

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
Dipartimento di Fisica e Astronomia “Galileo Galilei”

Corso di Laurea Magistrale in Astronomia

**Didattica dell’Astrofisica con un approccio innovativo:
un caso studio di game-based learning**

RELATORE:
Prof. Stefano Ciofi

CORRELATRICI:
Dr.ssa Caterina Boccato
Dr.ssa Stefania Varano

LAUREANDA:
Rachele Toniolo

Anno Accademico 2019/2020

*“Non saremo noi fisici teorici e nemmeno
saranno gli sperimentali a cambiare il mondo:
lo cambieranno coloro che saranno capaci di
diffondere la fisica grazie all’arte di raccontarla.”*
Gabriella Greison, *Hotel Copenhagen*

Indice

Introduzione	1
1 La risoluzione in astronomia	7
1.1 La risoluzione	7
1.2 Il potere risolutivo	9
1.3 La turbolenza atmosferica	13
1.4 I Charge Coupled Devices	14
1.5 Le immagini digitali	15
1.6 Esempi strumentali	18
1.6.1 La multi-risoluzione di Planck	18
1.6.2 La bassa risoluzione di CTA	20
1.6.3 Interferometria con EHT	22
2 Il game-based learning	25
2.1 Il gioco: definizioni e caratteristiche	25
2.2 Il gioco come strumento didattico	26
2.3 Caratteristiche e pedagogia del game-based learning	29
2.4 Gamification: vantaggi e svantaggi	32
3 Analisi di attività ludiche	35
3.1 Scheda ludica	35
3.2 Il game-based learning all'INAF	38
3.2.1 Giochi da tavolo: il gioco dell'oca	38
3.2.2 Giochi di ruolo: la caccia al tesoro	40
3.2.3 Caccia al Radiotesoro	44
3.2.4 Tinkering per le STEM	46
3.2.5 Coding e robotica educativa	48
3.2.6 Gamification con Kerbal Space Program	53
3.3 Considerazioni	55
4 Il gioco “Viva la risoluzione!”	57
4.1 Premesse e obiettivi	57
4.2 Descrizione dell'attività	60

4.2.1	Preparazione	61
4.2.2	Svolgimento	61
4.2.3	Note e varianti	62
4.3	Applicazione della scheda valutativa	62
4.4	Prime sperimentazioni	65
5	Valutazione	67
5.1	Valutazione della metodologia didattica	67
5.2	Valutazione delle meccaniche	67
5.3	Valutazione dell'efficacia pedagogica	68
6	Sviluppi futuri	71
6.1	Il GAME Science Research Center	71
6.2	Progettazione del gioco da tavolo	72
7	Conclusione	75
	Bibliografia	77
A	Scheda ludica per l'analisi dei giochi	83
A.1	Scheda valutativa di Romina Nesti	83
A.2	Parametri valutativi di Andrea Ligabue	84
B	Scheda tecnica	87
	Ringraziamenti	95

Introduzione

In questi ultimi anni, nell'ambito della ricerca scientifica, è sempre più evidente l'importanza del *Public Engagement* (PE, tradotto "coinvolgimento pubblico"), azione che coinvolge ricercatori che conversano, ascoltano e interagiscono con non-esperti (Wilkinson e Weitkamp, 2016). Esso include anche diverse attività didattiche e divulgative rivolte alle scuole e al pubblico ed è compreso nella cosiddetta "Terza Missione" di Università ed Enti di Ricerca.

La "Terza Missione" viene descritta da APEnet (*rete degli Atenei ed Enti di Ricerca per il Public Engagement*) come "ponte tra il mondo della ricerca accademica e la società nel suo complesso". Inoltre, "le iniziative di *Public Engagement* rappresentano elementi essenziali per stabilire e rafforzare relazioni stabili di ascolto, dialogo e collaborazione con la società con valore di responsabilità sociale di restituzione del territorio". (APEnet, 2015)

L'appellativo "Terza" deriva dalla presenza di una "Prima" e "Seconda" missione, che comprendono rispettivamente la didattica universitaria e la ricerca scientifica.

Nel caso dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) "la Terza missione riguarda il rapporto degli enti di ricerca con la società e con lo sviluppo economico e culturale attraverso la trasformazione, la messa a disposizione e la circolazione della conoscenza prodotta con l'attività di ricerca" (INAF, 2019).

Il punto di forza dell'astronomia è di essere una delle scienze che più affascina il grande pubblico. Difatti, come riporta il *Piano triennale della performance 2019-2021* dell'INAF:

Essa è un efficace tema di insegnamento multidisciplinare di grandi potenzialità, anche riguardo ai temi di inclusione sociale, per le scuole di ogni ordine e grado. Per la curiosità e il fascino che suscita nei giovani, l'Astronomia, infatti, rappresenta un valido strumento per combattere la tendenza negativa di abbandono degli studi di area scientifica che si sta verificando nella maggior parte dei Paesi Europei. Le competenze scientifiche di punta e le tecnologie di avanguardia che la ricerca astronomica contribuisce a sviluppare costituiscono un ottimo esempio del progresso culturale e industriale di paesi a sviluppo avanzato come vorrebbe/dovrebbe essere l'Italia.

L'INAF fonda le attività di *Public Engagement* su due pilastri fondamentali: attività di *Public Outreach* (sensibilizzazione del pubblico), dedicate a segmenti di pubblico generico, e attività di *Education* (istruzione), dedicate al mondo della scuola.

Per il *Public Outreach* vengono realizzati diversi prodotti multimediali, tra i quali si ricorda

Media INAF, una testata che riporta quotidianamente le principali novità in ambito astrofisico, tecnologico e non solo, commentate da ricercatori e ricercatrici dell'Istituto. Parallelamente esso si impegna nella partecipazione ai vari Festival della Scienza, all'ideazione e realizzazione di mostre, a iniziative nazionali e internazionali come La Settimana della Luce, FameLab, la Notte Europea dei Ricercatori e tante altre. Inoltre si ricorda Astrokids, un'iniziativa che prevede una serie di incontri in cui un astronomo, con un approccio ludico, illustra un tema di astronomia a ragazzi e ragazze in età da scuola primaria, utilizzando come base le avventure di Martina Tremenda, protagonista del volume "Astrokids. Avventure e scoperte nello spazio", edito da Scienza Express nel 2014.

Le attività di *Education* includono la formazione per docenti e gli interventi laboratoriali nelle scuole. Si ricordano inoltre il sito edu.inaf.it, magazine mensile collettore di un ampio ventaglio di iniziative e risorse rivolte alla scuola e al pubblico interessato, e la rivista online astroEDU (di cui INAF gestisce la versione italiana), che offre attività didattiche revisionate da ricercatori e docenti (INAF, 2019).

Negli ultimi anni, tra le attività ideate e indirizzate ai più giovani, si sono fatte strada le metodologie della didattica cooperativa, creativa e ludica, centrate sulla persona e sulle sue competenze. Molte si basano sul metodo EBL (*Enquiry Based Learning*, apprendimento basato sull'indagine), una forma di apprendimento attivo che ha inizio con il porsi domande e immaginare problematiche o scenari. In ambito astrofisico, questo ha comportato il coinvolgimento degli studenti anche sulle tecniche e sulle modalità dell'attività di ricerca, oltre che sui concetti e sulle nozioni.

Ne sono un esempio le attività di tipo *tinkering*, *game-based learning* o *gamification*, che si ispirano alle più moderne e innovative teorie pedagogiche. Esse si basano su un concetto già ampiamente dimostrato e trattato dalla ricerca: il potere motivazionale del gioco. A partire da esso si sviluppano attività ludiche che hanno come obiettivo la familiarizzazione con le metodologie della scienza e la sperimentazione di queste, oltreché l'apprendimento di determinati concetti.

Il primo obiettivo di questa tesi è analizzare, da un punto di vista sia scientifico sia pedagogico, una delle tante attività sviluppate in quest'ambito: il gioco "Viva la risoluzione!". Ideata da Stefania Varano¹ e Sara Ricciardi² per bambini e bambine dagli 8 ai 12 anni, l'attività si pone i seguenti obiettivi disciplinari ed educativi (Varano e Ricciardi, 2018):

- introdurre concetti base sulla natura delle immagini digitali, come la risoluzione spaziale e cromatica, il campionamento, la quantità e il flusso di dati;
- creare un ambiente inclusivo e partecipativo, lasciando molto spazio all'intuizione personale e alla scoperta autonoma;
- prevenire le barriere di alfabetizzazione tecnologica e incoraggiare l'impegno di tutti i bambini grazie a oggetti familiari e attrezzature ludiche a bassa tecnologia.

Tali obiettivi vengono raggiunti tramite l'utilizzo dei chiodini Quercetti[®]: fornendo una tavoletta forata sotto cui è disposta un'immagine a colori si invitano i bambini a ricostruire il disegno, come si vede in figura 1.

¹INAF - Istituto di Radioastronomia di Bologna

²INAF - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna



Figura 1: Bambini che iniziano a inserire i chiodini nella tavola forata per ricostruire l'immagine sottostante. Foto: Varano/INAF

La scelta della risoluzione delle immagini come obiettivo didattico risiede nel suo essere un concetto chiave nell'astrofisica. Essa influisce in maniera importante nella scelta dello strumento da utilizzare per la ricerca: un'elevata risoluzione richiede tempo di lavorazione maggiore (sia in termini di posa che di trasferimento dei dati) così come di costi in termini di strumentazione, ma permette di ottenere immagini molto dettagliate; viceversa per la bassa risoluzione.

A seconda dell'obiettivo scientifico, si predilige l'una o l'altra. Ad esempio, nel caso della ricerca di esopianeti tramite il metodo dei transiti, è necessario ottenere molte immagini sfocate nel minor tempo possibile per poter osservare una variazione nella luminosità della stella e quindi rilevare la presenza di un transito planetario. Al contrario, nel caso dello studio della superficie dei pianeti del sistema solare, è importante avere una buona risoluzione delle immagini per poter studiare nel dettaglio le caratteristiche geologiche.

Non solo, a volte anche nello studio della stessa sorgente può essere opportuno o necessario usare diversi poteri risolutivi nell'ambito della stessa osservazione, favorendo la bassa risoluzione per regioni estese e povere di dettagli e una risoluzione migliore per regioni morfologicamente più complesse e/o interessanti.

A livello educativo e pedagogico, questo argomento risulta un buon modo per introdurre i ragazzi al tema della ricerca scientifica: attraverso la collaborazione che richiede l'attività, sperimentano l'importanza del lavoro di squadra che viene richiesto anche a livello professionale; tramite la sperimentazione apprendono il ruolo che gioca l'errore nella ricerca, visto in genere come elemento negativo, ma che è la base del metodo scientifico stesso.

Un altro suo punto di forza è di essere un argomento semplice e circoscritto: questo si inserisce nella modalità di progettazione didattica chiamata *microlearning*, che prevede la trattazione di un singolo concetto, con un lavoro ampio sulle competenze che ad esso si possono ispirare e associare. Inoltre, poiché l'argomento fa parte del vissuto quotidiano di ognuno (basti pensare al tipo di risoluzione che possono avere le immagini o i video in rete a seconda della potenza del segnale), l'approccio didattico ha mostrato un aspetto "maieutico", nel senso di un accesso alla conoscenza ottenuto tramite la partecipazione attiva del soggetto, che ritrova in sé stesso e nel

proprio vissuto, le risposte alle domande che è stato sollecitato a porsi.

Cosa più importante, e su cui si concentrerà questo studio, l'attività è un esempio di *game-based learning*, “una disciplina che studia e applica il gioco in campo educativo e le risorse che il ludico può offrire come strumento per l'apprendimento” (Nesti, 2017). Negli ultimi anni la ricerca sta investendo molto in questo ambito: la motivazione alla base, come racconta la ricercatrice Romina Nesti nel suo libro “Game-based learning. Gioco e progettazione ludica in educazione”, è la volontà di innovare la didattica esistente partendo da un concetto già ampiamente dimostrato dalla ricerca, ovvero il potere motivazionale del gioco.

Il secondo obiettivo di questa tesi consiste quindi nel dare un contributo alla progettazione ludica, fornendo una scheda valutativa-descrittiva per le attività che utilizzano il gioco come strumento didattico in astrofisica.

Affrontare un argomento quale il *game-based learning* applicato all'astrofisica richiede una grande multidisciplinarietà: è necessario avere buone competenze sull'argomento disciplinare (in questo caso la risoluzione delle immagini digitali) per poterlo declinare al meglio all'interno dell'attività, così come competenze pedagogiche per tener conto di tutte le implicazioni didattiche ed educative. Per questo motivo, per ogni ambito di conoscenza (astrofisica, pedagogia, didattica ludica) toccato in questa trattazione, saranno trattati in dettaglio solo gli aspetti e i concetti legati alle tematiche coinvolte nello studio in atto.

La tesi è così organizzata.

Nel capitolo 1 si descrive in maniera estensiva il concetto di risoluzione delle immagini digitali. Come si è visto essa rappresenta un elemento chiave nell'astronomia e grazie alla intuitività di molti suoi concetti è stata scelta come argomento didattico per il laboratorio in esame. Dopo aver presentato le varie tipologie di risoluzione (spaziale, cromatica e temporale) dal punto di vista scientifico, se ne discutono i relativi costi e benefici in virtù dell'obiettivo scientifico da analizzare. Come esempio si riportano alcuni strumenti di ultima generazione utilizzati nella ricerca astronomica, sottolineando le diverse caratteristiche strumentali e metodologie osservative in termini di risoluzione.

Nel capitolo 2 si descrive il concetto di *game-based learning* e delle teorie pedagogiche su cui si basa, sottolineando le differenze che intercorrono con la *gamification*.

Basandosi sugli studi presenti in letteratura, nel capitolo 3 si introduce una scheda per l'analisi di attività ludiche che verrà applicata ai diversi laboratori, progettati in ambito INAF, che applicano questa metodologia per la didattica dell'astrofisica.

Nel capitolo 4 si introduce l'attività oggetto di questo studio, ovvero il laboratorio “Viva la risoluzione!”, e i processi di ideazione, progettazione e sperimentazione dell'attività. Sarà prestata particolare attenzione alla descrizione della costruzione di analogie concettuali e metodologiche tra l'attività e la disciplina che intende rappresentare, soffermandosi anche su quelle meno evidenti. Trattandosi di un'attività ludica, questo aspetto rappresenta infatti uno dei passaggi più importanti della progettazione, in modo da mantenere da una parte gli aspetti tipici del gioco (divertimento, autonomia, ecc.) e dall'altra il valore disciplinare ed educativo dell'attività. Sarà descritta inoltre la campagna di sperimentazione e raccolta *feedback* che ha interessato diversi contesti e diverse modalità di svolgimento.

Basandosi su quest'ultime, il capitolo 5 intende analizzare i risultati dell'attività e valutarli in

vista di successive modifiche.

Il capitolo 6 è dedicato agli sviluppi futuri dell'attività, in particolare alla sua possibile trasformazione in gioco da tavolo di "posizionamento" con materiali strutturati e progettati *ad hoc*, da produrre e distribuire con il marchio INAF. In questo capitolo saranno illustrate le fasi iniziali di co-progettazione nell'ambito della collaborazione con il *GAME Science Research Centre* di Lucca.

Le conclusioni vengono raccolte nel capitolo 7.

Capitolo 1

La risoluzione in astronomia

Premessa

Questo primo capitolo ha lo scopo di introdurre gli obiettivi disciplinari del laboratorio “Viva la risoluzione!” oggetto di questo studio, ovvero la risoluzione spaziale e cromatica e le tematiche ad esse collegate applicate all’astronomia.

È importante sottolineare che l’attività è un esempio di *game-based learning*¹, “una disciplina che studia e applica il gioco in campo educativo e le risorse che il ludico può offrire come strumento per l’apprendimento” (Nesti, 2017). Per questo motivo il laboratorio è prima di tutto un gioco e gli obiettivi disciplinari vengono introdotti solo ad attività conclusa, durante il *debriefing*, un momento in cui si torna riflessivamente su quanto accaduto per aggiungerne consapevolezza e fissare i contenuti appresi. In questa fase il moderatore introduce per la prima volta il concetto di risoluzione spaziale che, grazie alla sperimentazione, sarà già chiaro ai giocatori.

In seguito, il lavoro svolto dai partecipanti viene paragonato a quello svolto dai telescopi che, a seconda dell’obiettivo scientifico, vengono costruiti per restituire una determinata risoluzione spaziale, come descritto negli esempi della sezione 1.6.

Nel capitolo 4 sono descritte in dettaglio le analogie che intercorrono tra le meccaniche e dinamiche del gioco e il concetto di risoluzione.

1.1 La risoluzione

Il concetto di risoluzione nella ricerca astrofisica riguarda diversi aspetti.

Innanzitutto la risoluzione angolare di un telescopio è limitata dalla dimensione del disco di Airy, ovvero il disco centrale luminoso della figura di diffrazione che si genera quando la luce attraversa un’apertura circolare (figura 1.1).

Per definizione il potere risolutivo teorico di un telescopio equivale alla dimensione angolare del raggio del disco di Airy, definito quindi come la distanza fra il centro del disco luminoso

¹Argomento trattato nel dettaglio nel capitolo 2.

