovuto soprattutto alla peculiarità dei SC di essere applicabili nei più svariati campi; il tutto unito al fatto che i giochi sono naturalmente portatori di elementi di narrazione. Si è scoperto un altro potenziale interessante, un caso di serendipità. Nel caso della didattica dei SC si è detto che la narrazione può avere un ruolo fondamentale. Infatti gli studenti riescono ad apprendere meglio se posizionati in situazioni che riguardano il proprio vissuto o i loro interessi. Il gioco ha una plasmabilità che lo rende facilmente adattabile affinché sia il più vicino possibile alle sensibilità dei giocatori. Non solo, la possibilità di giocare con ambientazioni diverse potrebbe essere in grado di promuovere il transfer cognitivo, siccome gli stessi schemi verrebbero visti in contesti diversi. Per definire questo aspetto è stato coniato il termine “maschera narrativa” a indicare la possibilità del gioco di cambiare veste molto facilmente per promuovere narrazioni diverse a seconda dello scopo. Sottostante sono riportate tre possibili maschere narrative. Più in basso una tabella con tutta una serie di maschere narrative schematizzate per il gioco dove lungo le colonne abbiamo elementi del gioco e sulle righe le maschere narrative.

Flussi migratori. I giocatori sono criminali senza scrupoli che sfruttano il problema della gestione migranti per arricchirsi illecitamente. In particolare il loro scopo è intascare quanti più soldi possibili dai finanziamenti per il sostentamento dei migranti. I colori rappresentano le etnie dei migranti, i seguaci sono i migranti e gli stalli sono le strutture dove vivono in varie regioni. I dischetti sono i politici da corrompere che hanno un’influenza su una specifica etnia. I giocatori dovranno tessere una trama di accordi sottobanco, sfruttando a loro volta le conoscenze dei politici, per ottenere il controllo indiretto su un’etnia e scacciare le altre in una regione adiacenti. Attenzione però. I

processi giudiziari potrebbero incastrare gli alleati e i giocatori più esasperati non lesineranno soffiare contro i propri avversari.

Festa di fine anno. È arrivata la festa di fine anno. Gli studenti, ovverosia i seguaci, della quattro gruppi della scuola (pallanuotiste, nerd/punk, poeti, attori), ognuno distinto da un colore, formano vari capannelli, uno per stallo. L'atmosfera però non è proprio rilassata. Nei capannelli capita spesso che se un gruppo sia in minoranza preferisca cambiar aria, non proprio un approccio aperto. Come sempre c'è chi se ne approfitta. I giocatori sono quattro papabili re/regina del ballo e sono pronti a sfruttare le loro amicizie con gente dei vari gruppi per convincerli a parlar bene di loro. Ma attenzione basta un pettegolezzo per far saltare i buoni rapporti instaurati.

Corpo umano. Ogni giocatore rappresenta una certa area di un cervello. Ognuna ha bisogni differenti e pertanto vorrebbe che i vari organi, ovvero gli stalli, facessero quello che vogliono loro. Ma questo sarà possibile solo se riusciranno ad avere la prevalenza degli impulsi che hanno mandato, ce ne sono di quattro colori diversi, in quell'organo che prontamente scacceranno gli altri. Quindi cercheranno di connettersi a più cellule nervose possibili così da controllare gli impulsi. Ma c'è rischio che un tumore mandi tutto all'aria...

Titolo	Dischetti	Collegamenti	Cubetti
Zodiaco	Stelle	Costellazioni	Distruzion e delle stelle
Wall street	Agente di borsa	Condivisione azioni acquistate	Bancarott a
Briganti	Fiancheggiatori	Complicità	Soffiate alla polizia
Festa di fine anno	Persone	Chiacchierate	Pettegolezzi
Migrazioni	Politici	Accordi sottobanco	Processi giudiziari

Colore dei dischetti	Stalli	Seguaci	Maggioranza	Spostamento dei seguaci	Punti da stalli
Tipo di stella e di carattere	Segno zodiacale	Peso delle caratteristiche nella personalità	Prevalenza di un certo carattere	Dominazione di un carattere sugli altri	Previsione oroscopo
Banca	Aziende in cui investire	Influenza sull' azienda	Maggioranza di azioni di una banca	Estromissione dal controllo dell' azienda	Dividendi dal guadagno dell' azienda
Bande di briganti	Località	Briganti	Controllo delle bande	Una banda scaccia l' altre	Brigantaggio nella località
Gruppi	Gruppi alla festa	Amici delle persone	Stretto legame tra gli amici	Gente che se ne va perché si trova male	Voti per diventare re/regine del ballo
Etnia dei migranti	Regioni	Migranti	Influenza su una delle etnie	Migranti istigati a scacciare gli altri	Truffa risorse per gestire i migranti

Titolo	Dischetti	Collegamenti	Cubetti	Colore dei dischetti	Stalli	Seguaci	Maggioranza
Mafia	Mafioso	Alleanza	Tradimento	Clan	Quartieri	“ Uomo d’ onore”	Alleanza con la famiglia
Comune medievale	Membro della famiglia	Alleanza	Congiura	Famiglia maggiorente	Feudi	Scherani	Controllo della famiglia e dei suoi scherani
Caraiibi	Porti	Rotte commerciali	Pirati	Tipologia di merce	Territori di caccia	Indigeni	Ottiene controllo su indigeni fornendo la merce di cui hanno bisogno
Corpo umano	Cellula nervose	Connessioni	Tumore	Tipo di impulso	Organi	Impulsi neurali	Segnale preciso agli organi

Spostamento dei seguaci	Punti da stalli
Una famiglia ottiene il controllo del quartiere	Traffici illeciti del quartiere
Gli scherani scacciano i rivali	Rendita dei feudi
Gli indigeni scacciano gli altri gruppi dai territori di caccia	Pellicce ottenute da caccia degli indigeni
Impulsi neurali scartati in seguito ad azione	Esecuzione di un compito

## 5 - STUDIO PILOTA

Come illustrato fin dall'introduzione di questa tesi, lo scopo e anche il risultato di questa tesi riguarda principalmente il design e la realizzazione di un gioco sui sistemi complessi e la scienza della complessità da utilizzare come strumento didattico. Anche se la tesi aveva quindi un focus sull'operazione di design come risultato principale, si è comunque deciso di progettare uno studio pilota per predisporre una prima analisi del gioco dal punto di vista della sua tenuta scientifica e metodologica ma anche della sua possibile efficacia didattica. Trattandosi di uno studio pilota relativo ad un prodotto nuovo e originale, si è deciso di utilizzare come campione dello studio pilota una varietà di esperti provenienti da settori diversi.

All'inizio si era pensato a condurre un'analisi quantitativa. L'idea è stata scartata siccome lo scopo del gioco non era passare concetti, un processo relativamente rapido, ma sviluppare determinate competenze. Per un processo del genere sarebbe stato necessario un monitoraggio molto vasto o dal punto di vista temporale, facendo giocare più volte le stesse persone, o dal punto di vista numerico, facendo giocare un gran numero di persone per confrontarle con chi persone che non avevano giocato. Entrambe le opzioni erano al di là degli scopi di questa tesi. È sembrato quindi più appropriato condurre un'analisi di tipo qualitativa, un primo "sondaggio" per ricevere le impressioni suscitate dal gioco, per constatare la capacità del gioco di parlare a sensibilità diverse e a vari livelli. Si è quindi deciso di progettare un focus group (Corrao, 2005), in cui è stato chiesto prima di giocare e poi di riflettere sul gioco a persone con specializzazioni e competenze molto differenti, tra cui esperti di giochi, ricercatori nell'ambito del game design, ricercatori in ambito didattico, ricercatori in didattica della fisica, ricercatori in fisica applicata ed esperti di sistemi complessi.

### 5.1 - MODALITÀ

Prima di tutto si è scelto il campione ristretto per il focus group seguendo il criterio della diversificazione delle competenze e degli ambiti toccati dallo strumento.

Bisognava quindi che fosse garantita almeno la presenza di un componente per tipologia di esperienza.

È stato inviato un invito tramite email ai partecipanti in cui si illustrava brevemente il lavoro di tesi, il gioco, lo scopo del focus group, data, luogo e ora. Inoltre si è fatta richiesta di compilare una breve carta identificativa per raccogliere informazioni rispetto alla propria specializzazione, alle competenze possedute e al proprio ambito di lavoro/ricerca, oltre alle aspettative rispetto all'attività.

I partecipanti sono stati suddivisi in due categorie: giocatori (che avrebbero giocato) e osservatori (che avrebbero monitorato i giocatori). I giocatori giocavano a coppie omogenee e avevano un ruolo attivo nel gioco, gli osservatori avevano il compito di tenere traccia delle strategie messe in atto dai giocatori.

Dopo una breve presentazione del progetto di tesi e dell'attività da parte del facilitatore, i giocatori sono stati divisi a coppie (eccetto un giocatore singolo), sono state spiegate le regole del gioco e si è cominciato a giocare. Durante il gioco gli uditori hanno raccolto dati e tenuto monitorate le dinamiche di gioco. Nella fase iniziale sono state spiegate le regole e le meccaniche ma non è stata introdotta nessuna storia, è stato però chiesto ai giocatori di provare a costruirsi una storia nella loro mente. Dopo il terzo turno si è fatto un momento di pausa in cui è stato raccolto un primo giro di commenti. Durante questa pausa, sono state proposte tre possibili narrazioni ed è stato chiesto ai giocatori di accordarsi sulla scelta di una della maschera narrativa da applicare al gioco. Il gioco è durato circa due ore.

Finita la partita è cominciata un'intervista collettiva semistrutturata (ispirata al protocollo costruito da Barelli (2022) per l'intervista fatta agli esperti di simulazioni di sistemi complessi) condotta da me a cui hanno partecipato sia osservatori che giocatori.

Il protocollo di intervista (vedi Appendice D) era organizzato in sezione. Ogni sezione comprendeva una o più domande. Una parte delle domande voleva indagare aspetti rilevanti in ambito di didattica ludica, come l'engagement, e sono state tratte da (Ligabue, 2020). Un secondo gruppo erano domande sempre tratte dall'ambito della didattica ludica (Ligabue, 2020) che servivano per sondare come i giocatori, esplicitando il loro approccio al gioco, le loro tattiche e strategie e motivandole,

avessero risposto agli elementi di complessità presenti nel gioco. Infine una parte delle domande era volta a sondare quanto i concetti legati ai SC fossero stati percepiti. Il protocollo era organizzato secondo una tabella di due colonne e le righe suddivise in varie sezioni secondo l'argomento. Nella colonna di sinistra c'erano le domande, mentre nell'altra colonna si trovava lo scopo della domanda in modo da facilitare il corretto andamento dell'intervista.

## 5.2 - PARTECIPANTI

Qui sotto riportiamo la tabella con tutte le informazioni recuperate a proposito dei partecipanti.