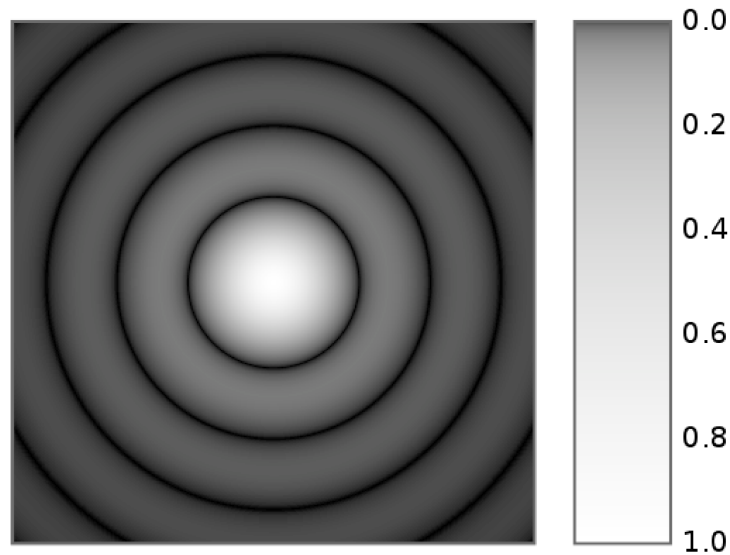


Figura 1.1: La diffrazione è un particolare fenomeno di interferenza che subisce la luce quando attraversa un ostacolo o una fenditura. Nel caso di un'apertura circolare, l'immagine che si forma è il disco di Airy. Immagine: Wikimedia Commons.

e il primo minimo di luce. Esso definisce la minima distanza angolare che può esserci tra due sorgenti puntiformi per essere distinte dallo strumento.

Tale quantità è direttamente proporzionale alla lunghezza d'onda λ e inversamente proporzionale al diametro della fenditura D (che corrisponde allo specchio primario nel caso dei telescopi) secondo la formula (Mazzoldi et al., 2002):

$$\theta = 1.22 \cdot \frac{\lambda}{D} \quad (1.1)$$

Ne deriva che, a parità di lunghezza d'onda, è necessario avere diametri sempre maggiori per ottenere un potere risolutivo minore e quindi per distinguere sorgenti via via più vicine tra loro o maggiori dettagli in un'immagine estesa.

Ma la turbolenza atmosferica altera questo valore, rendendo necessario l'introduzione di un parametro detto *seeing*, che consiste in una misura della risoluzione angolare reale. Negli anni sono state sviluppate diverse tecniche per risolvere questa problematica, tra le quali la più innovativa è l'ottica adattiva, che consiste nell'utilizzare un sistema ottico in grado di modificarsi per compensare l'effetto della turbolenza atmosferica.

Nel caso della luce visibile, una volta che l'immagine si forma sul piano focale del telescopio, viene trasformata in un'immagine digitale grazie ad un rilevatore ottico. I più utilizzati in campo astronomico sono i CCD (*Charge Coupled Devices*, dispositivi ad accoppiamento di carica), dispositivi che sfruttano l'effetto fotoelettrico per misurare il numero e l'intensità dei fotoni incidenti e da qui restituire una misura in ADU (*Analogic-to-Digital Unit*, unità analogico-digitale). Da questa matrice di numeri si ricava infine un'immagine digitale, il cui numero e la

dimensione dei pixel utilizzati rappresenta la risoluzione spaziale dell'immagine digitale. Collegata ad essa vi è la risoluzione cromatica, che, attraverso la quantità di *bit* per pixel, definisce il numero di colori che possono essere rappresentati. È importante sottolineare che quando si tratta di immagini astronomiche si ha sempre a che fare con immagini in bianco e nero, con le varie sfumature di grigio. I ricercatori, però, per poter studiare le caratteristiche di una sorgente, sovrappongono la stessa immagine acquisita in bande diverse e associano a priori un colore ad ognuna di esse, risultando in un'immagine in falsi colori; questo ad esclusione del visibile in cui si rispettano i colori reali. Difatti il concetto di colore è associato alla percezione che ha l'occhio umano delle diverse lunghezze d'onda che appartengono alla banda del visibile; spostandosi da questa zona dello spettro elettromagnetico l'occhio umano non è più in grado di percepire la radiazione.

Il termine risoluzione temporale è collegato invece con l'intervallo di tempo che intercorre tra l'acquisizione di un'immagine e l'altra.

Ad esempio, nel caso dello studio della variazione periodica di luminosità delle cefidi (una tipologia di stelle variabili), viene richiesta un'alta risoluzione temporale, ovvero un piccolo intervallo tra un'immagine e l'altra. Grazie a questo tipo di analisi, l'astronoma statunitense Henrietta Leavitt ha scoperto l'esistenza di una relazione che lega il periodo con la luminosità di questi corpi, con cui è possibile misurare la distanza di sorgenti extragalattiche a cui appartengono.

A seconda dell'obiettivo scientifico, per ognuna delle tipologie di risoluzione viste finora, è preferibile scegliere un valore basso o alto.

Ad esempio, nel caso dello studio della superficie dei corpi del sistema solare, è importante avere una buona risoluzione spaziale per poter studiare nel dettaglio le caratteristiche geologiche.

Non solo, a volte anche nello studio della stessa sorgente può essere opportuno o necessario usare diversi poteri risolutivi nell'ambito della stessa osservazione, favorendo la bassa risoluzione per regioni estese e povere di dettagli e una risoluzione migliore per regioni morfologicamente più complesse e/o interessanti.

La scelta di utilizzare uno strumento con bassa o alta risoluzione richiede inoltre una valutazione in termini di costi e benefici: maggiore è la risoluzione, maggiore è il tempo necessario per il trasferimento dei dati e l'analisi delle immagini. Viceversa scegliendo risoluzioni più basse si ha una perdita dei dettagli, ma le tempistiche vengono ridotte. Inoltre i telescopi più performanti sono i più richiesti dalla comunità scientifica, risultando in un costo in termini di tempo.

Scopo di questo capitolo è analizzare nel dettaglio gli obiettivi disciplinari del laboratorio oggetto di questa tesi, ovvero la risoluzione spaziale e cromatica delle immagini digitali e le tematiche ad esse collegate. Come esempio si riportano alcuni strumenti di ultima generazione utilizzati nella ricerca astrofisica, sottolineando le diverse caratteristiche strumentali e metodologie osservative in termini di risoluzione.

1.2 Il potere risolutivo

Il potere risolutivo di un telescopio è un concetto importante, perché permette di definire la risoluzione dello strumento. Esso definisce la minima distanza angolare θ tra due sorgenti pun-

tiformi affinché possano essere distinte, secondo la formula 1.1.

Tale quantità equivale alla dimensione angolare del raggio del disco di Airy che appartiene alla figura di diffrazione che si genera quando un fascio di luce colpisce una fessura circolare (Mazzoldi et al., 2002).

La diffrazione è un particolare fenomeno di interferenza che si verifica quando un'onda incontra nel suo percorso un ostacolo o un'apertura. Superati questi le onde si propagano anche lungo direzioni diverse da quella di incidenza che generano differenze di percorso tra onde che si sovrappongono in un dato punto; possono quindi avvenire fenomeni di interferenza con produzione di zone di massima luminosità (nei punti in cui si sovrappongono i massimi delle singole onde) o di minima luminosità (nei punti in cui si sovrappongono i minimi delle singole onde).

Nel caso di apertura circolare quale è lo specchio primario o la lente di un telescopio, la figura di diffrazione che si forma è dunque composta da anelli concentrici che si alternano in zone luminose e non.

Secondo il criterio di Rayleigh due sorgenti sono risolte quando il massimo della figura dell'una cade sul primo minimo della figura dell'altra (come si vede nell'immagine di mezzo della figura 1.2); ne consegue che la minima distanza angolare che può esserci tra loro corrisponde al raggio del disco di Airy. In alcuni testi si definisce il potere risolutivo come pari all'85% del raggio (Ortolani, 2017).

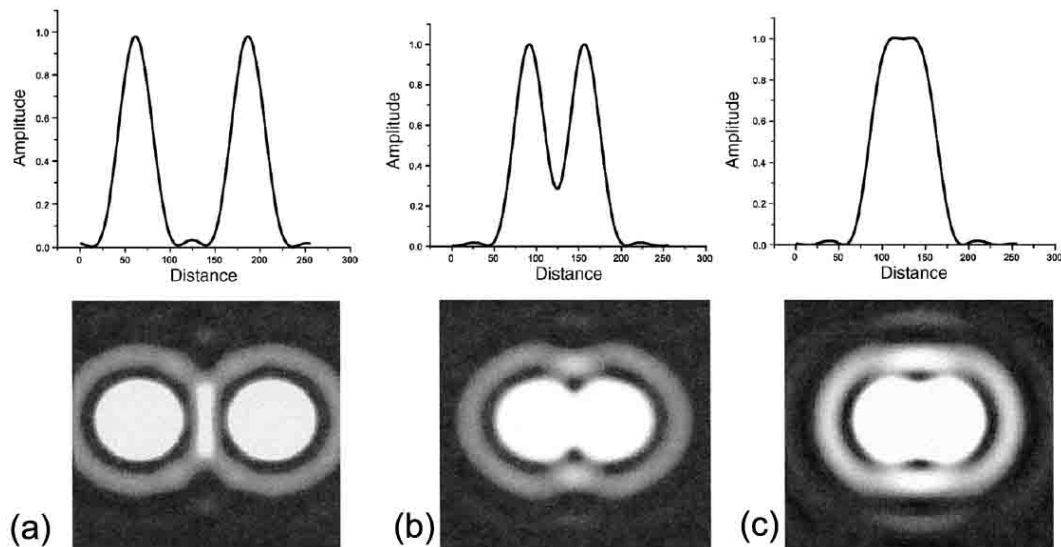


Figura 1.2: Figure di diffrazione che si ottengono quando la luce di due sorgenti puntiformi attraversa un'apertura circolare. Secondo il criterio di Rayleigh esse sono risolte se il massimo della prima cade sul primo minimo della seconda (b). Di conseguenza le sorgenti in (a) sono ben risolte, mentre in (c) non sono distinguibili. (Liao, 2018)

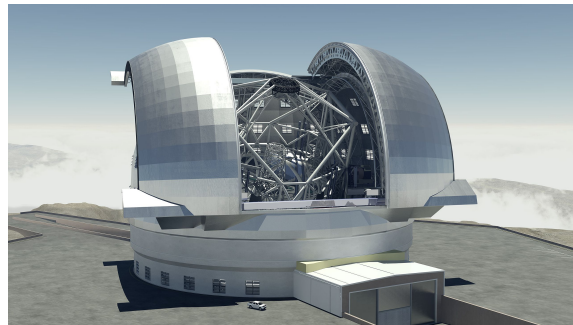
Analizzando la formula 1.1 si può dedurre che, a parità di lunghezza d'onda, per aumentare la risoluzione angolare è necessario aumentare il diametro del telescopio. Ad esempio, per avere una risoluzione pari ad un telescopio ottico di 120 cm di apertura ($\lambda = 0.55$ micron, che corrisponde

circa a un potere risolutivo di $0.1''$) il corrispondente radiotelescopio operante alla lunghezza d'onda di 5 mm (prossimo al limite della finestra radio) dovrà avere un'apertura di circa 12 km. Lo svantaggio tecnico di dover operare con collettori di grandi dimensioni è in parte compensato dalla maggior tolleranza di lavorazione. Dai lavori di Rayleigh si deduce infatti che l'immagine di un sistema perfetto è molto simile all'immagine di un sistema il cui fronte d'onda emergente si discosta di un quarto di lunghezza d'onda; in questo caso l'immagine di diffrazione avrà un picco pari a circa l'80% rispetto al sistema perfetto e il primo minimo invece di andare ad intensità zero sarà appena del 2% circa. Deviazioni maggiori portano ad un rapido degrado dell'immagine di diffrazione. Poiché per produrre una deviazione limite di $\lambda/4$ sul fronte d'onda la superficie riflettente non dovrà deviare dalla forma teorica di oltre $\lambda/8$, ne consegue che all'aumentare della lunghezza d'onda, quindi ad esempio spostandosi dall'ottico al radio, la tolleranza di lavorazione aumenta di un fattore di 10^4 , passando da meno di un decimo di micron dell'ottico a poco più di un millimetro nel radio (Ortolani, 2017).

Queste considerazioni sono la motivazione per cui si costruiscono radiotelescopi di dimensioni maggiori dei telescopi ottici e che vengono lasciati senza coperture. Un esempio è il radiotelescopio FAST (acronimo di *Five hundred meter Aperture Spherical Telescope*, figura 1.3), in Cina, che con i suoi 500 metri di diametro è il radiotelescopio più grande e sensibile al mondo. Il primato nei telescopi ottici è invece detenuto dal futuro ELT (*Extremely Large Telescope*, figura 1.3): ancora in costruzione, avrà uno specchio primario del diametro di 39 metri.



(a) Il radiotelescopio FAST è posizionato nella concavità di un bacino naturale.



(b) E-ELT rappresenta il telescopio ottico di prossima generazione dell'ESO (*European Southern Observatory*) e sarà costruito in Cile, nel deserto di Atacama.

Figura 1.3: Immagini acquisite da Wikimedia Commons.

Una tecnica di acquisizione dei dati innovativa è rappresentata dall'interferometria. Essa si basa sul principio di interferenza delle onde elettromagnetiche e permette di ottenere poteri risolutivi molto elevati combinando le informazioni che provengono da più osservatori astronomici distanti tra loro.

Utilizzando una coppia di telescopi, posti a una distanza D tra loro (detta *baseline*), si può simulare il potere risolutivo di un telescopio di diametro D . Questa strategia (detta *aperture synthesis*) permette di superare i limiti imposti dalle difficoltà tecniche di realizzazione di telescopi a grande apertura, ma comporta una riduzione dei dati più laboriosa: i fronti d'onda

arrivano in momenti diversi ai vari telescopi e di conseguenza è necessario conoscere il ritardo temporale e la fase del fronte d'onda con grande precisione per poter combinare le informazioni. In genere si predilige l'utilizzo di più telescopi, anziché due a grande distanza, sia perché maggiore è la superficie totale dei collettori di luce più forte è il segnale, sia perché in questo modo è possibile ricostruire l'intera sorgente nel caso essa sia estesa. La collocazione delle antenne deve essere tale da permettere, insieme alla rotazione della Terra, una massima copertura del piano (u, v) (dove u corrisponde alla direzione est-ovest e v alla direzione nord-sud) ed ottenere così l'informazione equivalente all'immagine di un telescopio di diametro pari alla massima *baseline* (Ciroi e Cracco, 2014).

Un esempio di interferometria è il consorzio EVN (*European VLBI Network*), costituito dai maggiori istituti europei che insieme creano una rete di radiotelescopi che utilizzano la tecnica della VLBI (*Very-Long-Baseline Interferometry*) per ottenere immagini radio ad altissima risoluzione grazie all'utilizzo di una *baseline* pari alla dimensione della Terra (EVN, 2020). L'Italia partecipa con i radiotelescopi di Medicina, Noto e Sardegna, in gestione all'INAF.

Per poter integrare le informazioni, dunque, è necessario conoscere la fase del fronte d'onda incidente. È noto che all'aumentare della lunghezza d'onda questa procedura diventa più facile; è per questo motivo che inizialmente l'interferometria si è specializzata principalmente nel campo radio (Ortolani, 2017).

In seguito, grazie all'aumento della velocità dei correlatori e il perfezionarsi delle tecniche associate, è stato possibile estendere la metodologia anche al campo ottico, come nel caso di LBT (*Large Binocular Telescope*), un telescopio a doppia pupilla installato in Arizona ottimizzato per l'interferometria nell'ottico e nell'infrarosso (figura 1.4).



Figura 1.4: Il *Large Binocular Telescope* è costituito da due specchi di diametro di circa 8.5 m ognuno. Grazie all'interferometria, la risoluzione dello strumento è pari a quella di un unico telescopio avente diametro di 22.7 m. In questo modo si evitano le problematiche tecniche legate alla costruzione di uno specchio di tali dimensioni. Immagine: Wikimedia Commons.

1.3 La turbolenza atmosferica

Il disco di Airy definisce il potere risolutivo di un telescopio in una situazione ideale, ovvero in assenza di turbolenza atmosferica; in questo caso si parla di telescopi *diffraction-limited*.

Nella realtà la presenza dell'atmosfera influisce pesantemente sulle osservazioni. Per tenerne conto è stato introdotto il concetto di *seeing*, che fornisce una misura del degrado delle immagini a causa della turbolenza in essa presente.

Le radiazioni elettromagnetiche che attraversano l'atmosfera subiscono una serie di effetti tra i quali assorbimento e rifrazione.

L'assorbimento agisce in maniera differente a seconda della lunghezza d'onda. Le principali finestre di trasmissione corrispondono alla banda del visibile (finestra ottica) e del radio (finestra radio), mentre la radiazione infrarossa riesce a passare solo parzialmente. Per le restanti regioni dello spettro (ultravioletto, raggi X e gamma) l'opacità dell'atmosfera è totale; per osservare in queste bande è necessario utilizzare telescopi spaziali, posti in orbita attorno alla Terra.