<b>Nome, ruolo</b>	<b>Backgorund professionale e stato attuale:</b>	<b>Competenze/ Esperienza in campo scientifico (fisico)</b>	<b>Competenze/Espe rienza nel campo dei giochi</b>	<b>3 hashtag che vorresti caratterizzas sero in questo contesto</b>	<b>Aspettative per il gioco</b>
G1, giocatrice	Dottoranda	Formazione di ambito umanistico.	Giocatrice a 360 gradi, appassionata di game design (ttrpg e boardgames) e di didattica ludica.	#giocaretropo #ècircamagia #pedinaviola	mi aspetto di riuscire a capire bene le dinamiche del gioco ma di avere difficoltà con tutto ciò che riguarda la fisica"
G2, giocatore	Laureato in Fisica (triennale) e Physics – Curriculum Didattica e Storia della Fisica (magistrale). Attualmente Dottorando in Didattica della Fisica	Science education, interdisciplinarietà, narrazione dei cambiamenti climatici, relatività ristretta. Partecipazion e a diverse	Poche? Ogni tanto partecipo a qualche gioco da tavolo ma non spesso.	#creativo, #curioso, #guida	Mi aspetto che questo gioco possa riservare delle sorprese per parlare di cittadinanza e complessità in un modo che sia diverso dal solito, come fare una sorta

		conferenze e pubblicazione di un paper su interdisciplinarietà della relatività ristretta.			di metariflessione. In generale sono molto curioso di scoprirne le regole e i meccanismi
G3, giocatrice	Nel 2020 ho conseguito la laurea magistrale in astronomia presso l'Università di Padova, con una tesi sull'utilizzo del gioco come strumento didattico. Dal 2019 al 2022 ho lavorato come borsista nell'ambito della didattica e divulgazione dell'astrofisica presso INAF - Istituto di Radioastronomia di Bologna. Nello stesso ambito dal 2022 svolgo un dottorato di ricerca, principalmente dedicato allo sviluppo di nuove risorse didattiche aventi come tema la radioastronomia e che sfruttano le principali metodologie innovative, come	Laurea in astrofisica	Sono co-sviluppatrice di un gioco da tavolo educativo a tema astrofisico e da due anni studio le potenzialità dell'apprendimento o tramite il gioco	#GiocareÈUn aCosaSeria #Astronomia #Apprendimento	Se penso ai "sistemi complessi" la mia mente scientifica mi fa pensare a tutte le variabili in gioco e a tutti i parametri da tenere in considerazione. Sono incuriosita dal concetto, ma anche spaventata dalla complicata teoria che si cela dietro e spero che questo gioco mi aiuti a capirli meglio senza l'utilizzo di formule complicate.

	tinkering, project based learning e game based learning.				
G4, giocatore esperto di network science	Partita iva, formatore in data science, ho lavorato come data scientist prima di occuparmi di formazione	Laurea Magistrale in Fisica, Master in Fisica dei Sistemi Complessi	Creatore di giochi da tavolo e varie esperienze di didattica ludica. Ho scritto una tesi dal titolo "Confronto fra game based learning e lezione frontale: applicazione al caso della network science"	#networkscience #gamescience #phasespace	"Oh mio Dio! Ma siamo pazzi? Che succederà?"
G5, giocatrice	Laurea in fisica, magistrale in didattica della fisica, master in comunicazione della scienza, master in cinema documentario.  Attualmente comunicatrice scientifica freelance (videomaking, motion design, giornalismo, scrittura, podcast) e dottoranda in didattica della fisica.	Didattica della fisica, interdisciplinarietà e utilizzo di nuovi linguaggi legati alle arti.	Nessuna, a parte partecipazione sporadica a qualche giocata con gli amici.	#LudendoDocere #rischioEprudenza #lastratega	Spero di divertirmi esplorando mondi che non conosco a fondo (giochi e complessità). Spero di sfruttare il gioco per imparare in modo partecipativo, cooperando e confrontandomi con gli altri giocatori.
G6, giocatore	Docente di fisica applicata	Dottorato in Fisica Applicata			

esperto di sistemi complessi					
G7, giocatrice esperta di didattica della fisica	Docente di didattica della fisica	Dottorato in Didattica della Fisica			
O1, osservatore	Creative Scientist/post doc	Dottorato in Fisica dei Plasmi	Game designer	#curioso, #giocosso, #playforabetterworld	Ho avuto già la possibilità di provarlo, non vedo l'ora di vedere come è migliorato!
O2	Ricercatore presso INAF.	Dottorato in Astronomia (Fisica)			
O3, osservatrice	Laurea in Astrofisica, Università di Bologna Master in Comunicazione della Scienza, SISSA Trieste Dottorato in Science Cognition and Technology, UniBO Attualmente Primo Tecnologo INAF	2 anni di ricerca su radiosorgenti extragalattiche	Membro Ordinario del Game Science Research Centre Progettazione giochi originali Giocatrice media (non accanita)	#stufania #nonvincomai #daje	Amo conoscere nuovi giochi. Spero di divertirmi e capire qualcosa sulla complessità (magari con semplicità).

Si può notare che le specializzazioni e i background professionali sono piuttosto variegati, questo è stato ricercato siccome si voleva analizzare la più ampia gamma di possibili interazioni con il gioco e esperienze, in modo da tracciare un quadro più completo possibile.

## SC rispetto a GdT

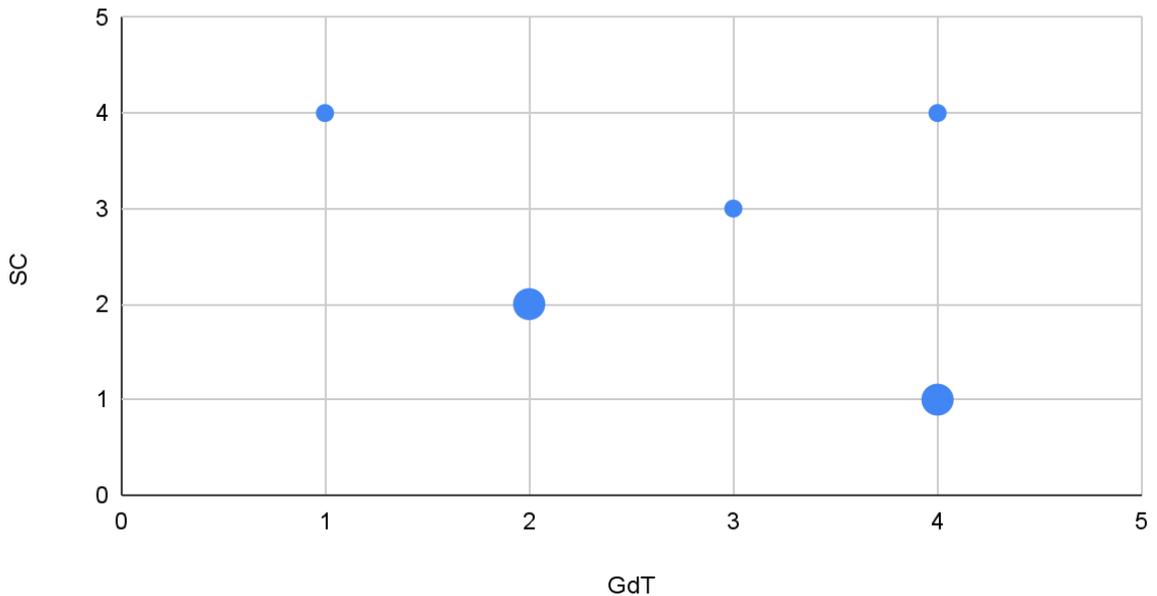


Figura 1. Visualizzazione grafica delle conoscenze ed esperienze dei giocatori riguardo a SC e giochi. La scala va da 1 (nessuna) a 4 (approfondita). I punti di maggior spessore indicano due persone con gli stessi punteggi

### 5.3 - ANALISI PRELIMINARE

Il focus group collettivo, parte giocata e intervista, sono stati audio-registrati e completamente trascritti.

Il transcript è stato suddiviso in due parti: la parte riguardante il gioco con i commenti dei giocatori relativi alle loro strategie e la parte dell'intervista collettiva con l'interazione fra giocatori, osservatori e facilitatore. Quest'ultima parte è quella che è stata utilizzata per l'analisi diretta mentre la prima parte è stata utilizzata come sorgente per la triangolazione e la verifica delle ipotesi insieme agli appunti scritti presi dagli osservatori durante il gioco.

Il transcript dell'intervista è stato analizzato attraverso un'analisi qualitativa con metodo di lavoro prevalentemente "bottom-up". In particolare attraverso un'analisi tematica (Braun e Clarke, 2006; Braun e Clarke, 2019).

Attraverso questo primo livello di analisi sono emerse tre aree macroscopiche intorno a cui si sono orientati maggiormente i discorsi vari: gestione dei sistemi complessi, gestione dell'aleatorietà, narrazione.

Nei paragrafi successivi si entrerà nel merito di queste macroaree cercando di estrapolare gli elementi del discorso che possono contribuire a rispondere alle domande di ricerca di questa tesi.

Si sottolinea nuovamente che l'analisi è ad un livello preliminare e che serviva esclusivamente per dare un riscontro rispetto al design del gioco e al suo obiettivo di tenere insieme diverse discipline e diversi registri.

### 5.3.1 - I SISTEMI COMPLESSI

Riguardo ai SC si è notato come all'inizio tutti i giocatori avessero puntato su un approccio lineare, vale dire concentrarsi su una sola meccanica o un solo ambito e procedere in quello, ad esempio focalizzandosi sul reticolo o sugli stalli. Dopo pochi turni questa visione è stata abbandonata siccome tutti si erano resi conto che era necessario tenere conto di più aspetti in simultanea. Dall'altra parte il pensiero lineare è stato scardinato dal fatto che non era possibile analizzare e in maniera esaustiva tutte le componenti in gioco e dare una previsione precisa, escludendo un approccio più deterministico "Questo gioco qui soffre secondo me di paralisi di analisi, perché se ti metti a controllare se pensi a cosa può succedere, su cui tu non hai controllo, è finita." Questo passaggio è stato vissuto in maniera più o meno traumatica a seconda della familiarità con i sistemi complessi. Discutendo sui motivi della sconfitta principalmente si additava a non essere riusciti a dare sufficiente importanza a una particolare meccanica tutte legate alle retroazioni negative, ad esempio il sistema di assegnazione punti che non escludeva i secondi. Si può dire che la partenza sia stata per tutti caratterizzata da una mentalità lineare, col manifestarsi di proprietà emergenti e dinamiche inaspettate c'è stato un cambio di mentalità in modo da tenere in considerazione più elementi. In particolare le retroazioni negative sono state considerate uno degli aspetti più importanti su cui focalizzarsi per riuscire a vincere.

Se questo è stato approssimativamente il cammino comune a tutti i giocatori, ognuno di essi lo ha declinato in maniera differente. Queste forme hanno ricalcato sostanzialmente i vari approcci possibili per la comprensione dei SC. Dunque il gioco

ha effettivamente stimolato lo sviluppo di un pensiero di tipo complesso, lasciando, tuttavia una variabilità in modo che ogni giocatore seguisse l'approccio più consono in relazione anche al proprio retroterra di competenze e specializzazione.