La rifrazione, invece, consiste in una deviazione dei raggi dalla traiettoria originaria; l'atmosfera subisce continue variazioni casuali di temperatura e pressione, che, combinate con i moti non laminari presenti, generano fluttuazioni dell'indice di rifrazione, il parametro che indica di quanto si discosta il raggio dalla direzione d'incidenza. Si hanno quindi variazioni della rifrazione atmosferica locale nel tempo e nello spazio, che costituiscono il *seeing*. Questo fenomeno si manifesta con tre tipi di distorsione dell'immagine di sorgenti puntiformi: scintillazione, deviazione rapida della posizione apparente e deformazione. Questi effetti, integrati nel tempo, risultano in un allargamento dell'immagine e nel conseguente decremento della risoluzione del telescopio (Viotto, 2012).

Una misura del *seeing* è data dal valore in secondi d'arco del diametro dei dischi stellari dell'immagine, che per quanto detto prima è maggiore del valore teorico (il quale è pari al diametro del disco di Airy). Nel dettaglio, la distribuzione della luce di sorgenti puntiformi sul piano focale in tre dimensioni è detta PSF (*Point Spread Function*, figura 1.5) e la sua larghezza a metà altezza (*Full Width at Half Maximum*, FWHM) vista in due dimensioni determina il valore del *seeing*. In genere un valore accettabile è pari a 1-2 arcosecondi; per valori maggiori diventa difficile separare sorgenti vicine e distinguere i dettagli e le strutture nelle sorgenti estese (Cioi e Cracco, 2014).

Per poter compensare la perturbazione del fronte d'onda a causa dell'attraversamento dell'atmosfera, sono state sviluppate negli ultimi anni una nuova tipologia di ottiche, le ottiche adattive. Inserendo lungo il percorso ottico del raggio di luce attraverso il telescopio dei correttori, si riesce a correggere la deformazione. In particolare si utilizzano dei sensori di fronte d'onda che misurano la perturbazione e inviano l'informazione a dei controllori elettronici; questi agiscono su degli specchi deformabili per introdurre una differenza di cammino ottico che compensi la deformazione.

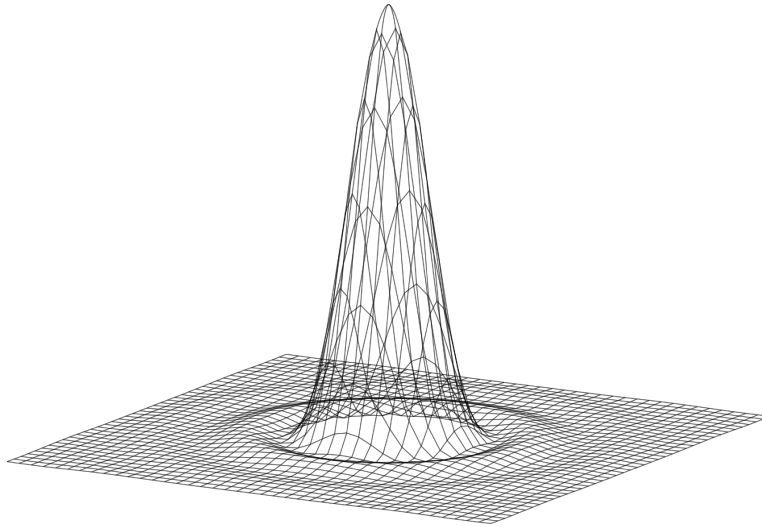


Figura 1.5: La PSF è la funzione che riproduce sul piano focale la distribuzione di luce di una sorgente uniforme, dovuta all'effetto combinato della diffrazione, delle aberrazioni ottiche e della turbolenza atmosferica che allarga il profilo. Immagine: Wikimedia Commons.

1.4 I Charge Coupled Devices

Nel caso dei telescopi ottici, quando l'immagine della sorgente si forma sul piano focale, si utilizzano dei sensori digitali detti CCD (figura 1.6) per ottenere un'immagine digitale.

Essi videro la loro prima applicazione in astronomia negli anni '80, in sostituzione alle lastre fotografiche, rispetto alle quali possiedono tre caratteristiche importanti (Ciroi e Cracco, 2014):

- **maggiore sensibilità:** i CCD riescono a rilevare un intervallo spettrale più ampio;
- **linearità:** ovvero proporzionalità diretta tra intensità luminosa registrata e tempo di posa;
- sintetizzano le **immagini digitali:** esse sono composte da pixel (acronimo di *picture element*), i più piccoli elementi di risoluzione, ognuno dei quali contiene l'informazione riguardante la sua posizione e l'intensità luminosa. In questo modo le immagini digitali sono matrici di numeri che possono essere analizzate attraverso opportuni software.

La qualità di un'immagine formata da un CCD non dipende solo dal numero di pixel da cui è composta, ma anche dalla scala spaziale (in arcsec/mm) del telescopio, che indica quanti secondi d'arco in cielo corrispondono a 1 mm nel piano focale. Da essa si può ricavare la scala spaziale lineare (in arcsec/px) e se questo valore è molto inferiore al valore del *seeing* si parla di immagini sovracampionate, poiché la FWHM delle stelle andrebbe ad occupare molti pixel; viceversa si parla di immagini sottocampionate nel caso in cui la FWHM diventa pari o minore a un pixel. Una condizione ideale è quella per cui la FWHM delle stelle occupa 2-3 pixel (Ciroi e Cracco, 2014).

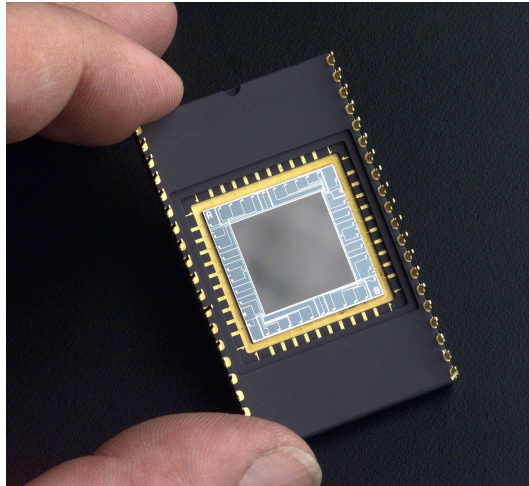


Figura 1.6: Immagine di un sensore CCD. In genere sono di dimensione compresa tra i 4 e gli 8 cm, il che comporta una dimensione minore dell'area di cielo inquadrabile. Per questo motivo si costruiscono spesso dei mosaici di CCD. Immagine: Wikimedia Commons.

Il principio di funzionamento dei CCD è l'effetto fotoelettrico, un fenomeno fisico per cui se una superficie metallica viene colpita da una radiazione elettromagnetica emette elettroni (Einstein, 1905).

Il materiale di cui è composto un CCD è il silicio: quando viene colpito da radiazione di lunghezza d'onda inferiore a 1.1 micron, gli elettroni dei suoi atomi passano dalla banda di valenza alla banda di conduzione in seguito all'assorbimento dei fotoni. Da qui sono liberi di muoversi, lasciando dietro di sé una buca di potenziale che agisce come una carica positiva. Per evitare che elettroni e buche, essendo di cariche opposte, si ricombinino, è necessario applicare un campo elettrico esterno.

In questo modo ogni pixel agisce come una porzione elettricamente isolata che raccoglie i fotoni in arrivo immagazzinandoli sotto forma di fotoelettroni.

Una volta conclusa la fase di esposizione, il CCD procede alla fase di lettura o *readout*, rappresentata idealmente nell'immagine di figura 1.7. I fotoelettroni raccolti da ogni pixel vengono trasportati lungo le colonne fino al registro seriale, una riga di pixel nascosti e non esposti alla luce, che funge da tramite tra le righe del CCD e l'amplificatore elettronico. Quest'ultimo legge la carica in uscita come un voltaggio, amplifica il segnale e lo converte in un numero intero detto ADU. In questo modo il dispositivo legge un pixel alla volta del CCD restituendo una matrice di numeri che è l'immagine digitale.

1.5 Le immagini digitali

Una volta ottenuta l'immagine digitale, è necessario ridurla, ovvero trasformarla in un'immagine scientifica. Difatti l'immagine originale è grezza, non solo perché il passaggio attraverso la strumentazione influenza il segnale ricevuto, ma anche perché l'intensità luminosa viene espressa in

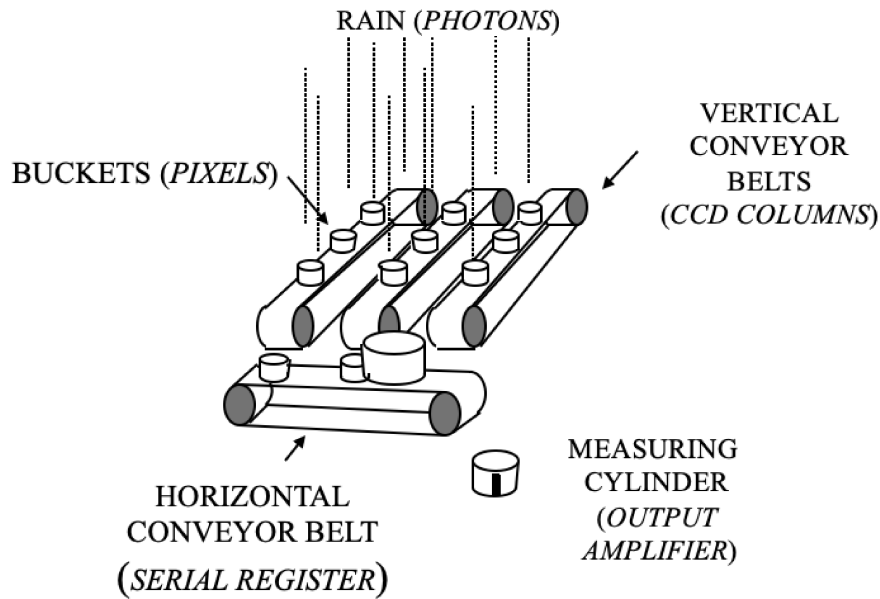


Figura 1.7: Rappresentazione ideale del funzionamento di un CCD, in cui i fotoni sono comparati alla pioggia e i pixel a dei secchi. Una volta che i secchi sono pieni, le colonne agiscono come dei nastri trasportatori che portano l'acqua raccolta al registro seriale. Quest'ultimo a sua volta sposta i secchi orizzontalmente fino a raggiungere l'amplificatore (Ciroi e Cracco, 2014).

conteggi di fotoni, e non in unità fisiche (ovvero luminosità).

Il risultato che si ottiene dopo il processo di riduzione è un'immagine digitale, la cui risoluzione spaziale è definita come il numero di pixel di cui è costituita.

In questa prima fase l'immagine sarà solo in bianco e nero e loro sfumature, poiché i pixel non contengono l'informazione sull'intensità dei fotoni che li colpiscono, ma solo del loro numero. Il colore, nella ricerca astrofisica, viene eventualmente applicato in un secondo momento, quando si confrontano immagini della stessa sorgente acquisite con filtri diversi: poiché bande diverse restituiscono componenti differenti, si associa un colore ad ogni banda, per identificare la differenza di composizione. Nell'immagine di figura 1.8 è riportata l'immagine multi-banda della galassia NGC 3344: ogni colore rappresenta una diversa sorgente astrofisica.

Il concetto di risoluzione cromatica è correlato con il numero di *bit* utilizzati per rappresentare un'immagine. Ad ogni pixel viene associato un numero di *bit*; dalle combinazioni possibili che si possono avere tra questi si ottengono diverse tonalità di colore.

Il *bit* è la più piccola unità di rappresentazione in informatica e può assumere solo due valori, 0 o 1. Se ad ogni pixel è associato un solo *bit*, le combinazioni possibili sono $2^1 = 2$, ovvero bianco o nero. Con 8 *bit* le combinazioni diventano $2^8 = 256$ e quindi si possono rappresentare 256 colori.

Ogni strumento ottico è caratterizzato da un diverso tipo di risoluzione spaziale. Come si è visto, essa è determinata dalle ottiche del telescopio (il potere risolutivo dipende dal diametro dell'apertura), dalle condizioni atmosferiche (nel caso di osservazioni da Terra) e dalle caratte-



Figura 1.8: Immagine multi-banda della galassia NGC 3344, ottenuta sommando immagini prese a partire dalla banda del visibile fino al vicino infrarosso. La colorazione rosso scura tendente al marrone viene associata alla polvere interstellare, che emette radiazione infrarossa, mentre in rosso si vedono le nebulose; il blu corrisponde al blu del visibile (450 micron) e viene emesso dalle stelle più giovani e calde, analogamente il colore giallo rappresenta le stelle più vecchie e fredde. Immagine: Wikimedia Commons.

ristiche tecniche del CCD o del mosaico di CCD.

La scelta di utilizzare un'alta o bassa risoluzione va fatta sia considerando l'obiettivo scientifico, ma anche considerando i costi che ne derivano.

In tabella 1.1 vengono riassunti i vantaggi e gli svantaggi legati ai due tipi di risoluzione spaziale. Nel caso di una bassa risoluzione spaziale, rispetto a una alta, si ha lo svantaggio di avere un minor numero di dettagli, ma a favore vi è un tempo di trasferimento e lettura minore, così come il rumore associato. Questa risoluzione risulta utile ad esempio quando si studiano i pianeti extrasolari tramite il metodo dei transiti, perché l'informazione essenziale è la luminosità della stella.

Viceversa, nel caso di un'alta risoluzione spaziale si ha una quantità maggiore di dettagli, ma un aumento del tempo di trasferimento e di lettura, così come dell'errore associato; ne deriva un aumento del costo dello strumento, sia per quanto riguarda il rilevatore (sono necessari un numero maggiore di pixel), sia per le ottiche dello strumento (il potere risolutivo reale dipende dalla turbolenza atmosferica che può essere risolta parzialmente con l'utilizzo di ottiche adattive).

Bassa risoluzione	Alta risoluzione
Minor quantità di dettagli	Maggior quantità di dettagli
Tempo di trasferimento e lettura minore	Tempo di trasferimento e lettura maggiore
Minor rumore di lettura	Maggior rumore di lettura
Costo minore	Costo maggiore

Tabella 1.1: Tabella che mette a confronto i due tipi di risoluzione spaziale.

La risoluzione cromatica, invece, non dipende dallo strumento né dal rilevatore, ma solo dalla scelta che si opera in fase di digitalizzazione dell'immagine. I pixel possono registrare solo il numero di fotoni incidenti, ovvero l'intensità, che poi vengono trasformati in ADU in fase di lettura. Da questa matrice di numeri si ottiene l'immagine digitale, in cui ad ogni valore di intensità dei pixel viene associato una sfumatura di grigio. A seconda del numero di *bit* si potranno esprimere più intensità.

1.6 Esempi strumentali

In questo paragrafo si intende presentare vari esempi di telescopi di ultima generazione che utilizzano un'alta e/o bassa risoluzione spaziale. Per ognuno di essi viene inizialmente spiegato l'oggetto o il fenomeno tipico che si intende analizzare, caratterizzato da strutture ed emissioni che prediligono l'una o l'altra.

1.6.1 La multi-risoluzione di Planck

Lanciato dall'ESA nel maggio del 2009, il satellite Planck ha scandagliato il cielo nelle bande del microonde e del sub-millimetrico per poco più di quattro anni, ottenendo mappe dell'intero cielo in nove frequenze, da 30 a 857 GHz.

Scopo della missione era lo studio dell'Universo giovane e della sua conseguente evoluzione, tramite l'osservazione delle anisotropie della CMBR (*Cosmic Microwave Background Radiation*), la radiazione cosmica di fondo nelle microonde (Akrami et al., 2019).

La CMBR, scoperta casualmente dai ricercatori Arno Penzias e Robert Wilson nel 1965 (Penzias e Wilson, 1965), è una radiazione proveniente dalle prime fasi di evoluzione dell'Universo, ed è considerata la prova chiave della teoria del Big Bang.

La sua formazione risale all'epoca della ricombinazione, corrispondente a circa 380.000 anni dopo il Big Bang. Prima di questa fase l'Universo risultava di dimensioni molto ridotte ed era composto da singoli protoni, elettroni e fotoni alla temperatura di oltre 3000 K. Con il suo espandersi, materia e radiazione hanno cominciato a raffreddarsi, fino a raggiungere la temperatura di 3000 K, al di sotto della quale l'energia dei fotoni non era più sufficiente per ionizzare gli atomi di idrogeno che si formavano dall'unione di protoni ed elettroni. Di conseguenza la radiazione non venne più assorbita e i fotoni divennero liberi di muoversi, formando la CMB (Franceschini, 2019).

La sua caratteristica principale è quella di presentare piccole fluttuazioni in temperatura che corrispondono a differenze di densità presenti nelle prime fasi evolutive in varie regioni del cielo. Queste rappresentano l'origine delle strutture che osserviamo oggi, come stelle e galassie. Analizzandone la natura e la distribuzione diventa possibile determinare la composizione e l'evoluzione dell'Universo dalla sua nascita fino ai giorni nostri (ESA, 2013).