Descriviamo brevemente quali sono gli approcci tipici dei non esperti in riferimento ai SC in letteratura . Dall'analisi del modo di ragionare degli studenti (Levy, Wilensky, in Jacobson 2008) nel cercare di dare un senso a SC si è trovato che i ragionamenti basilari usati sono due e complementari tra loro: la forma agenziale (agent-based) in cui gli studenti ragionano a partire dalle proprietà e dal comportamento dei singoli elementi del sistema, e la forma aggregata (aggregate) in cui gli studenti ragionano sulle proprietà e sui tassi di cambiamento delle popolazioni e di altre strutture di macrolivello.

Nel nostro campione abbiamo riscontrato che la forma aggregata si era preferita dai giocatori con una maggiore dimestichezza con i SC o con una maggior familiarità con l'ambito scientifico in generale. La strategia di questi giocatori aveva una prospettiva globale, cercavano di tenere in considerazione tutte le componenti del gioco e le interazioni tra di loro, puntando a un equilibrio tra le varie componenti. Il focus non era su un singolo elemento ma sull'andamento generale , dando più o meno importanza a certi aspetti ma non trascurando nessuno e tenendo a mente le influenze reciproche.

*G5: "...quello che è cambiato col tempo è riuscire a tenere a mente tutte le varie cose per fare delle mosse che fossero una media di quello che era buono. Perché all'inizio lavoravo forse un po' su qual è la strategia migliore sul reticolo [...] poi andando avanti prendevo in considerazione un po' di tutto. Questo è un po' cambiato."*

*G7: "Anche quando le mosse sono state meno intelligenti, [...] io puntavo all'equilibrio fra i due tabelloni e al risultato del sistema."*

*G7: "C'è l'equilibrio per mantenere, crea un meccanismo di coesione. [...] Però, anche in sé il gioco ha comunque dei meccanismi di coesione e di equilibrio che ti fanno fare una lettura della dinamica proprio in termini del fatto che tu stai tenendo in equilibrio una micro società."*

La forma agenziale, sebbene a tratti spuntava dalle scelte di tutti i giocatori, si è manifestata maggiormente nei giocatori che avevano meno confidenza con i SC e i temi scientifici. La loro strategia consisteva nel focalizzarsi su un particolare aspetto del gioco e usarlo come punto di riferimento per le azioni da intraprendere, tenendo comunque in considerazione gli altri componenti del gioco.

*G1: “la nostra strategia [...] è diventat[a] innanzitutto [lavorare] [su]gli stalli e in un secondo momento, da metà della partita [...] soprattutto [su]i punti, cioè guardare chi era davanti e chi era la minaccia principale”*

*G2: “il fatto che anche essere secondo nei tracciati desse punti mi ha portato a mettermi su due colori diversi già dall'inizio e quindi a diversificare sui colori, perlomeno. E poi e poi pian piano a spostarsi come si spostavano di conseguenza.”*

Durante l'intervista è emersa una terza via di ragionamento. Si trattava sostanzialmente di una mezza via tra i due ragionamenti, un “mid-level” (Levy, Wilensky, 2008); in questo caso i giocatori cercavano di raggruppare alcuni elementi del gioco per riuscire a gestirli senza complicare eccessivamente l'analisi. In particolare tale pensiero si è manifestato nell'ambito del reticolo, cercando di suddividerlo mentalmente in aree di diversa importanza e caratteristiche.

*G2: “Secondo me una cosa che emerge è [...] il fatto che la meccanica di mettere quadratini su dei punti dove ci sono tanti collegamenti, ti porta a focalizzarti su quelle zone dove ci sono tante connessioni”*

Inoltre durante la discussione le differenti prospettive sono emerse in maniera chiara quando si è analizzata l'importanza per i giocatori di alcuni elementi del gioco. Lo stesso elemento di gioco poteva essere visto come fondamentale per la vittoria a semplice strumento per non distaccarsi dagli altri, in base al proprio modo di interpretare il sistema.

In conclusione il gioco si è rivelato un effettivo strumento che non incoraggia il pensiero lineare bensì tende a sviluppare modi di pensare legati alla comprensione e gestione dei SC, confermando le aspettative del lavoro di game design sottese al gioco.

### 5.3.2 - GESTIONE DELL'ALEATORIETÀ

Un altro tema che si è manifestato durante l'intervista è stato quello dell'aleatorietà. Il gioco ha mostrato di mettere la questione dell'incertezza al centro. Si tratta di un aspetto che il giocatore non può ignorare durante lo svolgersi della partita, cosa che si voleva ottenere essendo la causalità uno degli aspetti fondanti dei SC e tra i più difficili da gestire. L'aspetto dell'aleatorietà è comparso anche al di fuori delle domande specifiche su di esso, questo a riprova che ha un forte impatto sull'esperienza di gioco. L'aspetto più interessante che è emerso è la varietà di modi di porsi di fronte alla aleatorietà, un aspetto che ha coinvolto anche il lato emotivo dei giocatori. Lo spettro passava da un'accettazione rapida e indolore, con l'assunzione di tale elemento come fondante e pertanto inevitabile, con una strategia tesa al "rischio" e al riadattarsi, ovvero si facevano mosse consapevoli dell'esito incerto, a una frustrazione che portava a una strategia più prudente e a ricercare tattiche per ridurre l'aleatorietà. Il primo atteggiamento è stato prevalente tra chi era più avvezzo ai SC o all'incertezza in ambito scientifico. L'altro si è manifestato sia tra chi non aveva una specializzazione scientifica sia tra chi l'aveva.

Matteo Piraccini: *"Quanto è stata forte la componente aleatoria nel gioco nell'esperienza di gioco aleatoria?"* G2: *"Mi è sembrato molto, molto poco."* G3: *"Io avrei detto il contrario."*

G1: *"[...] quando il sistema collassa come le cose saranno ridistribuite in modo totalmente casuale, è dolorosissimo. Almeno io ho sofferto tantissimo in questa parte"*

Strettamente correlato al tema dell'incertezza, è quello delle retroazioni negative. Queste ultime hanno suscitato frustrazione poiché spesso rendevano vano il vantaggio ottenuto e impedivano a un giocatore di "staccare" gli altri. Malgrado ciò, i giocatori più esperti hanno apprezzato questo meccanismo comune a molti giochi da tavolo contemporanei proprio perché tendeva a mantenere coesione i punteggi dei giocatori, compensando in parte gli effetti dell'aleatorietà, e favorendo il livellamento. Questi meccanismi sono spesso inseriti nei giochi da tavolo contemporanei per mantenere alto l'engagement di tutti i giocatori fino alla fine. Una partita che si decide quasi

completamente nelle prime fasi, può essere scoraggiante e favorire un basso ingaggio nel gioco fino all'abbandono.

Man mano che il gioco proseguiva queste retroazioni hanno spinto i giocatori a non concentrarsi esclusivamente sulla corsa al primo posto ma a valutare più aspetti prima di scegliere le proprie tattiche, adottando una prospettiva più ampia. Le retroazioni si sono rivelate utili per gestire e dare un senso all'incertezza, smorzando sia i giocatori troppo forti in un certo momento che i rovesci della fortuna.

Alla fine tutto ciò porta ad alcune considerazioni nell'ambito della didattica. Il gioco forza i giocatori a confrontarsi con l'incertezza e ha dei meccanismi che ne smorzano le derive più estreme. Immaginando un ambito didattico in cui proporre un'esperienza di gioco, si potrebbe progettare un confronto in cui esplicitare e discutere i vari atteggiamenti e approcci verso l'incertezza per indagare questo aspetto dal punto di vista emotivo e dal punto di vista epistemologico per ogni giocatore. Sarebbe ancora più interessante nel caso in cui si ponesse l'accento sul cercare di comprendere come le conoscenze legate ai SC aiutino la gestione dell'incertezza e, a un livello più profondo, cambino l'atteggiamento verso di essa.

### 5.3.3 - LA NARRAZIONE

Il terzo tema è stata la narrazione. La narrazione si è rivelata sia inclusiva che esclusiva. Infatti da una parte si è visto che poteva aiutare personalmente ma era anche divisiva. La creazione mentale di una ambientazione si è rivelata abbastanza semplice e molto variegata: economia, politica, ambiente, ecc... Questo conferma che il gioco e i SC sono in grado di raccontare varie storie. La potenzialità principale del gioco a livello narrativo è proprio di poter raccontare storie diverse. Questo vuol dire che è in grado di parlare e coinvolgere.

Visto che avevamo a disposizione una sola sessione di gioco abbiamo pensato di valutare l'impatto delle maschere narrative dapprima giocando senza maschera e chiedendo ai giocatori di immaginarne una. Alla fine del terzo turno abbiamo chiesto ai giocatori di rivelarci a cosa avevano pensato e di scegliere una maschera che li avrebbe accompagnati per il resto del gioco. Questo cambio narrativo tra l'idea iniziale

che si era andata costruendo e la maschera comune dal terzo all'undicesimo turno non è stato digerito completamente da tutti i giocatori che hanno reagito sostanzialmente ignorando la nuova maschera. Questo mostra quanto sia importante e naturale costruire una narrazione e quanto questo aiuti ad agire nel gioco.

La scelta di una maschera narrativa quindi è fondamentale per creare engagement e interesse e non può essere sottovalutata e certamente non esiste una maschera narrativa che può funzionare per tutti i target audience. La peculiarità vincente di questo gioco è il fatto di avere un alto potere narrativo implicito. Ovvero il fatto di essere aperto a varie narrazioni possibili anche se presentato senza maschera narrativa. Questo potrebbe essere un aiuto per coinvolgere persone con background e interessi diversi. Un modo interessante per proporre il gioco potrebbe essere quello di farlo giocare completamente senza maschera narrativa e poi di chiedere ai giocatori di costruire una maschera e una tabella come quella in 4.6. Usando le parole di uno dei giocatori:

*G5: "Secondo me è proprio bello il fatto che ci sono tante possibili ambientazioni [...] secondo me è bello non partire dall'astratto, ma partire direttamente da una cosa, perché, come se tu... Tipo, abbiamo una situazione. Vediamo come funziona. Funziona in questo modo, ma questo modo in cui funziona si può applicare anche qui, qui, qui e qui. Ti fa capire cos'è un modello da applicare in diverse situazioni, però è bello che esca fuori prima senza che tu ce l'hai già."*

#### 5.3.4 - ULTERIORI CONSIDERAZIONI

Dalla discussione dell'esperienza di gioco non sono emerse criticità inaspettate. E' stato fatto notare che dal gioco non emerge in maniera esplicita nessun concetto in particolare. Per raggiungere un tale obiettivo è necessario un maggior lavoro di debriefing dopo l'esperienza di gioco per l'apprendimento di concetti formali. A questo si lega la scarsità di collegamenti diretti sviluppati con l'ambito scientifico. In questo caso occorrerebbe un lavoro di scaffolding importante, ricorrendo al debriefing e ben calibrando la narrazione. Soprattutto è stata sottolineata la necessità di giocarci più volte per poter avere un vero apprendimento.

Nella discussione è stato esplicitato da alcuni giocatori, anche non familiari con i GdT, che il gioco sembrava avere una certa potenzialità come strumento per la didattica dei SC, facendo ricorso a una attività di collocazione dell'esperienza di gioco.

*G5: "Secondo me puoi giocare senza saper assolutamente niente di sistemi complessi e anche non cogliere niente nel senso [...] giocarlo come un gioco qualunque, senza capirci niente di sistemi complessi. Ma se si fa una discussione prima, si lanciano un paio di input per cogliere qualcosa che magari non coglierebbe, oppure forse continuando a giocare in modo istintivo, sviluppando le tue strategie, istintivamente sviluppi qualcosa che nemmeno sai che sono sistemi complessi, [...]."*

#### 5.3.5 - COMPETENZE

Aggiungiamo un punto da cui partire per un'indagine più approfondita. La creazione di un simile strumento con questa impostazione ha come naturale passo avanti una ricerca approfondita sulle competenze che può sviluppare o allenare, con una particolare attenzione per le competenze di cittadinanza scientifica. Un primo passo dell'implementazione è la definizione di una griglia di competenze da collegare con gli elementi del sistema. Una proposta sarebbe usare come ossatura da cui partire per un'analisi è il GreenComp. Si tratta di un quadro di riferimento per le competenze di sostenibilità.<sup>6</sup> Spiegare l'importanza della sostenibilità non è necessario. Questo quadro definisce una serie di settori e le relative competenze. Le competenze sono organizzate secondo lo schema conoscenze-abilità-attitudini. Tra le competenze proposte quella che più collima con il gioco è il pensiero sistemico (n.2.1).

Riguardo alle conoscenze al punto 4 abbiamo: "Conosce i concetti e gli aspetti principali dei sistemi complessi (sintesi, emergenza, interconnessione, circuiti di feedback ed effetti a cascata) e le loro implicazioni per la sostenibilità". In questo caso il collegamento con il gioco è chiaro. Con le abilità il legame è molto forte.

---

<sup>6</sup> [https://joint-research-centre.ec.europa.eu/greencomp-european-sustainability-competence-framework\\_it](https://joint-research-centre.ec.europa.eu/greencomp-european-sustainability-competence-framework_it)

1. “È in grado di descrivere la sostenibilità come un concetto olistico che include aspetti ambientali, economici, sociali e culturali.” Nel gioco come si è visto viene stimolata una visione che porta a considerare tutte le parti insieme, che si influenzano a vicenda: le meccaniche, le mosse degli altri, la trattazione...
2. “È in grado di valutare le interazioni tra gli aspetti ambientali, economici, sociali e culturali dell'azione per la sostenibilità, gli eventi e le crisi (ad es., le migrazioni causate dai cambiamenti climatici o le guerre causate dalla scarsità di risorse).” Durante il gioco è fondamentale afferrare le dinamiche che si instaurano tra le componenti, altrimenti si è in balia degli eventi e qualsiasi mossa non dà effetti positivi.
3. “È in grado di valutare come l'umanità e la natura interagiscono nello spazio e nel tempo.” La gestione degli spazi negli stalli ma soprattutto è fondamentale, per non parlare poi della necessità strategica di saper valutare nel tempo i possibili scenari per riuscire a scegliere quale mossa fare.
4. “È in grado di pensare in termini di ciclo di vita per analizzare i rischi e i benefici delle azioni umane.” Ogni mossa nel gioco ha degli effetti che influenzano anche gli altri giocatori e il gioco, come ad esempio il piazzamento dei collegamenti. Analizzare rischi e benefici è in pratica una dei momenti fondamentali per l'elaborazione di una strategia.
5. “È in grado di identificare in un sistema le sfide e le opportunità che hanno le maggiori probabilità di innescare un cambiamento a favore della sostenibilità.” Una corretta valutazione di ogni meccanica e dinamica del gioco può risultare vincente o fatale per la vittoria, chi trascura qualcosa rischia di perdere.

### 5.3.5 - CONSIDERAZIONI FINALI

Questi risultati preliminari paiono incoraggianti. Ci sono stati riscontri positivi rispetto al design. Infatti durante la fase di design si erano ricercate certe estetiche per l'esperienza di gioco e tali estetiche sono state riscontrate dai risultati dello studio pilota, in primis l'interazione conscia e attiva con dinamiche complesse. Inoltre si è confermata la necessità di collocare l'esperienza di gioco in un adeguato percorso didattico per essere funzionale all'apprendimento. Il primo stadio lungo un percorso

di ricerca sulla didattica dei SC tramite i GdT parrebbe essere stato completato. Il passo successivo sarebbe individuare una serie di competenze, selezionando quelle che più sembrano sviluppabili da parte del gioco (un esempio preliminare di ciò è stato presentato qui sopra). Dopodiché progettare un protocollo di sperimentazione con proposte di attività ludiche adeguate, facendo tesoro delle criticità emerse nello studio pilota, e una raccolta dati in modo da poter valutare se effettivamente sono state acquisite tali competenze.

## CONCLUSIONI

Il mondo intorno a noi è sempre più complesso e il grado di complessità presumibilmente andrà via via aumentando. E' necessario che i cittadini riescano a visualizzare e comprendere la complessità della realtà senza troppe scorciatoie e semplificazioni che rendono il dibattito molto simile ad una tifoseria. E' necessario quindi lavorare e creare nuovi strumenti affinché una comprensione del mondo e della sua complessità sia possibile. In questa linea di innesto il lavoro di questa tesi.

Si è partiti dalla seguente domanda di ricerca: *in che modo i concetti basilari dei SC possono essere impiegati in un'operazione di progettazione di un gioco da tavolo con una finalità didattica?*

L'idea da cui è partita questa tesi è stata quella di utilizzare il gioco come metodologia didattica in ambito scientifico. Questa scelta è stata fatta per motivi squisitamente personali. Io amo il gioco e lo conosco profondamente. Ciò mi ha portato a sviluppare la fiducia nel gioco come mezzo narrativo. Questo punto di partenza mi ha portato a trasformare un interesse personale in uno di ricerca, andando ad approfondire l'intreccio fra l'ambito scientifico e la didattica ludica. Quando mi sono imbattuto nei SC mi sono convinto di non solo aver trovato un ambito compatibile con i giochi, ma che il gioco potesse essere lo strumento didattico più adatto per i SC, a partire dal fatto che il gioco stesso può essere visto come un sistema complesso. Inoltre, i giochi rappresentano un mezzo di ampia diffusione che richiede pochi requisiti tecnici e poche competenze di partenza o familiarità, elementi che possono favorire un'esperienza ricca siccome concreta e anche relazionale.

Nel capitolo 1 si è esplorato il concetto di complessità e SC. Si è visto come tali concetti siano caratterizzati dalla difficoltà di trovare una definizione precisa e circostanziata e piuttosto si ricorre all'individuazione di caratteristiche peculiari. Si è esposta inoltre l'interdisciplinarietà e la pluralità di linguaggi che caratterizza i sistemi complessi.

Dopodiché si è passati all'analisi della letteratura riguardo all'insegnamento dei SC. La prima constatazione che è emersa è stata la difficoltà che caratterizza l'apprendimento dei SC (Hmelo-Silver, Azevedo, 2006). Questo fatto non è dovuto strettamente al formalismo matematico a cui fanno ricorso; infatti tale aspetto, se necessario, può

venire tralasciato o affrontato a seconda delle caratteristiche degli studenti (studenti in ambito universitario o professionisti versus studenti di non universitari). Le più grandi sfide sono sul piano concettuale, epistemologico e ontologico (Jacobson, Wilensky, 2006). Questo è stato appurato confrontando l'approccio a problemi nel campo dei sistemi complessi adottato da novizi e da esperti (Jacobson, 2001). I novizi tendono a adottare una "mentalità deterministica-centralizzata". I novizi, ovvero chi non è esperto e non conosce i sistemi complessi tende a ridurre il sistema a cause semplici e a scomporre il problema in problemi più piccoli completamente deterministici; questo evidenzia come i sistemi complessi siano, a primo approccio, controintuitivi per chi non se ne occupa. Ciò è dovuto al fatto che vanno contro una serie di credenze comuni quali l'opposizione tra il concetto di caos e di ordine. Le persone sono impreparate a gestire i SC ancorché mancano di strumenti appropriati nel proprio bagaglio epistemologico. Ad esempio, il concetto di non-linearità destabilizza poiché dall'esperienza comune ci si aspetta che da piccole cause conseguano dei piccoli effetti. Questo quadro indica che l'apprendimento puramente concettuale è probabilmente poco efficace, è necessario lavorare per un coinvolgimento più profondo e che coinvolga anche l'esperienza. Pertanto la ricerca in didattica dei SC ha sviluppato una serie di nuove metodologie per riuscire a intercettare tali necessità. Uno dei casi più ricchi e meglio documentati è il ricorso alle simulazioni ancora più efficace quando il discente non viene limitato al ruolo di mero osservatore ma coinvolgendolo attivamente nel processo di costruzione della simulazione.

Sulla scia di questi risultati si è inserita questa tesi cercando di portare un contributo originale alle metodologie, attraverso la progettazione e la realizzazione di un GdT. La didattica ludica presenta una serie di potenzialità per l'insegnamento in generale, quali una forte motivazione all'apprendimento, un'ampia accessibilità da parte di insegnanti e studenti, possibilità di ricorrere a una pluralità di linguaggi e capacità di sviluppare competenze in opportuni ambienti. Nello specifico nel capitolo 3 si è argomentato come il GdT condivide una serie di caratteristiche comuni con i SC, infatti entrambi sono sistemi e presentano dinamiche non-lineari.

Sulla base di queste considerazioni e dello studio della letteratura, si è imbastita un'operazione di game design rivolta allo sviluppo di un GdT basati sui concetti dei SC.

Questa operazione è stata guidata da una serie di criteri estratti dai vari ambiti studiati. Una parte dei criteri sono stati di tipo didattico: selezionare i concetti più importanti dal punto di vista epistemologico dell'argomento, confronto con i risultati delle precedenti ricerche, ecc. Un'altra parte di tipo ludico: attenzione alle meccaniche, dinamiche di gioco coinvolgenti, ecc. Infine si è ricorso agli stessi concetti dei SC per orientare la progettazione del gioco. Il GdT sviluppato "Sì, ma stai calmo!" si prefiggeva lo scopo di implementare dinamiche di tipo complesso, sfruttando delle meccaniche basate sui SC, cercando di ottenere un prodotto al contempo semplice a livello di regole, in modo da essere ampiamente accessibile, ma profondo da un punto di vista strategico, in modo da far esperire ai giocatori comportamenti complessi e spronandoli a comprendere tali processi al fine di sviluppare strategie per ottimizzare il proprio risultato. Il GdT inoltre avrebbe fornito un ambiente "protetto" dove si ha totale libertà di scelta del proprio corso d'azioni e la paura dell'errore è ridotta. La fase di progettazione ha fatto ricorso a una serie di pratiche del game design, quali il playtest, fino ad arrivare alla validazione da parte di un gruppo di esperti. Inoltre durante la progettazione è emerso un aspetto peculiare del gioco. Si è notato che il gioco si presta a varie possibilità di narrazioni molto diverse tra loro, questo grazie al fatto di essere basato sui SC, che sono in grado di modellizzare fenomeni da svariati ambiti.