I dati ottenuti da Planck, il cui scopo era lo studio di queste fluttuazioni, hanno permesso di ottenere nuove stime dei parametri cosmologici, dai quali dipendono i modelli che descrivono la nascita e l'evoluzione del nostro cosmo. Difatti ogni modello cosmologico deve essere in grado di spiegare la presenza e le caratteristiche della radiazione CMB.

Ad oggi costituiscono le migliori misurazioni degli spettri di anisotropia sulle scale più rilevanti per la cosmologia (Akrami et al., 2019).

Il satellite disponeva di due strumenti principali: *Low Frequency Instrument* (LFI, strumenti a bassa frequenza) e *High Frequency Instrument* (HFI, strumenti ad alta frequenza) che contenevano insieme un *array* di 74 detector in nove bande differenti. Nella tabella 1.2 sono descritte le frequenze che coprivano ciascuna banda e la loro risoluzione angolare.

	LFI			HFI					
Frequenza (GHz)	28.4	44.1	70.4	100	143	217	353	545	857
Risoluzione angolare (arcominuti della FWHM)	32.29	27.94	13.08	9.66	7.22	4.90	4.92	4.67	4.22

Tabella 1.2: Nella prima riga sono riportate le frequenze centrali delle nove bande di osservazione per i due strumenti principali presenti a bordo di Planck. La seconda riporta il valore associato ad ognuna di esse (Akrami et al., 2019).

Come si nota dalla tabella 1.2, la particolarità di Planck che gli ha permesso di ottenere importanti risultati è quella di essere uno strumento a multi-frequenza e di conseguenza anche multi-risoluzione: fissato il diametro dell'apertura, secondo la formula 1.1, all'aumentare della frequenza aumenta anche la risoluzione angolare associata. In figura 1.9 sono messe a confronto le immagini ottenute dalla rielaborazione dei dati di Planck per la banda con frequenza 28.4 GHz e 857 GHz. All'infuori delle differenze date dall'osservazione in due bande differenti, è facile notare la maggior risoluzione angolare nel secondo caso.

La scelta di uno strumento che possa restituire immagini a diverse frequenze è stata fatta in virtù della necessità di ottenere mappe del cielo della CMB. Nelle frequenze di lavoro di Planck si hanno infatti altri contributi di emissione (come ad esempio la Galassia stessa) che possono essere distinti dalla debole emissione della CMB grazie alle diverse proprietà spettrali. Solo tramite una combinazione dei dati ottenuti nelle varie bande è possibile ricostruire una mappa della CMB.

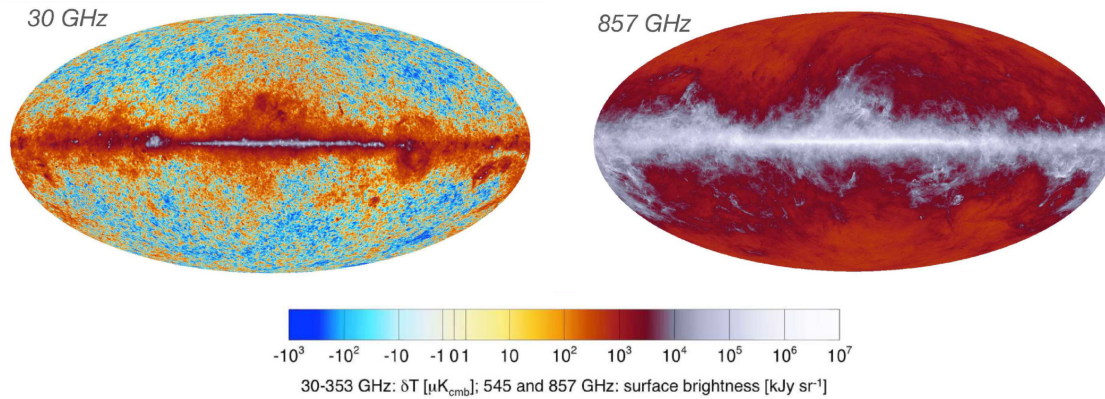


Figura 1.9: Fluttuazione dell'emissione del cielo per la banda di 30 GHz e di 857 GHz, ottenute dopo aver rimosso la componente dipolare comune. Le fluttuazioni sono espresse come variazione della temperatura nel primo caso e di brillantezza superficiale nel secondo, in base alla scala dei colori riportata sotto (Akrami et al., 2019).

1.6.2 La bassa risoluzione di CTA

CTA (*Cherenkov Telescope Array*) è un osservatorio *ground-based* per lo studio dei raggi VHE (*Very High-Energy*) di tipo gamma (Acharya et al., 2013).

L'osservatorio sarà completato nel 2025 e prevede la costruzione di due *array* di telescopi, uno nell'emisfero nord (a La Palma, un'isola dell'arcipelago delle Canarie) e uno in quello sud (nel deserto di Atacama, in Cile).

Scopo del progetto è lo studio della radiazione elettromagnetica VHE (con energia maggiore a 100 GeV) che porta con sé informazioni cruciali inerenti ai fenomeni molto energetici che avvengono nell'Universo, come resti di supernova, sistemi binari, pulsar, vari tipi di galassie attive e altre sorgenti non ancora identificate che non presentano una controparte evidente nelle altre bande di osservazione (Acharya et al., 2013).

I fotoni gamma che verranno studiati da CTA non riescono ad arrivare sulla superficie della Terra, a causa della presenza dell'atmosfera. Dall'interazione con quest'ultima si genera però una cascata di particelle subatomiche, detta *air shower* o *particle shower*. Queste particelle molto energetiche, in genere elettroni e positroni, viaggiano con velocità superiore alla velocità della luce nell'aria; da questa differenza si genera un lampo di luce blu detto "luce Cherenkov", in onore del fisico russo Pavel Cherenkov che per primo la scoprì (Cherenkov, 1937). In figura 1.10 è riassunto il meccanismo di funzionamento dei telescopi Cherenkov.

Nonostante la luce si disperda in un'area di oltre 250 metri di diametro, la cascata dura solo pochi miliardesimi di secondi ed è troppo debole per essere osservata dall'occhio umano (CTA, 2020c).

I telescopi CTA otterranno informazioni sullo sciame di particelle a partire dallo studio della luce Cherenkov. Per poter risalire alle caratteristiche del raggio gamma primario è necessario che più telescopi osservino lo stesso sciame contemporaneamente, in modo da ottenere un'immagine

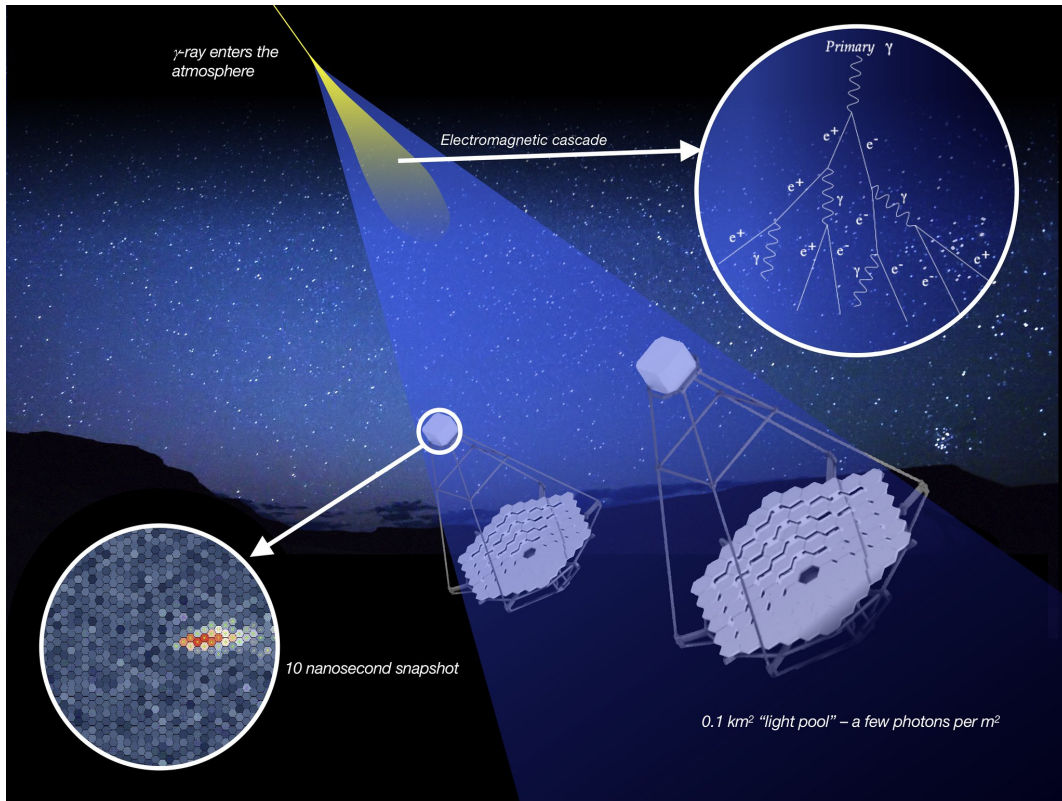


Figura 1.10: Schema riassuntivo del funzionamento dei telescopi Cherenkov. Il raggio gamma che interagisce con l'atmosfera forma una cascata di elettroni e positroni che producono la luce Cherenkov. L'immagine che si ottiene, con un tempo di esposizione di 10 nanosecondi, è riportata nel cerchio in basso a sinistra. La forma è tipicamente un'ellisse, dalle cui caratteristiche è possibile risalire all'energia e alla direzione del fotone incidente (CTA, 2020a).

stereoscopica del fenomeno. Combinando le immagini ottenute è possibile risalire all'energia e alla direzione di arrivo del fotone gamma.

Tale evento è un fenomeno molto raro: si parla di un raggio gamma per metro cubo per anno nel caso di sorgenti brillanti, o per centennio per sorgenti deboli. Attraverso la costruzione di 50-100 telescopi per sito, verrà garantita la copertura totale dell'intero cielo (Acharya et al., 2013).

Gli strumenti saranno di tre dimensioni differenti: piccole (*Small-Sized Telescope*, SST), medie (*Medium-Sized Telescope*, MST) e grandi (*Large-Sized Telescope*, LST), per garantire una sensibilità e copertura energetica di un ordine di grandezza maggiore rispetto agli strumenti VHE già esistenti (Acharya et al., 2013), come H.E.S.S., Veritas e Magic. In questo modo CTA porterà il numero di sorgenti di raggi gamma conosciute dal centinaio al migliaio (CTA, 2020c).

Per poter osservare le cascate di particelle è quindi necessario progettare telescopi con una montatura in grado di puntare molto velocemente la sorgente e con una camera ad alta velocità che sia in grado di digitalizzare e registrare l'immagine dello sciame. Per avere un'alta risoluzione

temporale e un tempo di lettura basso è necessario sacrificare la risoluzione angolare. Nelle immagini di figura 1.11 sono riportati i grafici che descrivono come varia la risoluzione angolare in funzione dell'energia. Il valore massimo si aggira intorno ai 0.25° , mentre il minimo a 0.05° , valori molto grandi se confrontati ad esempio con il caso dell'*Hubble Space Telescope* ($0.05''$). Difatti per questo tipo di studio non è importante avere una conoscenza dettagliata della morfologia del segnale, ma solo rilevare la sua presenza.

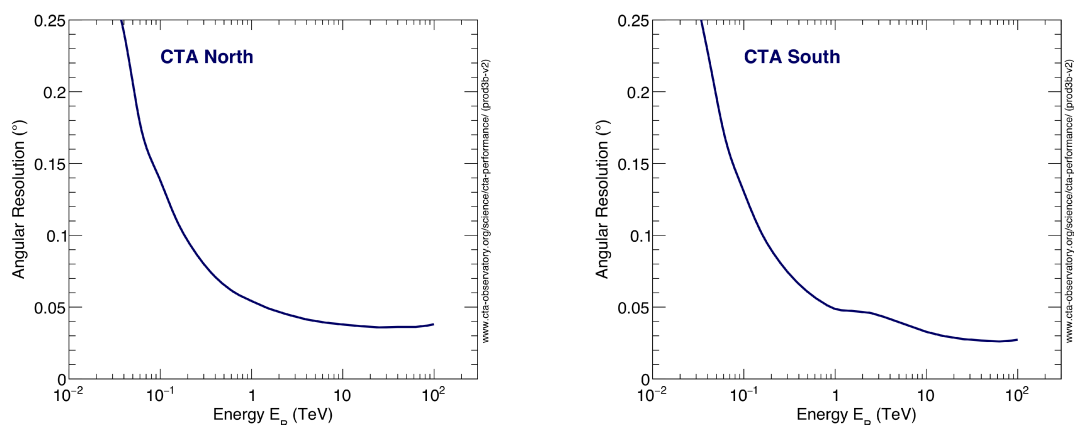


Figura 1.11: Risoluzione angolare in funzione dell'energia per i due *array* di CTA (CTA, 2020b).

1.6.3 Interferometria con EHT

Come è già stato discusso nella sezione 1.2, una delle tecniche più utilizzate per aumentare la risoluzione angolare di un'osservazione è l'interferometria. Utilizzando simultaneamente più telescopi è possibile simulare uno di diametro pari alla distanza massima tra i singoli strumenti. EHT (*Event Horizon Telescope*) è un *array* VLBI che comprende telescopi che osservano nel millimetrico e nel submillimetrico, ad una distanza comparabile con il diametro della Terra. In figura 1.12 è riportata la disposizione dei vari osservatori che ne fanno parte.

Lo scopo di EHT è quello di osservare direttamente un buco nero con una risoluzione angolare paragonabile al suo orizzonte degli eventi (EHT, 2020a), definito come la superficie entro la quale la velocità di fuga è maggiore della velocità della luce.

I buchi neri supermassicci (SMBH, *SuperMassive Black Holes*) si formano in seguito ai fenomeni di accrescimento che avvengono all'interno dei nuclei galattici attivi (AGN, *Active Galactic Nuclei*) (Heckman e Best, 2014). Il materiale che cade verso l'interno oscura l'orizzonte degli eventi del buco nero studiato, ma è in questo ambiente estremo che gli effetti della relatività generale diventano evidenti. Per queste motivazioni lo studio di tali regioni permette di ottenere preziose verifiche della teoria della relatività e dettagli straordinari sulla fisica degli AGN (Akiyama et al., 2019).

La realizzazione di questi obiettivi richiede l'utilizzo di strumenti con risoluzione angolare adeguata e operanti in una regione dello spettro elettromagnetico dove la luce riesce a viaggiare indisturbata dalle zone più interne di accrezione fino alla Terra. EHT costituisce il candidato

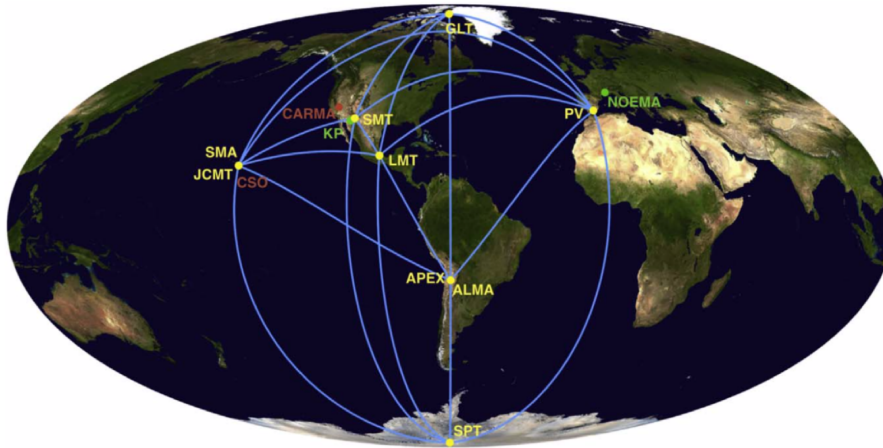


Figura 1.12: Posizione geografica degli osservatori che fanno parte di EHT (Akiyama et al., 2019).

perfetto, grazie alla sua risoluzione angolare di $25 \mu\text{as}$ e operante nella banda del millimetrico e sub-millimetrico (Akiyama et al., 2019).

Grazie a queste caratteristiche è stato possibile misurare la dimensione della regione emittente di due SMBH: Sgr A* nel centro della Via Lattea e M87 nel centro della galassia Virgo A (figura 1.13). In entrambi i casi le dimensioni corrispondono a quelle della sagoma prevista che si genera a causa del forte effetto di lente gravitazionale a cui sono sottoposti i fotoni circostanti (EHT, 2020b).



Figura 1.13: Immagine ottenuta dalla rielaborazione dei dati di EHT riguardanti il buco nero M87. L'ombra circolare centrale è conseguenza della relatività; la luce circostante è data dalla presenza di fotoni che subiscono l'effetto di lente gravitazionale dato dalla forte gravità del buco nero. L'orizzonte del eventi è 2.5 volte minore della dimensione dell'ombra (EHT, 2020b).