A seguito della realizzazione, è stata fatta un'analisi qualitativa del prodotto tramite un focus group. Dall'esperienza di gioco sono emerse una serie di evidenze. Innanzitutto come i giocatori abbiano applicato approcci diversi al gioco; questi approcci sono riconducibili ai diversi approcci verso i SC riscontrati in letteratura. Tali approcci, è stato notato, sono in parte correlati alla professione e alla specializzazione dei giocatori. Altro aspetto che è emerso è come il gioco porti a confrontarsi con il tema della casualità, declinata in ambiente ludico come aleatorietà. Le reazioni, anche emotive, sono state molto variegata, da atteggiamenti di accettazione alla frustrazione. Si tratta di un tema che ha suscitato molto interesse durante l'intervista, evidenziandone gli aspetti ludici e didattici, sia come ostacolo/problema da gestire, sia come strumento facilitatore per l'accettazione delle difficoltà e dei fallimenti. Questo tema dell'aleatorietà è stato trattato come strettamente correlato ai meccanismi di retroazione presenti nel gioco. Un rapporto ambivalente è emerso verso tali meccanismi; da alcuni sono stati utilizzati come bussole per indirizzare la strategia, altri

li hanno percepiti come elementi di ostacolo, ma sono stati visti anche come ciò che dava senso alla aleatorietà poiché ne evitava le derive estreme. Infine l'altro aspetto indagato è stato il ruolo della narrazione. Il gioco si è rivelato prolifico di possibilità di narrazioni. Ogni giocatore non ha avuto difficoltà a immaginarne una e sono risultate molto diverse tra loro. Quindi si è constatato un potenziale narrativo di base del gioco e la possibilità di comunicare a sensibilità diverse. D'altra parte la narrazione, per come è stato svolto l'esperimento, si è rivelata anche un elemento divisivo poiché abbiamo chiesto ai giocatori di pensare a una propria possibile narrazione per tre turni di gioco per poi sceglierne una comune. Si può concludere che il lato narrativo va gestito in maniera oculata in base alle proprie esigenze didattiche e alle sensibilità dei giocatori.

Dallo studio pilota si è confermato che la mera esperienza di gioco non è sufficiente per lo sviluppo di competenze. Del resto la letteratura di ricerca ci dice come non basti fare esperienza di qualcosa per conoscerlo; un esempio pertinente è che le persone vivono immerse nei SC ma nonostante questo non riescono a comprenderli appieno. Si ha avuto la conferma della necessità di una robusta attività di scaffolding dell'attività ludica allo scopo di promuovere certi tipi di competenze legate ai SC; per tale compito sarà necessario fare riferimento ai quadri sviluppati nell'ambito della didattica dei SC. Questo è completamente supportato dalla letteratura sul Game Based Learning, l'apprendimento legato al gioco è certamente cumulativo e va stratificato e accumulato attraverso adeguati momenti di debriefing dove si colloca, si organizza e si consolida l'esperienza di gioco. Sulla scia di questa constatazione sono stati prodotti materiali per aiutare l'attività didattica presenti nelle appendici e è stata fatta una proposta su quali competenze si possano sviluppare andandole a selezionare dal GreenComp.

Questa tesi è il primo passo di un percorso di sviluppo di una metodologia. L'inizio è promettente, infatti ha suscitato l'interesse del gruppo di ricerca dell'INAF presente nel Game Science Research Center. Il lavoro successivo dovrebbe essere un confronto con gli insegnanti e attività di prova svolte nelle scuole e a seguire una sperimentazione in classe con una sua valutazione.



## BIBLIOGRAFIA

- Ackermann, E. (1996). *Constructionism in practice: designing, thinking, and learning in a digital world*. Routledge.
- Amaldi, U. (2011). *La fisica del caos*. ScienzeZanichelli.
- Babini, G., Dell'utri, M., Furfaro, R., Ligabue, A., Pensavalle, C., Ventura, A.,. (2021). *Game Media Literacy as an Approach to Complexity in Education*.
- Barelli, E. (2017). *Science of complex systems and future-scaffolding skills: a pilot study with secondary school students*. Tesi di laurea magistrale.
- Barelli, Eleonora (2022) *Complex systems simulations to develop agency and citizenship skills through science education*, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Data science and computation, 33 Ciclo
- Barelli, E., Branchetti, L., Tasquier, G., Albertazzi, L., & Levrini, O. (2018). *Science of complex systems and citizenship skills: a pilot study with adult citizens*, EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 14(4), 1533-1545.
- Batty, M., (2016). *Complexity, Cognition, Urban Planning and Design*, ed. J. Portugali and E. Stolk (Springer)
- Bertolo, M., Mariani, I., (2014), *Game Design. Gioco e giocare tra teoria e progetto*, Pearson Italia.
- Bielinskyi, Andrii O. et al. (2021). *Complex Systems and Physics Education*. CTE Workshop Proceedings 9 56–80. Web.
- Bilsen, A.V., Bekebrede, G., & Mayer, I.S. (2010). *Understanding complex adaptive systems by playing games*. Informatics Educ., 9, 1-18.
- Branchetti, L., Cutler, M., Laherto, A., Levrini, O., Palmgren, E. K., Tasquier, G., and Wilson, C., (2018). *The I SEE project: An approach to futurize STEM education*, Vis. Sust. 9 10-26
- Caillois, R., (1967), *I giochi e gli uomini. La maschera e la vertigine*, Bompiani (2007).
- Casti, J. L. (1994). *Complexification: explaining a paradoxical world through the science of surprise*. NY: HarperCollins
- Charles, E., D'Apollonia, S., (2003). *When mold molds and ants anchor: Building explanatory frame-works with complex systems*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Re-search Association
- Chiarello, F., Castellano, M.G. (2016). *Board Games and Board Game Design as Learning Tools for Complex Scientific Concepts: Some Experiences*. Int. J. Game Based Learn., 6, 1-14.
- Cilliers, P. (1998). *Complexity and postmodernism: Understanding complex systems*, Routledge

- Corrao, S., (2005). *Il focus group*, FrancoAngeli
- Duit, R., Gropengießer, H., Kattmann, U., Komorek, M., & Parchmann, I. (2012). *The Model of Educational Reconstruction – A framework for improving teaching and learning science*. In D. Jorde & J. Dillon (Eds.), *The World of Science Education: Science Education Research and Practice in Europe* (pp.13-37). Rotterdam: Sense Publishers
- Feltovich, P. J., Spiro, R. J., Coulson, R. L. (1989). *The nature of conceptual understanding in biomedicine: The deep structure of complex ideas and the development of misconceptions*. In D. Evans, & V. Patel (Eds.), *The cognitive sciences in medicine* (pp. 113-172). MA: MIT Press.
- Giannotti, G., (2013). *Il gioco come mezzo per la didattica della fisica. Potenzialità e problemi*. Tesi di laurea magistrale
- Heylighen, F. (1970). *The Science of self-organization and adaptivity*, Center "Leo Apostel", Free University of Brussels, Belgium
- Hmelo-Silver, C.E., Azevedo, R. (2006). *Understanding Complex Systems: Some Core Challenges*. *Journal of the Learning Sciences*, 15, 53 - 61.
- Hmelo-Silver, C., Pfeffer, M. G., (2003). *Comparing expert and novice understanding of a complex system from the perspective of structures, behaviors, and functions*. *Cognitive Science* 28 127–138.
- Huizinga, J., (1938). *Homo Ludens*, Einaudi (2002).
- Hunicke, R., Leblanc, M., & Zubek, R. (2004). *MDA: A formal approach to game design and game research*. AAAI Workshop - Technical Report, WS-04-04, 1–5.
- Jacobson, M.J., (2001). *Problem solving, cognition, and complex systems: Differences between experts and novices*. *Complexity*, 6(3), 41–49.
- Jacobson, M.J., & Wilensky, U. (2006). *Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences*. *Journal of the Learning Sciences*, 15, 11 - 34.
- Jacobson, M.J., So, H., Lee, J., Wilensky, U., Blikstein, P., Sengupta, P., Levy, S.T., Noss, R. (2008). *Complex systems and learning: empirical research, issues, and "seeing" scientific knowledge with new eyes*. International Conference of the Learning Sciences.
- Ladyman, J., Lambert, J., Wiesner, K. (2012). *What is a complex system?* *European Journal for Philosophy of Science*. 3. 10.1007/s13194-012-0056-8.
- Lansing, J.S. (2003). *Complex adaptive systems*. *Annual Review of Anthropology*, 32, 183–204.
- Levrini, O., (2020), Dispense del corso di didattica della fisica
- Levrini, O., Fantini, P., Tasquier, G., Pecori, M., & Levin, M. (2015). *Defining and operationalizing appropriation for science learning*. *Journal of the Learning Sciences*, 24 (1), 93-136.

- Levy, S.T., & Wilensky, U. (2008). *Inventing a "Mid Level" to Make Ends Meet: Reasoning between the Levels of Complexity*. *Cognition and Instruction*, 26, 1 - 47.
- Ligabue, A., (2020). *Didattica ludica : competenze in gioco*, Erickson
- Lonidetti, E., (2021), *Dalla termodinamica ai sistemi complessi: analisi di una proposta didattica sui cambiamenti climatici per sviluppare abilità di pensiero sistemico*, tesi di laurea magistrale
- Maines, E., (2019). *Addressing the complexity of climate change through games*. Tesi di laurea.
- Marques, F.M., (2016). *Physics laws as game rules*, *Game & Puzzle Design journal*, presso <https://boardgamegeek.com/filepage/222215/physics-laws-game-rules>
- Meadows, D., Sweeney, L.B. (2010). *The systems thinking playbook*. Chelsea Green Publishing.
- Morin E., (1999) *La testa ben fatta. Riforma dell'insegnamento e riforma del pensiero*
- Morin E., (2001). *I sette saperi necessari all'educazione del futuro*, R. Cortina
- Niazi, M. A., Temkin, A. (2017). *Why teach modeling & simulation in schools?*. *Complex Adaptive System Modeling*, 5(7)
- Nowak, M., Highfield, R., (2012). *Supercooperatori*, Codice Edizioni
- Parisi, D. (2001). *Simulazioni. La realtà rifatta nel computer*, Bologna: Il Mulino.
- Parisi, G., coll. Parisi, A. (2021). *In un volo di storni : le meraviglie dei sistemi complessi*, Rizzoli
- Pasini, A., (2015). *From Observations to Simulations*
- Plate, R. (2010). *Assessing individuals' understanding of nonlinear causal structures in complex systems*. *System Dynamics Review*, 26(1), 19-33.
- Perkins, D. N., & Grotzer, T. A. (2000). *Models and moves: Focusing on dimensions of causal complexity to achieve deeper scientific understanding*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association
- Resnick, M. (1996). *Beyond the Centralized Mindset*. *The Journal of the Learning Sciences*, 5, 1-22.
- Resnick, M., Wilensky, U. (1993). *Beyond the Deterministic, Centralized Mindsets: A New Thinking for New Science*. Paper presented at the annual meeting of the American Educational Research Association
- Resnick, M., Wilensky, U. (1995). *New Thinking for New Sciences: Constructionist Approaches for Exploring Complexity*. Presented at the annual conference of the American Educational Research Association
- Resnick, M., & Wilensky, U. (1998). *Diving into Complexity: Developing Probabilistic Decentralized Thinking through Role-Playing Activities*. *The Journal of the Learning Sciences*, 7, 153-172.