L'ombra generata da M87 ha dimensioni di circa $22 \mu\text{as}$, mentre Sgr A* $53 \mu\text{as}$. Come detto

precedentemente, EHT ha una risoluzione angolare di circa $25 \mu\text{as}$, che si ottiene grazie all'utilizzo dell'interferometria. Utilizzando telescopi distribuiti su tutti i continenti è stato possibile ricostruire una *baseline* comparabile alla dimensione della Terra.

Il potere risolutivo, alla lunghezza d'onda di 1.3 mm , diventa quindi $25 \mu\text{as}$.

Capitolo 2

Il game-based learning

2.1 Il gioco: definizioni e caratteristiche

Il ludico è da sempre una presenza ambigua nella società: viene incoraggiato ed apprezzato quando si è bambini, per poi diventare sottovalutato ed addirittura vietato con l'avanzare dell'età (Nesti, 2017).

Volendo dare una definizione alla parola *gioco* ci si imbatte in un fenomeno molto ampio che si è modificato nel tempo, evolvendo insieme alla società. Le definizioni abbondano e diventano sempre più complesse man mano che crescono gli studi in questo settore, rendendo sempre più difficile rintracciare un'idea condivisa da tutti. Di seguito si riportano alcune delle definizioni più significative descritte nello studio presentato da Romina Nesti nel suo libro “Game-based learning. Gioco e progettazione ludica in educazione”.

Secondo l'autrice, una prima definizione scientifica è stata fornita dal sociologo ed antropologo francese Roger Caillois. Egli ha definito le caratteristiche che un'azione deve possedere per essere considerata ludica: libera, separata, regolata, caratterizzata dall'entrare in una realtà fittizia, improduttiva e incerta (Caillois, 2001).

Libera significa sia che il gioco non deve essere subordinato ad altre attività, sia che non deve essere un'attività obbligatoria; “costringere” al gioco implica spesso la fine del gioco stesso (Nesti, 2017).

Separata indica che il gioco deve avere uno spazio e tempo ben circoscritti e definiti in partenza. L'importanza di questa caratteristica è stata sottolineata anche dallo storico olandese Johan Huizinga che per primo ha introdotto il concetto di “cerchio magico”, lo spazio di gioco che circonda l'attività ludica e del quale il giocatore è pienamente cosciente (Huizinga, 1949). Questo spazio non è completamente impermeabile alla realtà quotidiana, ma è sufficientemente distinto per permettere una sperimentazione libera da rischi e pericoli (Nesti, 2017).

Regolata da regole che non sono comuni a tutti i giochi, ma che costituiscono una legislazione a sé. Ciò non significa che ogni attività ludica debba essere governata da regole stringenti. Caillois infatti ha identificato le diverse modalità con cui uno stesso gioco può essere giocato, racchiuse tra due estremi: *paidia* (turbolenza, assenza di regole), rappresentata dalle corse sfrenate dei

bambini caratterizzate da pochissime o nessuna regola, o *ludus* (calcolo, padronanza di sé), che ha come esempio concreto il gioco degli scacchi con regole e obiettivi specifici e rigorosi.

Fittizia, ovvero accompagnata dalla consapevolezza di star vivendo una realtà diversa da quella quotidiana.

Improduttiva significa che il gioco deve “finire con una situazione che è identica a quella presente all’inizio del gioco” (Caillois, 2001). Questa caratteristica è richiamata anche dalla definizione data dal filosofo statunitense Bernard Suits: “giocare è il tentativo volontario di superare ostacoli inutili” (Suits, 1978). Questa affermazione riassume due concetti molto importanti del gioco: chi gioca lo fa per superare se stesso e per mettersi alla prova; inoltre nell’atto ludico si perde il principio dell’efficienza che invece domina la vita lavorativa (Nesti, 2017).

Incerta, ovvero il risultato del gioco non può essere previsto, così come il corso degli eventi. Questo permette di lasciare ampio spazio alle innovazioni introdotte dall’iniziativa del giocatore.

L’elemento che ritorna spesso è il concetto di consapevolezza e volontarietà; il giocatore entra volontariamente all’interno del cerchio magico che lo introduce in una realtà fittizia, ed è proprio la consapevolezza della sua esistenza che gli permette di sperimentare liberamente.

Se si vuole progettare un’attività ludica con scopo educativo, tutte queste caratteristiche vanno tenute a mente, perché sono quelle che rendono il gioco attraente. Il gioco nasce come *autotelico*, ovvero fine a se stesso, e inserirvi uno scopo didattico o educativo è un’azione che va fatta con attenzione, avendo cura di non alterare le sue proprietà fondamentali.

2.2 Il gioco come strumento didattico

Il gioco in contesti educativi è stato oggetto di studi fin dai tempi di Platone: egli stesso, nei suoi scritti, sottolinea l’importanza che ricopre nell’educazione dei bambini. Nei secoli successivi si sono susseguiti filosofi, antropologi e pedagogisti che ne hanno ribadito l’importanza.

La società stessa ha usato e continua a usare il gioco come mezzo per veicolare messaggi. Basti pensare come il linguaggio tipico di uno sport finisca per essere usato nella quotidianità o come importanti giocatori diventino figure di riferimento per molti.

In questa sezione si presentano le principali teorie pedagogiche che discutono l’importanza del gioco nell’apprendimento.

La ricerca scientifica ha sottolineato più volte come l’apprendimento non avvenga solo in luoghi intenzionalmente educativi come la scuola, ma anche in contesti informali. John Dewey, filosofo e pedagogista statunitense, ha individuato due tipi di educazione: quella formale e diretta che avviene a scuola, e quella informale, spesso accidentale, inconscia e inconsapevole, che si ha nel semplice vivere in mezzo ad altri individui e ad assorbirne pensieri, emozioni e ideali (Dewey, 1916). Secondo il filosofo, “l’educazione non è una questione di ‘raccontare’ e di essere raccontata, ma di un processo attivo e costruttivo”, in cui l’esperienza, il fare, riveste un ruolo importante. Il filosofo, inoltre, ha sottolineato l’importanza dell’errore: limitarlo, selezionando materiali che lo evitino, porta alla simulazione di una situazione molto diversa dalla vita quotidiana, che invece è costellata di prove e fallimenti che si susseguono; “è più importante mantenere vivo un atteggiamento creativo e costruttivo piuttosto che garantire una perfezione esterna impegnando l’azione dell’allievo in lavori troppo minuti e troppo strettamente regolati” (Dewey,

1916). L'importanza dell'errore in pedagogia è stata sottolineata, analizzata e studiata da diversi studiosi del XX secolo, tra cui Maria Montessori e Jerome Seymour Bruner. La prima, che per sottolinearne il valore positivo in chiave educativa arrivò a definirlo "Signor Errore" (Montessori, 1952) e il secondo rimarcando il concetto che l'errore è collegato alla necessità di risolvere problemi, e per questo ha un enorme valore formativo (Bruner, 1982).

Secondo questa visione, il gioco rappresenta un ottimo approccio educativo: nel cerchio magico, il giocatore è libero di sperimentare, sbagliare e quindi di apprendere.

Jean Piaget, psicologo svizzero, considerato uno dei padri della pedagogia moderna, ha fondato il costruttivismo, una teoria pedagogica secondo la quale l'individuo che apprende costruisce modelli mentali per comprendere il mondo intorno a lui. Egli ha suggerito che i bambini costruiscono attivamente la conoscenza tramite l'interazione quotidiana con le persone e gli oggetti del mondo (Piaget, 1972).

Lo studioso ha messo in correlazione lo sviluppo del gioco con quello del bambino e, da allora in poi, la ricerca scientifica ha dimostrato più volte come il gioco favorisca tutte le aree di sviluppo del soggetto, da quello cognitivo (Vygotskii, 1987) allo sviluppo delle competenze utili per trovare nuove soluzioni ai problemi (Bruner et al., 1981). L'azione ludica è vissuta come una situazione in cui il fallimento viene contemplato e accettato maggiormente che nella vita reale, permettendo l'acquisizione di nuove competenze, conoscenze e abilità.

Prendendo spunto dalla teoria del costruttivismo, Seymour Papert, informatico e pedagogista, ha ideato la teoria del costruzionismo, aggiungendo al lavoro di Piaget l'idea che l'apprendimento avvenga in modo più efficiente se il discente è coinvolto nella produzione di oggetti tangibili (reali o virtuali). Negli anni Papert ha fondato il gruppo di lavoro su epistemologia e apprendimento al *Media Laboratory* del *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) e ha collaborato con l'azienda LEGO® ideando dei kit robotici come *Mindstorm* che permettono ai bambini di imparare il linguaggio di programmazione tramite il gioco.

Il ricercatore Gary Stager, nella sua tesi di dottorato, ha riassunto le "otto grandi idee" del costruzionismo (Stager, 2006). Di seguito si riportano le più importanti in riferimento all'uso del gioco (e dell'errore) in contesti di apprendimento.

Imparare facendo: quando imparare fa parte di un'esperienza attiva ed interessante, impariamo meglio. Impariamo ancora meglio quando possiamo usare quello che abbiamo appreso per creare qualcosa che ci appassiona.

Gioco serio: impariamo e lavoriamo meglio quando quello che stiamo facendo ci piace. Questo non vuol dire che debba per forza essere facile. Il divertimento migliore è quello "duro" che ci mette in difficoltà, ci sfida e ci fa impegnare ancora di più.

Imparare ad imparare: non si impara solo facendosi istruire. Nessuno può insegnarci tutto quello che c'è da sapere nella vita, ognuno di noi è il timoniere della propria esperienza di apprendimento.

Sbagliando si impara: le cose importanti non funzionano mai al primo colpo. Solo sbagliando e riflettendo su cosa è accaduto si può andare avanti e migliorare. Per avere successo devi concederti la libertà di inciampare ogni tanto.

Mitchel Resnick, docente in *Learning Research* al *Media Lab* dell'MIT, dove dirige il gruppo di ricerca *Lifelong Kindergarten*, e titolare della cattedra LEGO®, è stato collaboratore di Papert e

ideatore di Scratch¹, un ambiente di programmazione che utilizza un linguaggio grafico e intuitivo per insegnare a bambini e bambine il *coding*. Nel suo libro “Come i bambini: immagina, crea, gioca e condividi” introduce il concetto di gioco (*play*, una delle quattro “p” del suo testo) sottolineando la grande ambiguità che lo caratterizza:

A volte dico che il gioco (*play*) è la più fraintesa delle quattro P dell'apprendimento creativo. Spesso si associa il gioco alle risate e al divertimento. Il perché è facilmente comprensibile: spesso giocare implica tutte queste cose. Ma questa descrizione trascura l'aspetto più importante del gioco e il motivo per cui esso è tanto essenziale per essere creativi. La creatività non nasce dalle risate e dal divertimento: nasce dalla sperimentazione, dall'accettazione dei rischi e dalla messa alla prova dei limiti. (Resnick, 2017)

Sempre riguardo al gioco, Resnick cita la differenza che già Dewey aveva evidenziato tra *playfulness* (giocosità) e *play* (gioco):

La giocosità è più importante del gioco. La prima è un atteggiamento mentale; il secondo è invece una manifestazione esteriore momentanea di questo atteggiamento. (Dewey, 1910)

E, riguardo all'importanza del pensiero creativo per affrontare le sfide della vita moderna, il ricercatore (citando l'autore Cathy Davidson) afferma che:

circa i due terzi dei bambini che oggi frequentano la scuola primaria andranno a fare lavori che ancora non sono stati inventati. Perché le persone possano realizzarsi e vivere al meglio in questo panorama in rapido cambiamento, la capacità di pensare e agire in modo creativo è più importante che mai. (...) Nel corso della loro vita, i giovani di oggi si troveranno di fronte a situazioni nuove e inaspettate. Devono perciò imparare a gestire creativamente l'incertezza e il cambiamento, non soltanto nella vita lavorativa ma anche in quella personale (come sviluppare e mantenere amicizie in un'epoca in cui le reti sociali sono in continuo mutamento) e in quella civile (come partecipare in maniera significativa a comunità con bisogni e confini in costante cambiamento). (Resnick, 2017)

Basandosi sul principio del *lifelong kindergarten*, ovvero sul fatto che tutta la scuola (e la vita in generale) dovrebbe essere simile alla scuola dell'infanzia, Resnick descrive i passaggi della “spirale dell'apprendimento”, rappresentata in figura 2.1, attraverso la quale i bambini sviluppano e perfezionano le loro capacità di pensare creativamente: immaginare, creare (per tradurre le idee in azioni), giocare (ovvero sperimentare), condividere, riflettere per migliorare.

Accanto a queste teorie sono nati negli anni diversi studi che hanno come oggetto il gioco stesso, le sue dinamiche, i suoi principi e anche il suo ruolo nella vita delle persone.

Negli ultimi vent'anni queste ricerche sono state raccolte sotto il nome di *game studies*, un campo di ricerca multidisciplinare che pone il gioco al centro del suo operato. Lo sviluppo che ha avuto questa disciplina è dovuto principalmente alla recente diffusione del videogioco, che ha cambiato

¹scratch.mit.edu

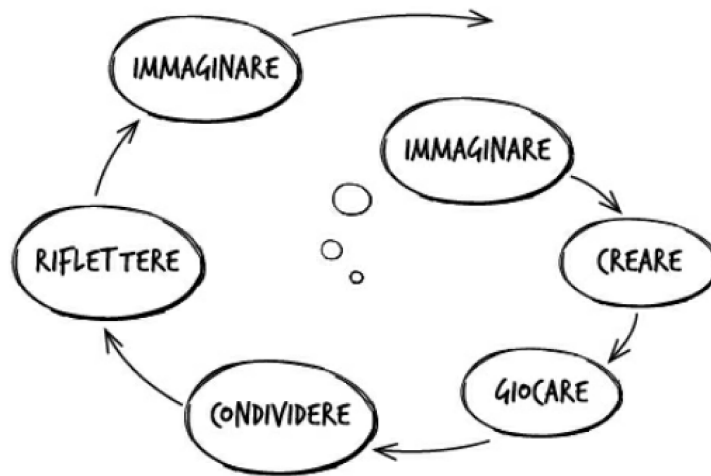


Figura 2.1: La spirale dell'apprendimento creativo (Resnick, 2017).

radicalmente la presenza del gioco nella società e il modo di giocare (Nesti, 2017).

Più recenti sono gli studi che mettono il gioco al centro dell'azione educativa, interessando diverse discipline e diversi ambiti di conoscenza: il *game-based learning*, che include anche le pratiche di *gamification* i cui principi e studi di riferimento sono descritti nelle sezioni seguenti.

2.3 Caratteristiche e pedagogia del game-based learning

Il *game-based learning* è una disciplina che studia le risorse che il ludico può offrire come strumento per l'apprendimento (Nesti, 2017).

Essa fa riferimento a un ambiente “dove le attività di gioco comportano spazi per il *problem solving* e sfide che forniscono ai giocatori/studenti un senso di realizzazione” (Qian e Clark, 2016).

La principale differenza tra il gioco in qualche modo finalizzato all'apprendimento e il gioco comunemente inteso è che quest'ultimo è *autotelico*, ovvero fine a sé stesso. Nel primo, invece, si prevedono già in fase di programmazione degli scopi ben precisi, finalizzati all'acquisizione di nuove conoscenze. Questa caratteristica rappresenta uno snodo fondamentale per l'efficacia del *game-based learning*: è compito dell'insegnante/formatore far sì che il gioco mantenga tutte le caratteristiche (descritte nella sezione 2.1) che lo rendono appetibile per i giocatori senza venir meno al suo scopo didattico.

Secondo il pedagogista Aldo Visalberghi, il principale vantaggio del gioco in educazione è quello di favorire il passaggio dal ludico al ludiforme, ovvero da attività spontanee ad attività più complesse e impegnative, con scopi ulteriori (Visalberghi, 1958). Si può dunque affermare che

il *game-based learning* è “il raggiungimento massimo del mondo del ludiforme, manipolando scientificamente il gioco per farlo diventare una vera e propria metodologia” (Nesti, 2017).

Gli autori Perrotta, Featherstone, Aston, e Houghton hanno schematizzato i principi e i meccanismi che regolano il *game-based learning* (figura 2.2).

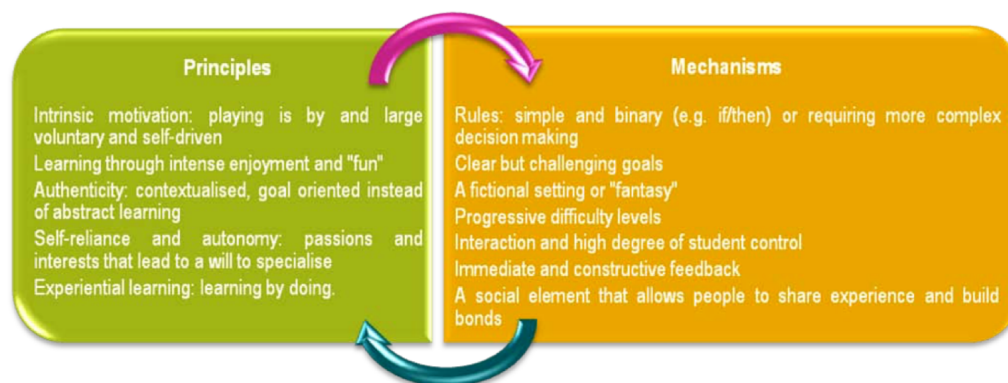


Figura 2.2: Schema riassuntivo dei principi che regolano la progettazione e la ricerca del *game-based learning* (Perrotta et al., 2013.)