- Resnick, M., Wilensky, U., (1999). *Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World*. Journal of Science Education and Technology 8, 3–19
- Roberts, N. (1978). *Teaching Dynamic Feedback Systems Thinking: An Elementary View*. Management Science, 24(8), 836–843.
- Salen, K., & Zimmerman, E. (2003). *Rules of play: game design fundamentals*.
- Senge, P. M., (1992). *La quinta disciplina*, Sperling & Kupfer
- Schelling, T. C. (1971). *Dynamic models of segregation*. Journal of mathematical sociology, 1(2), 143-186.
- Smith, B.O., Stanley, W.O., Shores, J.H., (1957). *Fundamentals of Curriculum*. Revised Edition. World Book Company
- Stavrou, D., Duit, R., Komorek, M. (2008). *A teaching and learning sequence about the interplay of chance and determinism in nonlinear systems*. Physics Education (London), 43(4), 417-422.
- Stenros, J. (2017). *The Game Definition Game: A Review*. Games and Culture, 12(6), 499–520.
- Tinti, T., (1998). *La “sfida della complessità” verso il Duemila*, presso <https://www.complexlab.it/Members/ttinti/articoli/la-sfida-della-complessita-verso-il-terzo-millennio>
- Treher, E.N. (2011). *Learning with Board Games: Play for Performance – Tools for Learning and Retention*. The Learning Key, Inc.
- UNESCO, (2015). *Unesco Science Report: Towards 2030*
- Wilensky, U. (1996). *Making sense of probability through paradox and programming: a case study in a Connected Mathematics framework*. Constructionism in practice: Designing, thinking, and learning in a digital world. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Wilensky, U., (2003). *Statistical Mechanics for Secondary School: The GasLab Multi-agent Modeling Toolkit.*, International Journal of Computers for Mathematical Learning 8, 1–41 .
- Wilensky, U., Resnick, M.,(1999). *Thinking in Levels: A Dynamic Systems Approach to Making Sense of the World*. Journal of Science Education and Technology 8, 3–19
- Zanarini, G. (1993). *Finestre sulla complessità*, Editoriale Scienza.
- Zimmerman, E. (2014). *Manifesto for a Ludic Century*, The Gameful World, MIT Press.

Manifesto per un secolo ludico <https://www.erickson.it/it/mondo-erickson/articoli/xxi-secolo-dei-giochi/>

Boardgamegeek <https://boardgamegeek.com/>

Treccani, <https://www.treccani.it/>

Indicazioni nazionali della scuola dell'infanzia e del primo ciclo d'istruzione,  
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2013/02/05/13G00034/sg>

Indicazioni Nazionali per i licei,  
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/12/14/010G0232/sg>

Linee guida per gli istituti tecnici,  
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2012/03/30/12A03290/sg>

Linee guida per gli istituti professionali,  
<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2010/09/22/10A11376/sg>

# APPENDICE A - REGOLAMENTO

## Sì, ma stai calmo!

### Introduzione

Il gioco chiama i giocatori ad agire in maniera indiretta su una sistema così da far deviare il corso degli eventi a proprio favore. Ma a mettere i bastoni tra le ruote ci penseranno gli altri giocatori, ma soprattutto il gioco. E la ruota della fortuna girerà spesso e volentieri se non sarete guardinghi e astuti, sia voi che i vostri avversari. Quanto sarete in grado di sfruttare a vostro vantaggio le regole?

Il gioco è per 3-4 giocatori, dura 10 turni, dopodiché la partita finisce e il giocatore che ha totalizzato più punti, vince la partita.

### Lista Materiali

- 1 Plancia composta da: reticolo, stalli, tracciato turni, tracciato segnapunti, tabella riassuntiva maggioranza,
- 1 Tracciato delle Maggioranze
- 1 segnaturni
- 4 segnapunti: 1 per colore (rosso, blu, verde, giallo)
- 108 collegamenti (parallelepipedi): 27 per ogni colore (rosso, verde, giallo, blu)
- 16 segnalini: 4 per colore (rosso, blu, verde, giallo)
- 1 dado da 10, 1 dado da 8, 8 dadi da 6
- 12 dischetti viola, 12 dischetti rosa, 12 dischetti grigi, 12 dischetti arancioni
- 9 seguaci viola, 9 seguaci rosa, 9 seguaci grigi, 9 seguaci arancioni (1 per colore funge da segnalino maggioranza)
- 20 cubetti

### Regole

#### Preparazione

- Disporre la plancia e il tracciato delle maggioranze.
- Far scegliere a ogni giocatore un colore. Consegnare segnalini, collegamenti e segnapunti.
- Prendere i segnapunti dei giocatori e posizzionarli accanto al tracciato segnapunti

- Posizionare casualmente i dischetti nei punti di intersezione del reticolo (se si gioca in 3, ignorare gli esagoni 8-9-10)
- Mettere il segnaturni a inizio del tracciato dei turni
- Ogni giocatore posiziona 1 segnalino all'inizio di ogni tracciato della tabella di maggioranza.
- Disporre casualmente i seguaci sugli stalli della plancia (vedere procedura nella fase 3)

## **Svolgimento**

Il gioco dura 10 turni di gioco. Ogni turno di gioco è composto da 3 fasi. All'inizio di ogni turno si determina l'ordine di gioco secondo la seguente procedura. Il primo giocatore è quello con il segnapunti più avanti lungo il tracciato punti, il secondo è il secondo lungo il tracciato e così via. In caso ci sia più di un segnapunti impilato sulla stessa casella del tracciato, si seguirà l'ordine dal segnapunti in cima a quello in fondo alla pila. In caso di 3 giocatori, non si considereranno gli esagoni 8-9-10 del reticolo per tutta la partita.

Eccezioni del primo turno di gioco: durante il primo turno si stabilisce casualmente il primo giocatore e si procede in senso orario. La fase diffusione viene saltata.

## **Fase di diffusione**

1. Si ripristinano i dischetti sul reticolo, ovvero se ne pescano quanti ne mancano e li si piazza casualmente nelle intersezioni libere, se il segnaturni ha superato una soglia.
2. Si posizionano casualmente 1 cubetto o 2 se la soglia nei tracciati maggioranza è superata. Il posizionamento avviene nel modo seguente. Si tira il dado da 10 (d10) (che indica l'esagono dove andrà posizionata il cubetto) poi si tira il dado da 8 (d8) (indicherà la posizione nell'esagono in cui piazzare il cubetto, cominciando a contare dal vertice evidenziato e procedendo in senso orario lungo il perimetro dell'esagono, il 7 indica l'intersezione al centro, in caso esca 8 il dado va ritirato) e poi si posizionano i cubetti uno per volta. Se su un dischetto sono presenti due cubetti allora si procede come nel punto 4. Se esce un numero dove non è presente alcun dischetto, i dadi vanno ritirati.
3. Il giocatore con meno punti (in caso di parità tutti i giocatori in pareggio) riceve un cubetto che potrà piazzare su un qualsiasi dischetto (in caso di parità i giocatori posizionano seguendo il senso di gioco). Se su un dischetto sono presenti due cubetti allora si procede come nel punto 4.
4. Se su un dischetto sono presenti due cubetti allora si procede come segue. Viene posizionato un cubetto su ogni dischetto collegato al dischetto con i due cubetti. Vengono rimossi i collegamenti collegati a quel dischetto e contemporaneamente vengono aggiornati i tracciati maggioranza dei rispettivi giocatori. Per ultimo viene rimosso il dischetto con i due cubetti. Se su un dischetto sono presenti due cubetti allora si procede come nel punto 4. Altrimenti si passa alla fase successiva.

## **Fase di azione**

Seguendo l'ordine di gioco, ogni giocatore deve scegliere tra due mosse:

- **Piazzare.** Prende due collegamenti nel reticolo e li posiziona in modo che colleghino due dischetti collegati da una linea e che partano da un dischetto già collegato a un loro collegamento. Tra due dischetti può esserci uno e un solo collegamento. Dopodiché si aggiorna il tracciato maggioranze nel seguente modo. Per ogni capo del collegamento a contatto con un dischetto di un certo colore, il segnalino del giocatore nel tracciato di quel colore va avanti di uno. In caso che non sia possibile piazzare un collegamento come sopra esposto, allora va piazzato il collegamento lungo il bordo esterno del reticolo.
- **Pulisci.** Il giocatore può rimuovere due cubetti da due qualsiasi dischetti.

Dopo che tutti i giocatori hanno fatto la loro mossa si passa alla fase successiva.

## **Fase di controllo**

Per ogni colore viene assegnato il segnalino maggioranza al giocatore più avanti nel rispettivo tracciato (in caso di parità non viene assegnato). Si tira un dado da 6 per stabilire il senso da seguire nelle fasi successive (pari orario, dispari antiorario). Dopodiché in questo senso a partire dallo stallo 1 si procede nel seguente modo:

- Si controlla se nello stallo uno dei colori ha la maggioranza, ovvero se i seguaci che controlla sono almeno  $\frac{2}{3}$  dei seguaci totali presenti nello stallo (consultare l'apposita tabella nella plancia), i seguaci degli altri colori vengono spostati fuori dallo stallo sulla freccia seguendo il senso stabilito. Fatto ciò o se nessuno ha il controllo, si passa allo stallo successivo.

Completato il giro degli stalli, si spostano i seguaci sulle freccette nello stallo seguendo il senso stabilito.

- Se c'è stato almeno un movimento. A partire dallo stallo 1, seguendo il senso stabilito, si controlla se un colore ha il controllo nello stallo. Se sì, il giocatore che ha la maggioranza di quel colore guadagna 3 punti, il giocatore che è al secondo posto nel tracciato guadagna 1 punto. In entrambi i casi, se c'è un pareggio nessuno ha il controllo e non guadagna punti. Dopodiché si passa allo stallo successivo e si ripete, finché si ritorna allo stallo 1.
- Se non c'è stato almeno un movimento. Tutti i seguaci vengono tolti dagli stalli e vengono redistribuiti casualmente negli stalli seguendo la seguente procedura. Per ogni colore si tirano 8 dadi da 6, ogni dado rappresenta in che stallo va posizionato un seguace del colore.