Tradotti, essi sono:

- **motivazione intrinseca: il gioco è generalmente volontario e autonomo.** Questo principio richiama le definizioni date da Caillois e Suits. Il gioco funziona proprio perché lo si sceglie liberamente e non si è costretti;
- **imparare attraverso un intenso divertimento e “svago”.** Grazie ad essi il soggetto percepisce in maniera diversa gli sforzi e la difficoltà dei compiti che sta affrontando, diventando più incline all’apprendimento;
- **autenticità: contestualizzazione, apprendimento orientato agli obiettivi anziché astratto.** Con tale terminologia gli autori si riferiscono al contesto di gioco che non è mai astratto, al contrario dell’ambiente didattico;
- **fiducia in se stessi e autonomia: passioni e interessi che portano alla volontà di specializzarsi.** Grazie alla “sospensione del rischio” che si vive all’interno del gioco, il soggetto è più propenso ad uscire dalla sua zona di comfort, aumentando la propria autostima;
- **apprendimento esperienziale: imparare facendo.** Riprende un concetto già introdotto da Dewey e ribadito da Papert nella sua teoria del costruzionismo, ovvero che l’apprendimento viene facilitato se il discente ne fa un’esperienza diretta.

In relazione ai principi vengono elencati dei meccanismi che ne garantiscono la realizzazione se applicati: presenza di regole più o meno complesse, obiettivi chiari ma attraenti, ambientazione immaginaria o “fantastica”, livelli di difficoltà progressivi, interazione e alto grado di controllo

degli studenti, *feedback* immediato e costruttivo, presenza di un elemento sociale che consente alle persone di condividere esperienze e costruire legami.

Principio cardine di tutto il processo è la motivazione che il soggetto percepisce nell'attività ludica. Affinché questa sia indirizzata all'apprendimento è necessario che sia intrinseca, ovvero che sia il discente stesso a voler giocare, e quindi apprendere.

Tale concetto è descritto dalla *self determination theory* (teoria dell'autodeterminazione) degli psicologi Edward L. Deci e Richard M. Ryan (Deci e Ryan, 2012), che afferma che “il soggetto ha bisogno di soddisfare tre bisogni principali, di competenza, di autonomia e di relazione, ed è più intrinsecamente motivato quando nell'azione si sente libero di agire (autonomo), capace (possiede le competenze) e sorretto da relazioni e legami sociali positivi” (Nesti, 2017).

Quando la motivazione è di tipo intrinseco, il soggetto raggiunge uno stato di coinvolgimento e concentrazione (che viene definito stato di *flow*) che gli fa percepire gli ostacoli come superabili. L'autore che per primo l'ha descritto lo definisce come “uno stato soggettivo che le persone riportano quando sono completamente coinvolte in qualcosa al punto da dimenticare il tempo, la fatica e tutto il resto tranne l'attività stessa” (Csikszentmihalyi et al., 2014). Ma affinché questo stato venga raggiunto deve esserci un equilibrio tra le sfide e le capacità percepite. Se viene meno, si instaura uno stato di ansia e frustrazione che vanifica l'utilizzo del gioco. L'esemplificazione grafica di questo concetto è riportata in figura 2.3.

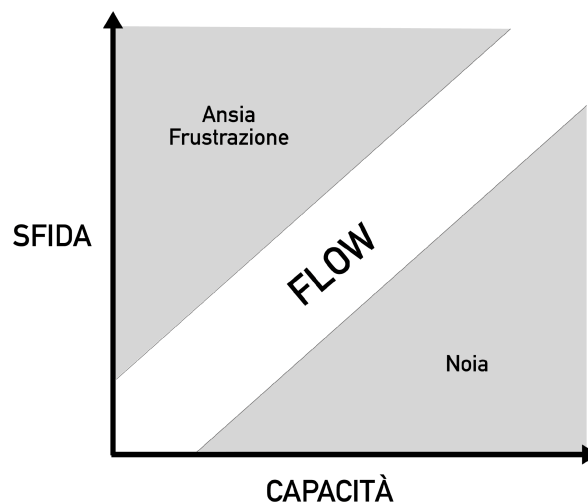


Figura 2.3: Come varia lo stato emotivo del giocatore al variare delle opportunità d'azione (sfide) e delle capacità. Se le capacità sono superiori alle sfide si va incontro alla noia, viceversa si va incontro a uno stato di ansia e/o frustrazione (Csikszentmihalyi et al., 2014).

Si può senza dubbio affermare che il gioco rappresenta un ottimo strumento per far raggiungere al soggetto lo stato di *flow* e permettergli quindi un'acquisizione facilitata di competenze, abilità e conoscenze.

Nell'ambito del *game-based learning* non si trovano solo i giochi "tradizionali", ma anche tutte le declinazioni virtuali e digitali che vanno sotto il nome di *digital game-based learning* e che rappresentano una delle sue massime espressioni. Un esempio è l'utilizzo del *coding* nelle scuole.²

Il punto di forza dei *digital game*, che li rende applicabili nel campo dell'apprendimento, è il modo in cui l'informazione viene fornita, ovvero *on demand* (su richiesta) e *just in time* (giusto in tempo): il giocatore riceve le informazioni o quando ne ha bisogno "o proprio nel punto esatto in cui l'informazione può essere meglio compresa e usata nella pratica" (Gee, 2013). Di questo aspetto è necessario tener conto nella progettazione di giochi in ambito educativo, anche non digitali.

2.4 Gamification: vantaggi e svantaggi

La *gamification* è l'utilizzo di elementi di gioco e tecniche di *game design* in contesti non di gioco (Deterding et al., 2011). Essa è nata nel mondo del marketing e viene distinta in tre categorie. La *gamification* interna viene usata per aumentare la produttività all'interno dell'azienda, accelerare l'innovazione, migliorare il senso di appartenenza ed in generale ottenere buoni risultati grazie ai propri dipendenti; quella esterna coinvolge i clienti o i potenziali clienti; la terza categoria è la *gamification* per il cambiamento sociale, che mira a sviluppare e consolidare abitudini positive nella popolazione.

La *gamification* si distingue dal *game-based learning* per diversi aspetti. Innanzitutto la prima applica il gioco a contesti non ludici, mentre la seconda inserisce scopi didattici a un ambiente già di per sé ludico. Difatti "fare *gamification* non significa preparare o predisporre un gioco, ma significa conoscere bene il gioco nella sua struttura e utilizzare strumenti ludici con scopi esterni al gioco e in luoghi ludicamente atipici" (Nesti, 2017).

Inoltre "l'obiettivo primario della *gamification*, almeno alle sue origini, è quello di condizionare, modificare e incoraggiare determinati comportamenti. Le forme più semplici di *gamification* utilizzano le strutture ludiche legate al vincere o perdere, ai punteggi, ai premi etc. Sono quindi basate sul comportamento e sui suoi sistemi di rinforzo (sia positivo sia negativo)" (Nesti, 2017). Un'altra differenza tra *game-based learning* e *gamification* risiede quindi nella motivazione: il primo tende a mantenere la motivazione intrinseca al gioco, mentre la seconda pone la motivazione all'esterno dell'attività.

Una metodologia come la *gamification* risulta inefficiente se applicata per lungo tempo alla didattica. Infatti, come sostiene l'autore Daniel Pink, "le gratificazioni possono dare uno sprono di breve durata, come la scossa della caffeina può tenerti in moto ancora qualche ora. Ma l'effetto svanisce e - quel che è peggio - può ridurre la motivazione più a lungo termine di una persona a proseguire un progetto" (Pink, 2009).

Resnick, nel suo libro "Lifelong kindergarten" ne discute, portando all'attenzione del lettore alcuni esperimenti condotti dallo psicologo Edward L. Deci. In uno di questi veniva chiesto ad alcuni studenti universitari di risolvere degli indovinelli e i partecipanti erano divisi in due gruppi: i componenti di uno dei due gruppi erano pagati per ogni indovinello che riuscivano

²Per ulteriori dettagli si veda la sezione 3.2.5.

a risolvere, mentre quelli dell'altro no. Abbastanza prevedibilmente, gli studenti del gruppo retribuito trascorsero più tempo a lavorare sugli indovinelli rispetto agli studenti del gruppo non retribuito.

Il giorno successivo venne ripetuto l'esperimento con gli stessi studenti, ma senza pagamento per nessuno dei due gruppi. Gli studenti che all'inizio erano stati pagati trascorsero meno tempo a lavorare sugli indovinelli rispetto agli studenti dell'altro gruppo. In altre parole, gli studenti che il primo giorno erano stati pagati avevano perso motivazione al gioco più di quelli che non erano mai stati pagati.

Altri esperimenti simili, anche con partecipanti di diverse età, hanno mostrato come nel caso sia previsto un premio o un qualsiasi riconoscimento per lo svolgimento di un'attività, la motivazione all'attività svanisce più velocemente, soprattutto nel caso di attività creative, non puramente meccaniche, in cui sono richieste diverse competenze individuali.

In questi casi risultano più efficaci le tecniche di *game-based learning* che si propongono di integrare gioco e scopo educativo, cercando di mantenere le caratteristiche proprie e intrinseche del gioco descritte nella sezione 2.1 di questo capitolo.

Secondo Nesti "l'obiettivo principale è quello di sviluppare forme di *meaningful game-based learning*, processi quindi che si inseriscono nella quotidianità didattica e promuovano la motivazione (intrinseca), il coinvolgimento e la partecipazione dei soggetti. L'utopia è che anche nelle situazioni di apprendimento si possa raggiungere lo stato di *flow*" (Nesti, 2017). La significatività (*meaningfulness*) del gioco però può risiedere nella relazione tra azioni compiute dal giocatore e risultati, che devono essere osservabili, ma allo stesso tempo ben integrati nel processo di gioco.

Capitolo 3

Analisi di attività ludiche

3.1 Scheda ludica

Come detto precedentemente, nella fase di progettazione ludica di un'attività di tipo *game-based learning* è importante tener conto di tutte le caratteristiche, introdotte nel capitolo 2, che garantiscono l'efficacia didattica del gioco.

In questo capitolo si intende dunque introdurre una scheda di analisi, basandosi su quelle presenti in letteratura, che permetta di valutare e descrivere i laboratori didattici che sfruttano questa disciplina, in modo da evidenziarne i punti di forza e di debolezza in vista di future modifiche. La scheda verrà poi applicata a diverse attività sviluppate in ambito INAF e, nel capitolo 4, al laboratorio “Viva la risoluzione!”.

La ricercatrice Nesti, nel suo libro sul *game-based learning*, dedica il capitolo finale alle riflessioni sulla progettazione ludica ed integra il lavoro di diversi studiosi con l'esperienza dei *game designer* ottenendo la “scheda ludica per l'analisi dei giochi” riportata nella sezione A.1 dell'appendice. Il modello di analisi è suddiviso in quattro dimensioni principali: le *meccaniche*, ovvero l'insieme delle possibili azioni indicate dal regolamento e che quindi includono le regole, gli strumenti, gli spazi, i tempi e gli oggetti necessari per il gioco; le *estetiche*, ovvero le emozioni e le sensazioni che il giocatore proverà nel giocare o che si vuole far provare al giocatore; le *dinamiche*, che comprendono le azioni, le motivazioni, le relazioni e le inter-relazioni che un gioco prevede; ed infine la *storia*, che comprende la narrazione e gli obiettivi di apprendimento e formazione (Nesti, 2017).

Andrea Ligabue, consulente ludico ed esperto di giochi da tavolo, ha raccolto nel suo libro “Didattica ludica. Competenze in gioco” le caratteristiche “che come insegnanti ed educatori dobbiamo conoscere ed esaminare per valutare efficacia e utilità di uno specifico gioco da tavolo in un contesto didattico ed educativo” (Ligabue, 2020), riportate nella sezione A.2 dell'appendice.

Con lo scopo di ottenere una scheda per l'analisi delle attività ludiche, si uniscono questi parametri e quelli discussi nella sezione 2.3 per ottenere la seguente scheda.

Meccaniche	
Scopo del gioco ^{1,2}	Lo scopo del gioco determina in parte anche la tipologia ludica di appartenenza e la tipologia di relazioni che sarà possibile osservare (Nesti, 2017). Gli obiettivi devono essere il più possibile chiari e attraenti (Perrotta et al., 2013).
Regole ^{1,2,3}	Esse possono essere semplici e binarie o richiedere processi decisionali più complessi (Perrotta et al., 2013).
Nr. giocatori ^{1,3}	Elemento importante per poter decidere se in un dato momento e in un determinato contesto è possibile giocare (o far giocare) quel gioco (Nesti, 2017)
Età consigliata ^{1,3}	Elemento che determina se un gioco è adatto per il “contesto” (Nesti, 2017).
Spazio ^{1,3}	Fisico: le dimensioni spaziali necessarie per giocare e tipologie di luogo (aperto/chiuso); digitale: luogo virtuale dove avviene l'azione (Nesti, 2017).
Durata ^{1,3}	Sapere quanto dura un gioco permette di inserirlo nei momenti più adeguati rispetto agli obiettivi (Nesti, 2017). Inoltre bisogna tener conto dei tempi di allestimento e disallestimento (Ligabue, 2020).
Punteggi ¹	Descrivere le modalità, se sono presenti, di acquisizione dei punteggi che conducono alla vittoria (Nesti, 2017).
Materiali ^{1,3}	Nell'ambiente fisico significa conoscere gli oggetti necessari per giocare a un determinato gioco. Gli oggetti nel <i>digital game</i> sono gli strumenti tecnologici necessari per giocare (Nesti, 2017).
Ruoli ¹	Quanti e quali ruoli sono presenti nel gioco. Quali identità il soggetto deve impersonare (Nesti, 2017).
Fortuna e casualità ³	La presenza di elementi casuali e anche l'impatto della fortuna non sono necessariamente un elemento negativo in un gioco. Una certa dose di casualità, la presenza di eventi che sorprendono e stupiscono i giocatori, il poter giustificare una vittoria o una sconfitta riconducendo il risultato finale di una partita alla fortuna/sfortuna sono, specialmente per i più piccoli, un elemento importante del giocare (Ligabue, 2020).
Dinamiche	
Relazioni ^{1,3}	Quale tipologia di interazione e di gioco è richiesta: collaborativa, cooperativa, ambivalente, distruttiva (Nesti, 2017).
Profilo dei giocatori ³	Questo parametro descrive il grado di abitudine al gioco richiesta ai partecipanti (Ligabue, 2020).

Estetiche	
Emozioni e motivazioni ^{1,4}	Quali emozioni il gioco può suscitare e quale motivazione esprimono i giocatori giocando (Nesti, 2017). I due concetti sono fortemente legati, perché se la motivazione è intrinseca si instaura uno stato di <i>flow</i> , ovvero uno stato di coinvolgimento e concentrazione che fa percepire gli ostacoli come superabili. Ma questo si raggiunge solo grazie ad “un equilibrio tra le sfide e le capacità percepite” (Csikszentmihalyi et al., 2014): se le capacità sono maggiori delle sfide, i giocatori percepiscono maggiormente uno stato di noia, viceversa provano frustrazione.
Storia	
Ambientazione e tema ^{2,3,5}	Affinché l'attività sia considerata ludica l'ambientazione deve essere immaginaria o “fantastica” (Perrotta et al., 2013). Se non è presente nessun tema specifico si parla di gioco astratto. Il tema e l'ambientazione possono fornire spunti di discussione, stimolare la curiosità dei giocatori o essere veicolo di reali conoscenze tematiche (Ligabue, 2020). Gli elementi narrativi sono inoltre utili a creare connessioni con la vita reale (Nicholson, 2014).
Competenze (obiettivi educativi) ^{1,3}	Vengono distinte in tre campi (Ligabue, 2020). Competenze etiche (ad esempio il rispetto per gli altri e per le regole, imparare ad affrontare la vittoria e la sconfitta, l'educazione tra pari dei giocatori, sviluppo di autonomia decisionale, gestione di sé in gioco e delle relazioni), sociali e relazionali e cognitive (ad esempio la memoria di lavoro, il controllo dell'inibizione, la flessibilità cognitiva, il <i>problem solving</i> , la creatività, la metacognizione).
Conoscenze (obiettivi disciplinari) ^{1,3}	Conoscenze che dovrebbero essere acquisite, nel caso in cui il gioco sia finalizzato all'apprendimento di un determinato concetto.
Funzione ¹	Descrive quale funzione ha il gioco. Esso può essere uno strumento per veicolare una conoscenza (in questo caso le meccaniche hanno il solo scopo di rendere attraente l'attività), un modello in cui le meccaniche di gioco permettono l'acquisizione del concetto che si vuole far apprendere (come nel laboratorio “Viva la risoluzione!”), o un soggetto di ludoliteracy in cui l'attività viene utilizzata con lo scopo di far prendere dimestichezza con le meccaniche del gioco e senza un obiettivo disciplinare.