Importante: se un giocatore ha più di una maggioranza, questi colori vengono considerati un solo colore per tutta la fase. Per guadagnare 1 punto come secondo, basta essere secondo in uno dei tracciati dei colori unificati.

Finito tutto ciò si sposta il segnaturni avanti di uno e si ricomincia dalla fase di diffusione, a meno che non sia il turno 10. In tal caso la partita finisce.

## **Fine partita.**

Prima di tutto si fanno esplodere tutti i dischetti con sopra un cubetto e si rimuovono i collegamenti adiacenti. Il giocatore a cui sono rimasti più collegamenti guadagna 2 punti.

Vince il giocatore che ha totalizzato più punti sul tracciato vittoria.

## APPENDICE B - ID

- Nome, Cognome, Affiliazione/i:  
....
- Background professionale e stato attuale:  
....
- Competenze/Esperienza in campo scientifico (fisico):  
....
- Competenze/Esperienza nel campo dei giochi:  
....
- 3 hashtag che vorresti ti caratterizzassero in questo contesto:  
....
- Un incipit narrativo che racconti le tue aspettative per il gioco:  
.....

## APPENDICE C - FACILITAZIONE FOCUS GROUP

### Introduzione al gioco e alla tesi (30 min)

Il facilitatore del gioco dopo aver annunciato l'inizio dell'attività, indicherà a ciascuno il suo ruolo tra i due possibili: i giocatori e gli uditori. I giocatori si disporranno intorno al tavolo da gioco.

Dopodiché il facilitatore presenterà il progetto. Gli argomenti da esporre in ordine:

- Com'è nato il progetto: ambito di tesi magistrale, interesse profondo e fiducia nei giochi come possibile strumento didattico, in particolare dall'idea di capire/esplorare che tipo di contributo può fornire il gioco nell'ambito dell'insegnamento/apprendimento della fisica quando si parla di una fisica inter-multi-transdisciplinare intrecciata con aspetti sociali, come ad esempio la fisica/scienza dei sistemi complessi. Il gioco come ricerca di nuove metodologie e linguaggi per una fisica STEM e ad impatto sociale ... (proposta anche per l'educazione civica scientifica a scuola).
- La tesi: come si è arrivati alla scelta dei SC, le sfide dei SC, vantaggi del GdT (motivazione all'apprendimento, approccio sistemico facilitato, costruttivismo, costruzione di senso e metafore, ecc...), un approccio liminale tra professionalità e linguaggi, gioco costruito grazie a una progressiva scremazione dei concetti

Infine si esporrà la questione delle maschere narrative, presentando il fatto che il gioco si presta a più ambientazione grazie ai SC. Inoltre si specifica che all'inizio il gioco sarà neutro, poi alla fine del terzo turno occorrerà scegliere tra tre maschere fornite dal facilitatore. Nel frattempo i giocatori sono incoraggiati a immaginare una propria maschera narrativa del gioco.

Finito ciò si passerà alla fase successiva

### Spiegazione regolamento

Seguire i seguenti punti

1. Disporre tutto il materiale del gioco
2. Far scegliere a ogni giocatore un colore
3. Presentare lo scopo del gioco ovvero fare più punti
4. Presentare i vari pezzi della plancia
5. Spiegare che il gioco durerà 10 turni e ogni turno sarà composto da 3 fasi. La prima sarà una fase di diffusione dei cubetti, la seconda di posizionamento dei cubetti che servirà per influenzare la terza fase che sarà quella in cui si faranno i punti.
6. Spiegare l'ordine di gioco, ovvero si seguirà l'ordine dei segnalini nel tracciato punti, in caso di pareggio si segue l'ordine di sovrapposizione dei segnalini, tranne che per il primo turno

7. Spiegare la seconda fase, quella del posizionamento. Si comincia dalle due opzioni possibili di azione. Si specifica che il senso di rimuovere i cubetti verrà spiegato più avanti. Poi illustrare le regole di posizionamento.
8. Spiegare come funzionano i tracciati maggioranze e il controllo dei vari colori, soprattutto il caso in cui un giocatore controlla più di un colore e il pareggio
9. Spiegare la terza fase. Si procede a illustrare il meccanismo che regola gli spostamenti dei seguaci. Poi spiegare il calcolo dei punteggi. Poi spiegare il caso in cui non ci sono movimenti e la procedura per redistribuire i seguaci casualmente
10. Spiegare la prima fase ovvero quella di diffusione dei cubetti. In particolare spiegare la procedura di diffusione passo per passo. Inoltre illustrare il ripristino dei dischetti e la gestione dei cubetti rispetto al tracciato maggioranze e a parità di punti.
11. Chiedere se ci sono domande.
12. Fare un turno di prova a partire dalla fase 2.

#### Durante il gioco (75 minuti)

Mentre il gioco si sta svolgendo, il facilitatore e gli uditori possono fare attività di monitoraggio seguendo la scheda allegata apposita.

A fine del terzo turno, il gioco si interromperà. Si chiede ai giocatori di descrivere le eventuali maschere narrative che si sono immaginati, poi il facilitatore presenterà le seguenti tre maschere narrative:

- **Flussi migratori.** I giocatori sono criminali senza scrupoli che sfruttano il problema della gestione migranti per arricchirsi illecitamente. In particolare il loro scopo è intascare quanti più soldi possibili dai finanziamenti per il sostentamento dei migranti. I colori rappresentano le etnie dei migranti, i seguaci sono i migranti e gli stalli sono le strutture dove vivono in varie regioni. I dischetti sono i politici da corrompere che hanno un'influenza su una specifica etnia. I giocatori dovranno tessere una trama di accordi sottobanco, sfruttando a loro volta le conoscenze dei politici, per ottenere il controllo indiretto su un'etnia e scacciare le altre in una regione adiacenti. Attenzione però. I processi giudiziari potrebbero incastrare gli alleati e i giocatori più esasperati non lesineranno soffiare contro i propri avversari.
- **Festa di fine anno.** È arrivata la festa di fine anno. Gli studenti, ovvero i seguaci, della quattro classi della scuola, ognuna distinta da un colore, formano vari capannelli, uno per stallo. L'atmosfera però non è proprio rilassata. Dai gruppi capita spesso che se un gruppo di una classe sia in minoranza preferisca cambiar aria, non proprio un approccio aperto. Come sempre c'è chi se ne approfitta. I giocatori sono quattro papabili re/regina del ballo e sono pronti a sfruttare le loro amicizie con gente amica degli studenti per convincerli a parlar bene di loro. Ma attenzione basta un pettegolezzo per far saltare i buoni rapporti instaurati.
- **Corpo umano.** Ogni giocatore rappresenta una certa area di un cervello. Ognuna ha bisogni differenti e pertanto vorrebbe che i vari organi, ovvero gli stalli, facessero quello che vogliono loro. Ma questo sarà possibile solo se riusciranno ad avere la prevalenza degli impulsi che hanno mandato, ce ne sono di quattro colori diversi, in quell'organo che prontamente scacceranno gli altri. Quindi cercheranno di

connettersi a più cellule nervose possibili così da controllare gli impulsi. Ma c'è rischio che un tumore mandi tutto all'aria...

Dopo aver presentato le tre maschere narrative, i giocatori saranno invitati a sceglierne una. (5 minuti) Dopodiché il facilitatore spiegherà nel dettaglio la maschera scelta. Poi il gioco riprenderà normalmente.

#### Finito il gioco

Dopo che la partita sarà terminata e sarà stabilito il vincitore, si procederà a una intervista semistrutturata di gruppo da parte del facilitatore. Per la traccia dell'intervista vedere foglio a parte.

## APPENDICE D - INTERVISTA SEMISTRUTTURATA

Domanda	Obiettivo della domanda
L'engagement	
Come ti sei sentito durante il gioco, rispetto alla tua specializzazione e al tuo background?	Conoscere come la specializzazione ha influito sul comportamento del giocatore durante la partita.
Quanto ti è piaciuto il gioco da 1 a 10? Perché?	Misurare il livello di gradimento in modo da avere una tara sulle altre domande
Fai un elenco delle 3 cose più interessanti a ogni livello.	Conoscere gli aspetti che più l'hanno colpito in modo da valutare i punti di forza del gioco e confrontare l'approccio al gioco delle varie specializzazioni.
Fai un elenco delle 3 cose più problematiche/faticose a ogni livello.	Conoscere gli aspetti che più l'hanno colpito in modo da valutare i punti critici del gioco e confrontare le varie specializzazioni e confrontare l'approccio al gioco delle varie specializzazioni.
Meccaniche/strutture	
Delle meccaniche di gioco, c'è qualcosa che ti è rimasto non chiaro?	Ricerca i punti critici nel gioco e avere un quadro più dettagliato sulle motivazioni del comportamento durante il gioco.
Strategie/dinamiche	
Qual è stata la tua strategia all'inizio? Perché?	Conoscere l'approccio iniziale basato principalmente sulla specializzazione e l'esperienza di gioco pregressa.
La tua strategia è cambiata nel corso della partita? Perché?	Valutare l'effetto che ha avuto nel comportamento durante il gioco l'esperire il gioco con le sue dinamiche.
Secondo te, perché hai vinto/perso?	Stimolare la metacognizione e ricercare i punti salienti che sono rimasti più impressi.

Apporteresti delle modifiche alle regole? Se sì, quali?	Ricerca i punti critici nel gioco e valutare l'influenza della specializzazione nell'approccio progettuale e dell'esperienza di gioco pregressa.
Complessità	
Il gioco ti ha suscitato un legame con la scienza? Hai riconosciuto delle proprietà fisiche/scientifiche? Se sì, quali?  (solo a esperti di SC) Che proprietà dei SC hai visto nel gioco? E quanto esplicite? Perché?	Controllare quanto la base concettuale del gioco è percepita robusta e visibile.
All'inizio cosa ti aspettavi che succedesse nel reticolo? E negli stalli?	Conoscere la visione del sistema con solo le regole.
Riesci a individuare dei cicli di feedback (positivi o negativi) in questo gioco?	Controllare quanto la base concettuale del gioco è percepita robusta e visibile.
Quanto è stata forte la componente aleatoria nel gioco/nell'esperienza di gioco?	Conoscere la reazione di ogni giocatore rispetto all'aleatorietà.
Maschere narrative	
Rispetto alla tua specializzazione e alla tua esperienza (ludica), che ruolo ha avuto la narrazione (rispetto ai contenuti del gioco e alle meccaniche)?	Indagare sul ruolo e sull'importanza della maschera narrativa, in relazione al giocatore.
Che effetto ti ha fatto avere una narrazione durante il gioco?	Valutare l'impatto di engagement, prodotto dalla maschera.
Ti viene in mente un altro fenomeno reale simile o un'altra narrazione che pensi possa essere raccontata attraverso questo gioco? Quale?	Controllare se la maschera narrativa ha aiutato a creare delle metafore da poter usare per analogie.
Conseguenze	
Cosa ti porti a casa?	Ricerca gli effetti più duraturi e consapevoli del gioco.
Per gli educatori e docenti	

Se dovessi immaginare di fare questo gioco con studenti di scuola secondaria, quali potenzialità e quali limiti ci vedi?

Sondare i punti critici per l'applicazione didattica del gioco da prospettive diverse.

## APPENDICE E - FACILITAZIONE DEL GIOCO

1. Disporre tutto il materiale del gioco
2. Far scegliere a ogni giocatore un colore
3. Presentare lo scopo del gioco ovvero fare più punti e l'eventuale ambientazione
4. Presentare i vari pezzi della plancia
5. Spiegare che il gioco durerà 10 turni e ogni turno sarà composto da 3 fasi. La prima sarà una fase di diffusione dei cubetti, la seconda di posizionamento dei cubetti che servirà per influenzare la terza fase che sarà quella in cui si faranno i punti.
6. Spiegare l'ordine di gioco, ovvero si seguirà l'ordine dei segnalini nel tracciato punti, in caso di pareggio si segue l'ordine di sovrapposizione dei segnalini, tranne che per il primo turno
7. Spiegare la seconda fase, quella del posizionamento. Si comincia dalle due opzioni possibili di azione. Si specifica che il senso di rimuovere i cubetti verrà spiegato più avanti. Poi illustrare le regole di posizionamento.
8. Spiegare come funzionano i tracciati maggioranze e il controllo dei vari colori, soprattutto il caso in cui un giocatore controlla più di un colore e il pareggio
9. Spiegare la terza fase. Si procede a illustrare il meccanismo che regola gli spostamenti dei seguaci. Poi spiegare il calcolo dei punteggi. Poi spiegare il caso in cui non ci sono movimenti e la procedura per redistribuire i seguaci casualmente
10. Spiegare la prima fase ovvero quella di diffusione dei cubetti. In particolare spiegare la procedura di diffusione passo per passo. Inoltre illustrare il ripristino dei dischetti e la gestione dei cubetti rispetto al tracciato maggioranze e a parità di punti.
11. Chiedere se ci sono domande.
12. Fare un turno di prova a partire dalla fase 2.

Nota per le attività in classe: rimuovere i turni IV, VII, IX

## APPENDICE F - CARTE PROMEMORIA

<p>Riassunto di gioco</p> <p>Ordine di gioco: dischetti su tracciato punti, seguire ordine di impilazione in caso di parità</p> <p>Prima fase:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Posizionare 1 (o 2 se sopra soglia maggioranza) cubetto casualmente</li><li>2. Chi è ultimo (in caso di parità, tutti quelli in ultima posizione sul tracciato punti) posiziona un cubetto.</li></ol> <p>Seconda fase:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Svolgere una delle seguenti azioni: posizionare 2 collegamenti o rimuovere 2 cubetti</li><li>2. Aggiornare tracciati maggioranza</li></ol> <p>Terza fase:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Stabilire il verso da seguire nei prossimi punti negli stalli</li><li>2. Controllare se ci sono delle maggioranze e scacciare le minoranze</li><li>3. Controllare le maggioranze e calcolare i punti</li></ol> <p>Punteggio: maggioranza → 3pt. , secondo posto → 1 pt. Max 1 pt per stallo</p> <p>Fine partita: far esplodere tutti i cubetti, giocatore con più collegamenti 2 pt.</p>	<p>Riassunto di gioco</p> <p>Ordine di gioco: dischetti su tracciato punti, seguire ordine di impilazione in caso di parità</p> <p>Prima fase:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Posizionare 1 (o 2 se sopra soglia maggioranza) cubetto casualmente</li><li>2. Chi è ultimo (in caso di parità, tutti quelli in ultima posizione sul tracciato punti) posiziona un cubetto.</li></ol> <p>Seconda fase:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Svolgere una delle seguenti azioni: posizionare 2 collegamenti o rimuovere 2 cubetti</li><li>2. Aggiornare tracciati maggioranza</li></ol> <p>Terza fase:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Stabilire il verso da seguire nei prossimi punti negli stalli</li><li>2. Controllare se ci sono delle maggioranze e scacciare le minoranze</li><li>3. Controllare le maggioranze e calcolare i punti</li></ol> <p>Punteggio: maggioranza → 3pt. , secondo posto → 1 pt. Max 1 pt per stallo</p> <p>Fine partita: far esplodere tutti i cubetti, giocatore con più collegamenti 2 pt.</p>
---	---

<p>Riassunto di gioco</p> <p>Ordine di gioco: dischetti su tracciato punti, seguire ordine di impilazione in caso di parità</p> <p>Prima fase:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posizionare 1 (o 2 se sopra soglia maggioranza) cubetto casualmente</li> <li>2. Chi è ultimo (in caso di parità, tutti quelli in ultima posizione sul tracciato punti) posiziona un cubetto.</li> </ol> <p>Seconda fase:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Svolgere una delle seguenti azioni: posizionare 2 collegamenti o rimuovere 2 cubetti</li> <li>2. Aggiornare tracciati maggioranza</li> </ol> <p>Terza fase:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stabilire il verso da seguire nei prossimi punti negli stalli</li> <li>2. Controllare se ci sono delle maggioranze e scacciare le minoranze</li> <li>3. Controllare le maggioranze e calcolare i punti</li> </ol> <p>Punteggio: maggioranza → 3pt. , secondo posto → 1 pt. Max 1 pt per stallo</p> <p>Fine partita: far esplodere tutti i cubetti, giocatore con più collegamenti 2 pt.</p>	<p>Riassunto di gioco</p> <p>Ordine di gioco: dischetti su tracciato punti, seguire ordine di impilazione in caso di parità</p> <p>Prima fase:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Posizionare 1 (o 2 se sopra soglia maggioranza) cubetto casualmente</li> <li>2. Chi è ultimo (in caso di parità, tutti quelli in ultima posizione sul tracciato punti) posiziona un cubetto.</li> </ol> <p>Seconda fase:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Svolgere una delle seguenti azioni: posizionare 2 collegamenti o rimuovere 2 cubetti</li> <li>2. Aggiornare tracciati maggioranza</li> </ol> <p>Terza fase:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Stabilire il verso da seguire nei prossimi punti negli stalli</li> <li>2. Controllare se ci sono delle maggioranze e scacciare le minoranze</li> <li>3. Controllare le maggioranze e calcolare i punti</li> </ol> <p>Punteggio: maggioranza → 3pt. , secondo posto → 1 pt. Max 1 pt per stallo</p> <p>Fine partita: far esplodere tutti i cubetti, giocatore con più collegamenti 2 pt.</p>
---	---

<p>Diffusione cubetti</p> <p>Istruzioni</p> <p>Se su un dischetto sono presenti due cubetti, procedere nel modo seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Posizionare un cubetto su tutti i dischetti collegati al dischetto con due cubetti</li><li>2. Rimuovere il dischetto con due cubetti</li><li>3. Aggiornare i tracciati maggioranza</li><li>4. Rimuovere i collegamenti colleganti un solo dischetto uno a uno e aggiornare i tracciati maggioranza man mano</li><li>5. Se su un dischetto sono presenti due cubetti, ripartire dal punto 1</li></ol>	<p>Diffusione cubetti</p> <p>Istruzioni</p> <p>Se su un dischetto sono presenti due cubetti, procedere nel modo seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Posizionare un cubetto su tutti i dischetti collegati al dischetto con due cubetti</li><li>2. Rimuovere il dischetto con due cubetti</li><li>3. Aggiornare i tracciati maggioranza</li><li>4. Rimuovere i collegamenti colleganti un solo dischetto uno a uno e aggiornare i tracciati maggioranza man mano</li><li>5. Se su un dischetto sono presenti due cubetti, ripartire dal punto 1</li></ol>
<p>Diffusione cubetti</p> <p>Istruzioni</p> <p>Se su un dischetto sono presenti due cubetti, procedere nel modo seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Posizionare un cubetto su tutti i dischetti collegati al dischetto con due cubetti</li><li>2. Rimuovere il dischetto con due cubetti</li><li>3. Aggiornare i tracciati maggioranza</li><li>4. Rimuovere i collegamenti colleganti un solo dischetto uno a uno e aggiornare i tracciati maggioranza man mano</li><li>5. Se su un dischetto sono presenti due cubetti, ripartire dal punto 1</li></ol>	<p>Diffusione cubetti</p> <p>Istruzioni</p> <p>Se su un dischetto sono presenti due cubetti, procedere nel modo seguente:</p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. Posizionare un cubetto su tutti i dischetti collegati al dischetto con due cubetti</li><li>2. Rimuovere il dischetto con due cubetti</li><li>3. Aggiornare i tracciati maggioranza</li><li>4. Rimuovere i collegamenti colleganti un solo dischetto uno a uno e aggiornare i tracciati maggioranza man mano</li><li>5. Se su un dischetto sono presenti due cubetti, ripartire dal punto 1</li></ol>

## APPENDICE G - MONITORAGGIO

Fase della partita	Livello	Domande
Apertura	Meccaniche	Seguono l'ordine di gioco correttamente?
		Si ricordano di segnare i turni?
	Strategie	Si concentra solo sui tracciati maggioranza?
		Cerca di favorire se stesso o svantaggiare gli altri?
Mediogio	Meccaniche	Ha capito la regola della rimozione cubetti?
		Si ricordano della soglia nei tracciati maggioranze?
		Si ricordano della soglia nel conteggio turni?
	Strategie	Sta attento a dove posizionare il cubetto?
		Nel tracciato maggioranze, cerca di prevalere e basta?
		Cerca di evitare le diramazioni nei collegamenti?
		Fa previsioni sulla configurazione degli stalli?
	Finale	Meccaniche
Strategie		Evita i cubetti?
Comunicazione	Confronto con il compagno	È in grado di spiegare in maniera appropriata le proprie scelte /decisioni?
Comprensione	Regolamento	È in grado di ascoltare e comprendere l'esposizione del regolamento?

	Turni	Bastano pochi turni (3/4) per una compressione completa delle meccaniche?
--	-------	---

## RINGRAZIAMENTI

Per questa tesi desidero ringraziare innanzitutto e soprattutto la prof. Tasquier, che ha avuto la pazienza di rimettermi sulla giusta via ogni volta che sbandavo ed è capitato più di una volta. A seguire la prof. Ricciardi che mi ha permesso di entrare in contatto con la realtà dei giochi da tavolo per la fisica. Poi vorrei ringraziare Fabio Taroni che mi ha aiutato all'inizio della progettazione del gioco, grazie per la sua disponibilità. Desidero ringraziare il gruppo di collaborazione tra l'INAF e il Game Science Research Center che hanno condotto la validazione del gioco. Non possono non essere menzionati i playtester, povere cavie che si sono immolate per la scienza. Scherzo, grazie per la vostra disponibilità e i vostri commenti. Infine un grazie scontato ma doveroso alla mia famiglia; senza di loro non sarei mai arrivato fino a qui.