Tabella 3.1: Scheda per l'analisi di attività ludiche. I numeri in apice corrispondono all'autore che ne ha trattato. ¹ (Nesti, 2017); ² (Perrotta et al., 2013); ³ (Ligabue, 2020); ⁴ (Csikszentmihalyi et al., 2014); ⁵ (Nicholson, 2014).

3.2 Il game-based learning all'INAF

Dopo aver introdotto la scheda per l'analisi di attività ludiche con scopo didattico, si riportano le schede valutative di alcune attività e laboratori sviluppati da ricercatori e ricercatrici dell'INAF.

3.2.1 Giochi da tavolo: il gioco dell'oca

La categoria più vasta di giochi è sicuramente quella dei giochi da tavolo, o *boardgame* in inglese. Il sito Boardgamegeek¹, "la più ampia e comprensiva banca dati al mondo che descrive e cataloga migliaia di giochi da tavolo ed espansioni" (Ligabue, 2020), descrive i tre criteri fondamentali che caratterizzano un gioco da tavolo: deve essere presente un elemento competitivo o cooperativo (il che presuppone la presenza di regole), deve essere giocabile su un tavolo o in una stanza e per giocare sono necessari componenti di qualche tipo (come tabelloni, pedine, dadi e carte).

Un tipico gioco da tavolo è il gioco dell'oca. L'INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri, ne ha ideato una versione astronomica, "Il gioco dell'oca spaziale". Esso consiste in una "gio-conferenza" che ripercorre i grandi progressi dell'uomo nell'esplorazione del Sistema Solare e dello spazio, dai primi voli in orbita ai satelliti del futuro, per svelare i grandi misteri dell'Universo.

Della stessa tipologia è il gioco "Razzi e Comete", ideato dall'INAF - Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica Cosmica di Palermo. In questo caso i giocatori sono le pedine stesse e muovendosi lungo il percorso collezionano timbri sul loro passaporto, che contiene brevi informazioni sulle caselle visitate. Gli obiettivi possono essere diversi a seconda del contesto: vince chi arriva prima al traguardo o chi colleziona più timbri sul passaporto.

Di seguito si riporta la scheda valutativa che riassume entrambi i giochi.

Il gioco dell'oca spaziale ⁽¹⁾ - Razzi e Comete ⁽²⁾	
Meccaniche	
Scopo del gioco	Finire il percorso nel minor tempo possibile (1) o collezionare più timbri possibili sul passaporto (2).
Regole	Sono le stesse del gioco dell'oca: per andare avanti si lancia un dado e si procede del numero di caselle dato dal risultato. (1) In ogni casella succede qualcosa: esperimento, quiz, lettura di un libro, osservazione del cielo o video; alcune caselle speciali fanno saltare avanti, altre tornare indietro.
Nr. giocatori	Non vi è un limite nel numero dei giocatori; se sono tanti vengono divisi in più squadre.
Età consigliata	7-12 (scuola primaria).
Spazio	(1) Possibilmente all'aperto per poter osservare il cielo.

¹boardgamegeek.com

	(2) Sia aperto che chiuso, ma abbastanza grande da contenere il tabellone (di dimensione 4 m × 4 m).
Durata	Un'ora circa.
Punteggi	Come nel gioco dell'oca tradizionale, non vi è un sistema di punteggi, vince chi arriva prima al traguardo.
Materiali	(1) Tabellone, un dado, pedine e il materiale per i vari esperimenti. (2) Tabellone e passaporti per ogni partecipante.
Ruoli	Non vi è la presenza di ruoli da impersonificare.
Fortuna e casualità	Il gioco è totalmente dominato dalla fortuna.
Dinamiche	
Relazioni	Tra i giocatori si può instaurare una relazione di competizione per raggiungere prima il traguardo, ma ciò viene smorzato dal fatto che lo scopo ultimo dell'attività è l'acquisizione di un concetto.
Profilo dei giocatori	Non sono necessarie competenze o conoscenze preliminari. Al gioco partecipano più facilmente bambini sotto i 12 anni, perché oltre quest'età la completa dominanza della fortuna nel determinare il risultato diventa demotivante.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	Nonostante il gioco non abbia una finalità esclusivamente ludica, i partecipanti hanno sempre dato un <i>feedback</i> positivo. A interessare non è tanto l'idea della gara, ma la voglia di partecipare e la curiosità di vedere cosa succede nelle caselle.
Storia	
Ambientazione e tema	Il percorso rappresenta la storia dell'esplorazione spaziale (1) o degli oggetti del Sistema Solare (1,2).
Competenze (obiettivi educativi)	L'attività è stata ideata per dare a una conferenza un aspetto più coinvolgente, per cui non è prevista l'acquisizione di competenze.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	(1) Scoprire la storia dell'esplorazione spaziale con una lezione meno frontale e più interattiva e imparare nozioni di base sul Sistema Solare (2).
Funzione	Il gioco, in entrambi i casi, è uno strumento, perché il suo obiettivo è veicolare una conoscenza e le meccaniche hanno il solo scopo di rendere accattivante il processo.

3.2.2 Giochi di ruolo: la caccia al tesoro

Uno strumento molto valido per la didattica che si basa sul *game-based learning* è l'impiego di giochi di ruolo, che costituiscono una tipologia particolare di giochi da tavolo.

Un gioco di ruolo è, per definizione, un gioco in cui i giocatori inventano una storia collettiva immedesimandosi nei protagonisti sotto la guida di un narratore (Angiolino e Sidoti, 2010). In essi il narratore, detto *master*, inventa una storia a cui partecipano i giocatori. Le decisioni di quest'ultimi, insieme alla presenza di elementi casuali, intervengono sulla storia che si sviluppa di conseguenza (Ligabue, 2020).

Ma “quando i giochi di ruolo hanno una forte componente di teatralità e improvvisazione - e soprattutto quando gli elementi materiali (dadi, mappe) vengono abbandonati e i giocatori interpretano in prima persona i loro personaggi - parliamo di giochi di ruolo dal vivo o, usando l'acronimo inglese, LARP (*Living Action Role Play*)” (Ligabue, 2020).

In ambito educativo i LARP (definiti EduLARP) sono molto validi, perché permettono di unire alcuni dei metodi educativi più efficaci: una narrazione, che permette sia un apprendimento basato sull'investigazione (*inquiry-based learning*) che un approccio pratico, e l'assegnazione di un ruolo ai partecipanti che, immedesimandosi con i personaggi della storia, mettono in campo le loro competenze, conoscenze, immaginazione e il proprio corpo in un ambiente ludico che garantisce il divertimento (Sandrelli et al., 2018).

“Il Signore degli Anelli - il misterioso caso degli anelli rubati” è un analogo degli EduLARP², nel formato di caccia al tesoro, sviluppato dall'INAF - Osservatorio Astronomico di Brera. L'obiettivo è introdurre i partecipanti ad alcuni dei principali argomenti riguardanti il Sistema Solare, come il ruolo della gravità, la distribuzione della massa e della luce, gli effetti della rotazione e la distribuzione dell'acqua (Sandrelli et al., 2018).

I partecipanti rivestono il ruolo di investigatori alla ricerca degli anelli di Saturno rubati; per risolvere il caso devono interagire, in uno spazio pubblico, con la gente comune e i facilitatori, guidati dal personaggio di Martina Tremenda (*master* del gioco), una ragazzina di 12 anni che rappresenta la curiosità e la fame di conoscenza.

Di seguito si riporta la scheda tecnica dell'attività.

Il Signore degli Anelli - il misterioso caso degli anelli rubati	
Meccaniche	
Scopo del gioco	Ritrovare gli anelli rubati di Saturno navigando all'interno del Sistema Solare, ridimensionato in modo da adattarsi all'area di gioco.
Regole	I bambini devono interagire con le persone presenti nell'area di gioco per risolvere il caso. Alcune sono persone comuni, altre facilitatori che possono dare informazioni. Quest'ultimi si trovano alle distanze correttamente scalate e interpretano i vari pianeti.

²Il gioco non è propriamente un EduLARP, in quanto il ruolo che può rivestire il giocatore è uno solo, vincolato dal contesto.

	Con il progredire del gioco i bambini scoprono che gli anelli sono andati distrutti nel furto, ma possono essere ricreati usando gli ingredienti giusti. Questi possono essere ottenuti dai pianeti: ognuno ne ha in quantità proporzionale alle reali proprietà fisiche dell'oggetto celeste. Dopo aver raccolto gli ingredienti, devono dare la loro migliore ricetta, che può dare anelli troppo sottili o troppo luminosi o a rotazione rapida e così via. La squadra vincente è quella che prepara la miglior ricetta per ricostruire gli anelli nel minor tempo possibile.
Nr. giocatori	Da 2 a 8 gruppi di 3-5 giocatori ognuno.
Età consigliata	6-13 (scuola primaria e secondaria di primo grado).
Spazio	Abbastanza grande da contenere il Sistema Solare in scala e da consentire di correre da una parte all'altra senza sforzo, rendendosi conto delle distanze. Una dimensione appropriata è 1 km × 0.5 km. Bisogna prestare molta attenzione nella scelta di un'area sicura senza auto, come ad esempio un'area pedonale, meglio se affollata di persone che non fanno parte della "sceneggiatura" del gioco.
Durata	Dalle 2 alle 3 ore.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.
Materiali	Oggetti semplici (come mele e trottole) che rappresentano gli ingredienti per ricostruire gli anelli, che sono gravità, luce, rotazione, inclinazione, polvere e acqua.
Ruoli	I partecipanti impersonano detective alla ricerca degli anelli rubati.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.
Dinamiche	
Relazioni	Durante il gioco si instaurano relazioni cooperative e collaborative all'interno dei gruppi, per risolvere il caso nel minor tempo possibile.
Profilo dei giocatori	Non sono necessarie competenze o conoscenze preliminari.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	La motivazione che spinge a giocare è puramente ludica, quindi intrinseca, garantendo lo stato di <i>flow</i> .
Storia	
Ambientazione e tema	Ieri sera, gli anelli di Saturno sono stati rubati da un misterioso centauro. Schioppanelli, l'astro-detective della città, è ora in pensione e gestisce una nota pizzeria, la "Gigante Rossa", e quindi non può aiutare nelle indagini. I giocatori vengono chiamati a sostituirlo, sotto la guida di Martina Tremenda.

	Non appena si scopre che gli anelli di Saturno sono andati distrutti nel furto, Martina suggerisce che gli anelli possano essere ricostruiti, se si riescono a trovare e raccogliere gli ingredienti giusti. Una volta raccolti, devono essere portati alla "Gigante Rossa" e consegnati al signor Schioppanelli, insieme alla ricetta proposta per cucinarli.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze sociali e relazionali: interagire con le persone per ottenere informazioni. Competenze cognitive: pianificare e realizzare un'indagine, costruire una spiegazione, discutere a partire da evidenze e prove.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Ottenere una visione generale delle distanze nel Sistema Solare. Capire che, nel Sistema Solare: la gravità cambia da un pianeta all'altro; la luminosità cambia con la distanza del pianeta dal Sole; l'acqua è una sostanza abbastanza comune; la rotazione è importante per preservare gli anelli.
Funzione	Il gioco è un modello e anche uno strumento: un modello perché le meccaniche del gioco permettono l'acquisizione delle competenze e delle conoscenze, ma anche uno strumento perché alcuni obiettivi disciplinari vengono raggiunti al di fuori delle meccaniche.

Un altro esempio di caccia al tesoro a tema astronomico è l'attività sviluppata dall'INAF - Osservatorio Astronomico di Padova.

Anche in questo caso vi è un'ambientazione e una personificazione dei partecipanti, seppur meno accentuata del caso precedente.

I giocatori vengono divisi in squadre, ognuna delle quali rappresenta una missione, spaziale o non, che si occupa dello studio di esopianeti e impersonificano degli astronomi alla ricerca di questi mondi sconosciuti. Il tesoro da cercare, nel minor tempo possibile, è il pianeta Giove, rapito e nascosto da qualche essere malvagio. Per ottenere gli indizi devono superare delle prove a tema astronomico, come mettere in ordine i pianeti del Sistema Solare o simulare la nascita di un pianeta.

Il ruolo di *master* è rivestito dai moderatori che seguono la squadra: i partecipanti sono spronati a risolvere in autonomia le varie prove mettendo in gioco le loro conoscenze e a decifrare gli indizi per poter proseguire nella ricerca.

Di seguito si riporta la scheda valutativa.

Caccia al tesoro astronomica	
Meccaniche	
Scopo del gioco	Trovare il pianeta scomparso.

Regole	All'inizio del gioco ad ogni squadra viene fornito un indizio che devono decifrare per raggiungere la prima prova. Una volta superata ricevono il secondo indizio che li porta alla seconda prova e via così fino a trovare il tesoro, il pianeta scomparso. Le prove che devono superare sono in ordine diverso per ogni squadra e sono in tutto cinque: mettere in ordine di distanza dal Sole i pianeti del Sistema Solare, risolvere un esercizio sui tipi di onde elettromagnetiche, simulare la formazione di un pianeta, risolvere un cruciverba astronomico ed infine la prova finale uguale per tutti, ovvero risolvere un indovinello che varia a seconda del contesto in cui si svolge l'attività.
Nr. giocatori	I giocatori vengono divisi in quattro squadre, ognuna delle quali rappresenta una missione o uno strumento che si occupa della ricerca di esopianeti.
Età consigliata	10-13 (ultimo triennio della scuola primaria).
Spazio	Aperto o chiuso, ma abbastanza ampio da distribuire le cinque prove lontane tra loro.
Durata	Dalla mezz'ora all'ora.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.
Materiali	Buste contenenti gli indizi e materiale necessario per ogni prova.
Ruoli	I partecipanti vengono incoraggiati a impersonificare degli astronomi alla ricerca del pianeta scomparso.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.
Dinamiche	
Relazioni	Come ogni caccia al tesoro, si instaurano relazioni collaborative e cooperative all'interno delle squadre per trovare il tesoro nel minor tempo possibile.
Profilo dei giocatori	Per risolvere le prove sono necessarie competenze di base di astronomia, che si imparano alla scuola primaria. In ogni caso i giocatori possono chiedere consiglio in ogni momento al facilitatore che li accompagna.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	La motivazione è puramente ludica, infatti l'unico scopo del gioco è trovare il pianeta nel minor tempo possibile. In questo modo si garantisce lo stato di <i>flow</i> .

Storia	
Ambientazione e tema	Il pianeta Giove è stato rubato! Ai partecipanti viene richiesto di assumere il ruolo di astronomi e di trovare il maltolto.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: educazione tra pari dei giocatori (se le squadre sono costituite da membri con età diverse, si possono aiutare tra loro per risolvere le prove), sviluppo di autonomia decisionale, gestione di sé in gioco e delle relazioni. Competenze sociali e relazionali: lavoro in gruppo.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Imparare come si forma un pianeta, come è fatto il Sistema Solare, quali sono e come sono fatte le onde elettromagnetiche.
Funzione	Il gioco è uno strumento, perché il suo obiettivo è veicolare una conoscenza e le meccaniche hanno il solo scopo di rendere divertente il processo.

3.2.3 Caccia al Radiotesoro

Un'altra tipologia di caccia al tesoro diversa dai casi precedenti è la "Caccia al Radiotesoro" sviluppata dall'INAF - Istituto di Radioastronomia di Bologna.

Lo scopo è cercare un radiotrasmettitore tramite l'impiego di un sistema ricevente (figura 3.1) che, tramite un suono e/o un dispositivo analogico (una lancetta), indica l'intensità dell'emissione radio nella direzione in cui si sta puntando.

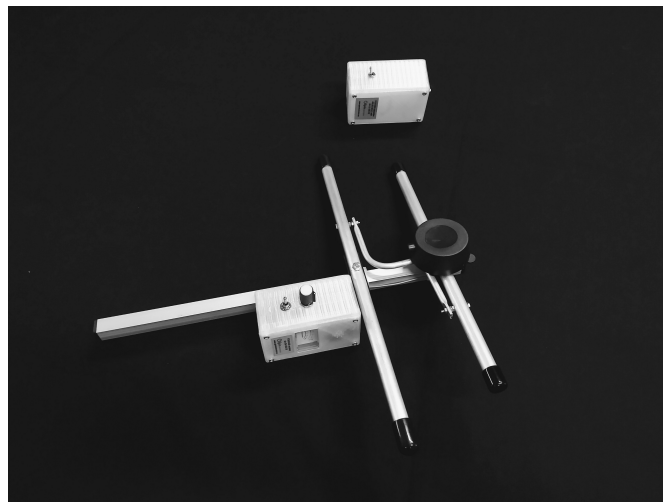


Figura 3.1: Sistema ricevente ed emettitore di onde radio (in alto).

Di seguito si riporta la scheda dell'attività.

Caccia al Radiotesoro	
Meccaniche	
Scopo del gioco	Cercare un trasmettitore radio tramite l'utilizzo di un sistema ricevente, fatto di antenne, ricevitori e rivelatori, che permettono di "vedere" o "sentire" il trasmettitore nascosto e di trovarlo.
Regole	Cercare il radiotrasmettitore tramite l'impiego di un ricevitore.
Nr. giocatori	Se si vuole impostare l'attività come sfida si predilige avere due gruppi da una o due persone ciascuno, altrimenti può essere svolta anche individualmente.
Età consigliata	Dai 10 anni in su.
Spazio	Lo spazio deve essere abbastanza grande da permettere una vera e propria caccia al tesoro. Inoltre, non ci devono essere interferenze radio disturbanti.
Durata	Mezz'ora circa.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.
Materiali	Un segnalatore radio da nascondere e un sistema ricevente che rileva le onde radio.
Ruoli	Non vi è la presenza di ruoli da impersonificare.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.
Dinamiche	
Relazioni	Se svolta in due gruppi si generano relazioni competitive per trovare il radiotrasmettitore per primi.
Profilo dei giocatori	Non sono necessarie conoscenze pregresse di fisica.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	La motivazione è di tipo intrinseca e ciò garantisce il raggiungimento dello stato di <i>flow</i> .
Storia	
Ambientazione e tema	L'ambientazione può essere varia. In alcuni casi il gioco è stato introdotto con un'ambientazione di tipo spionistico, in cui i giocatori dovevano personificare delle spie alla ricerca di una tecnologia rubata dai nemici.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: sviluppo di autonomia decisionale, gestione di sé in gioco e delle relazioni.

Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Far comprendere la fisica dietro le onde radio: poiché non si vedono, servono degli strumenti appositi per la loro ricerca.
Funzione	Il gioco è un modello, ovvero le meccaniche permettono l'acquisizione delle competenze.

3.2.4 Tinkering per le STEM

L'INAF - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna ha sviluppato negli anni diversi laboratori basati sul *tinkering*, un termine che può essere tradotto in italiano con la parola "trafficare" e che descrive una "metodologia che libera le energie creative e aiuta a sviluppare le cosiddette 'competenze del ventunesimo secolo', che non riguardano solo le alfabetizzazioni di base (..) ma sono soprattutto l'attitudine a farsi domande, mettersi in gioco, imparare a conoscere" (Ricciardi, Villa e Rini, 2018a).

L'obiettivo di queste attività non è insegnare qualcosa di specifico sull'Universo, ma cercare di stimolare la curiosità dei bambini e aiutarli a mettere insieme le loro personali esperienze in modo che il mondo intorno a loro cominci ad "avere senso" (Ricciardi, 2020). Inoltre, si vuole "far capire come viene svolta la ricerca scientifica, come funziona la testa di uno scienziato quando sta cercando la soluzione ad un problema e anche come poi una nuova idea possa essere inclusa nel *corpus* scientifico" (Ricciardi, Villa e Rini, 2018a).

L'attività pone le sue basi pedagogiche sulla teoria del costruttivismo di Piaget e del costruzionismo di Papert, descritte nella sezione 2.2.

In particolare il costruzionismo riprende il concetto di "artefatto cognitivo", termine coniato dallo psicologo e ingegnere statunitense Donald Norman e che significa "strumento artificiale che supporta, mostra o elabora delle informazioni allo scopo di svolgere una funzione rappresentazionale e che incide sulle *performance* cognitive umane" (Norman, 1991). In questo senso l'artefatto cognitivo ha lo scopo di migliorare l'acquisizione e gestione della conoscenza umana.

I ricercatori hanno sviluppato dei laboratori su misura originariamente ideati dal Tinkering Studio di San Francisco³, come *Scribbling Machine*, *Paper Circuits*, *Chain Reaction* e *Paper Automata* (figura 3.2).

Punto di partenza non è la presentazione di un esperimento o di un'attività collegata a una disciplina STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*), ma la presentazione di una sfida, ovvero una funzione imprescindibile che l'oggetto (ovvero l'artefatto cognitivo) che si deve costruire deve poter compiere. La modalità con cui costruirlo viene lasciata alla piena autonomia e creatività dei partecipanti: "in questo modo il pregiudizio personale che può colpire i bambini a causa del loro genere, ceti, etnia o livello culturale della famiglia non gioca alcun ruolo perché tutti sentono di poter giocare" (Ricciardi, Villa, Rini et al., 2018). La scelta di utilizzare materiale comune unito a materiale tecnologico contribuisce a creare un ambiente familiare e non intimidatorio.

³www.exploratorium.edu/tinkering

In questa situazione l'errore acquisisce un ruolo diverso dal comune: esso perde ogni valenza negativa e diventa un passaggio fondamentale per il percorso creativo, che si svolge attraverso la "spirale dell'apprendimento creativo" introdotta da Resnick e descritta nella sezione 2.2.



(a) Bambini impegnati nella creazione di una pista per le biglie al Play Festival di Modena del 2019.



(b) Bambini alle prese con le *Scribbling Machine*.

Figura 3.2: Foto: Ricciardi/INAF

Di seguito si riporta la scheda ludica che riassume i diversi laboratori di *tinkering*.

Laboratori di Tinkering	
Meccaniche	
Scopo del gioco	<i>Scribbling Machine</i> : costruire un robot per scarabocchiare. <i>Paper Circuits</i> : costruire un circuito di carta. <i>Chain Reaction</i> : costruire una reazione a catena. <i>Paper Automata</i> : costruire un automa cartaceo.
Regole	Non vi sono regole per il <i>tinkering</i> , se non costruire un artefatto.
Età consigliata	Da 5 a 10 anni, ma anche oltre.
Spazio	Abbastanza grande da poter contenere un tavolo per ogni gruppo di lavoro e il materiale a disposizione.
Durata	Minimo due ore.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.

Materiali	I materiali utilizzati sono sia tecnologici (motorini, batterie, led, schede elettroniche prestampate) che di riciclo (cartone, scatole, fil di ferro, carta gommata, contenitori di plastica di vario genere).
Ruoli	Non vi sono ruoli da ricoprire.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.
Dinamiche	
Relazioni	I partecipanti vengono in genere divisi in gruppi per lavorare insieme ad un unico artefatto. Le relazioni che si generano tra i membri di uno stesso gruppo sono cooperative, così come tra gruppi diversi, in quanto viene incentivato l'apprendimento tra pari.
Profilo dei giocatori	Una metodologia come il <i>tinkering</i> permette la partecipazione di qualsiasi bambino, anche quelli che non hanno familiarità con le discipline STEM. Per questo motivo l'attività è un ottimo strumento anche per combattere il divario di genere molto presente in quest'ambito.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	I bambini partecipano con il solo scopo di divertirsi: la motivazione è dunque intrinseca, favorendo uno stato di <i>flow</i> molto intenso. Le emozioni in gioco possono essere sia di compiacimento ed entusiasmo per la riuscita di un progetto, ma anche di frustrazione quando non si riesce a raggiungere l'obiettivo prefissato.
Storia	
Ambientazione e tema	Non vi è lo sviluppo di una narrazione o ambientazione.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: autonomia decisionale, autostima, accettazione dell'errore. Competenze sociali e relazionali: capire l'importanza del lavoro di squadra. Competenze cognitive: <i>problem solving</i> , creatività, sperimentazione libera.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	L'attività non è finalizzata all'apprendimento di un concetto specifico, ma all'acquisizione delle competenze descritte sopra.
Funzione	Il gioco è un modello, ovvero le meccaniche permettono l'acquisizione delle competenze.

3.2.5 Coding e robotica educativa

Quando il costruzionismo si applica ai software prende il nome di *coding* (Ricciardi, Villa e Rini, 2018a). In quest'ambito, l'INAF - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna

ha sviluppato diversi laboratori che, tramite l'utilizzo di Scratch⁴, aiutano gli studenti nello sviluppo di un pensiero computazionale.

Scratch (figura 3.3) è un ambiente di programmazione visuale creato dal gruppo di ricerca del *Media Lab* dell'MIT coordinato da Resnick. Esso si basa su quattro principi guida sviluppati dal team per aiutare bambini e ragazzi a sviluppare il pensiero creativo (Resnick, 2017):

- **Projects** (progetti): l'attività principale, nella comunità di Scratch, è realizzare progetti;
- **Passion** (passione): quando le persone lavorano a progetti che per loro sono importanti, sono disposte a lavorare più sodo e più a lungo;
- **Peers** (pari): quello creativo è un processo sociale nel quale le persone collaborano, condividono e arricchiscono l'una il lavoro dell'altra. Scratch è pensato per l'interazione sociale, perché unisce la programmazione a una comunità online;
- **Play** (gioco): Scratch è pensato per sostenere la sperimentazione giocosa come via verso la creatività, incoraggiando bambini e ragazzi a correre rischi e a provare cose nuove.

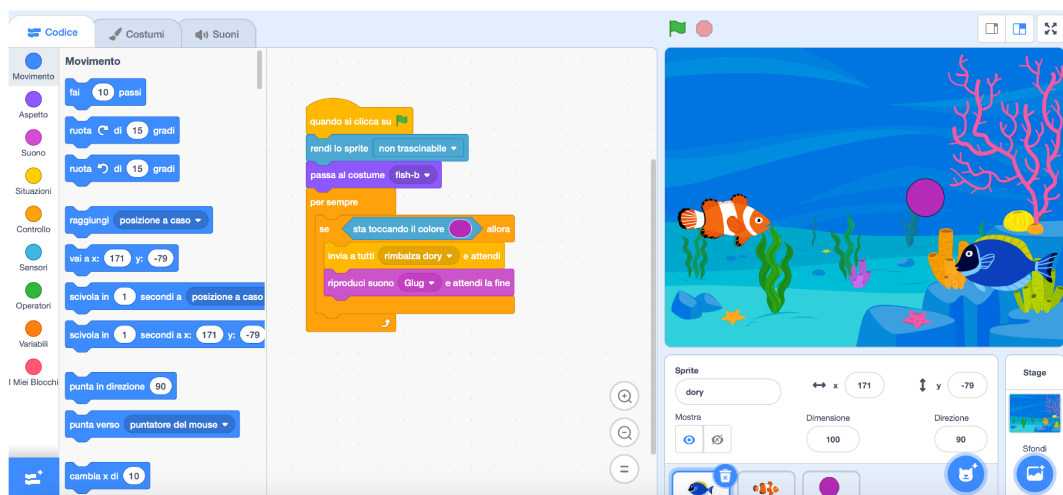


Figura 3.3: La schermata di programmazione di Scratch 3.0.

Un altro principio su cui si basa è tratto da un pensiero di Papert:

Parlando dell'uso delle tecnologie per favorire l'apprendimento e l'istruzione, Seymour Papert evidenziava spesso l'importanza di avere *pavimenti bassi* e *soffitti alti*. Perché una tecnologia sia efficace, diceva, dovrebbe dare ai principianti modi semplici per iniziare a usarla (pavimenti bassi) ma anche possibilità di lavorare, nel tempo, a progetti sempre più sofisticati (soffitti alti). (Resnick, 2017)

Scratch si basa proprio su questa idea: tramite un approccio basato sui progetti, gli *scratcher* sviluppano il pensiero computazionale, la capacità di esprimersi e la propria identità (Resnick,

⁴scratch.mit.edu

2017).

Il pensiero computazionale non è utile solo in informatica. Esso “è uno strumento che ci aiuta a pensare formulando dei procedimenti costruttivi, ossia una serie di passi fondamentali che descrivono una procedura che ci porta a realizzare le nostre idee o a risolvere un problema. Ci consente di andare oltre l'intuizione della soluzione del problema, dandoci gli strumenti per realizzarla. La programmazione è il tramite con il quale riusciamo ad aiutare i ragazzi a sviluppare il pensiero computazionale” (Sandri, 2020).

Come prima, si inserisce di seguito la scheda dell'attività.

Coding con Scratch	
Meccaniche	
Scopo del gioco	Imparare a utilizzare Scratch e fare <i>coding</i> .
Regole	Non ci sono regole.
Nr. giocatori	Non c'è un numero limitato di giocatori.
Età consigliata	10-13 (ma anche classi quinte della scuola primaria e scuola secondaria di secondo grado, secondo il livello degli obiettivi di programmazione proposti).
Spazio	Scratch.
Durata	Dipende dal tempo di lavoro che richiede il progetto.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.
Materiali	Un computer per ogni studente (massimo due).
Ruoli	Non vi è la presenza di ruoli da impersonificare.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.
Dinamiche	
Relazioni	La filosofia di Scratch è la collaborazione all'interno della comunità. Durante i laboratori viene quindi favorito l'instaurarsi di relazioni collaborative e cooperative tra gli studenti, che vengono incoraggiati ad aiutarsi a vicenda.
Profilo dei giocatori	Non sono necessarie competenze di programmazione per partecipare al laboratorio.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	L'attività è simile a quella di tipo <i>tinkering</i> : gli studenti vengono incoraggiati a sperimentare liberamente, lavorando in autonomia ai propri progetti. Le emozioni in gioco possono essere sia di compiacimento ed entusiasmo per la riuscita di un progetto, ma anche di frustrazione quando non si riesce a raggiungere l'obiettivo prefissato.

Storia	
Ambientazione e tema	Non vi è lo sviluppo di una narrazione o ambientazione.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: educazione tra pari dei giocatori. Competenze cognitive: <i>problem solving</i> , creatività, pensiero computazionale.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Fornire agli studenti uno strumento con il quale possono sviluppare e applicare il pensiero computazionale e usare il <i>coding</i> per consolidare i concetti appresi in varie discipline, “perché l’esercizio che occorre fare per spiegare esattamente ad un oggetto programmabile come dare vita alla vostra idea, è un esercizio talmente rigoroso e completo che finisce per consentire anche a voi di comprendere quell’idea ancora meglio, ancora più a fondo, di quanto non l’aveste già pensata per voi stessi.” (Sandri, 2020)
Funzione	Il gioco è un modello, ovvero le meccaniche permettono l’acquisizione delle competenze.

Analoghi ai progetti di *coding* sono i laboratori che utilizzano la robotica come approccio ludico. L’INAF - Osservatorio Astronomico di Palermo ha sviluppato, tra le altre, un’attività che utilizza Ozobot Evo⁵, un robot in grado di muoversi e reagire su superfici fisiche e digitali, seguendo percorsi colorati, come si vede in figura 3.4. Esso può essere programmato tramite una piattaforma (OzoBlockly⁶) molto simile a Scratch.

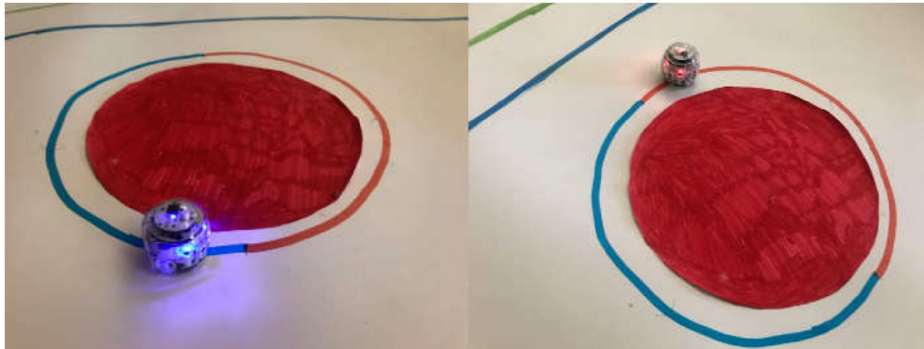


Figura 3.4: Ozobot Evo che simulano il metodo delle velocità radiali: la presenza di un pianeta che orbita intorno a una stella determina uno spostamento di quest’ultima, che si può rilevare tramite uno spostamento del suo spettro verso il rosso (*redshift*) se si sta allontanando dall’osservatore o verso il blu (*blueshift*) se si sta avvicinando. (Leonardi, 2019).

Di seguito si riporta la scheda ludica dell’attività.

⁵ozobot.com

⁶ozoblockly.com

Ozobot Evo: la robotica educativa per gli esopianeti

Meccaniche

Scopo del gioco	Utilizzare la robotica educativa e la programmazione per far apprendere le principali tecniche di ricerca dei pianeti extrasolari.
Regole	Non ci sono regole.
Nr. giocatori	L'attività è stata pensata per far una classe, quindi circa 15-20 partecipanti.
Età consigliata	11-14 (scuole superiori di primo grado).
Spazio	È sufficiente un tavolo su cui far muovere i robot.
Durata	Più di 2 ore.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.
Materiali	Ozobot Evo che simulano il moto dei pianeti intorno a una stella, computer per la loro programmazione, colori a pennarello, un cartellone bianco.
Ruoli	Non vi è la presenza di ruoli da impersonificare.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.

Dinamiche

Relazioni	Come nel caso del <i>coding</i> , vengono favorite relazioni collaborative e cooperative tra i partecipanti.
Profilo dei giocatori	Non sono necessarie competenze di programmazione per partecipare al laboratorio.

Estetiche

Emozioni e motivazioni	La motivazione che spinge a partecipare è intrinseca, garantendo di conseguenza lo stato di <i>flow</i> .
-------------------------------	---

Storia

Ambientazione e tema	Non vi è lo sviluppo di una narrazione o ambientazione.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: sviluppo di di un pensiero critico e analitico. Competenze cognitive: <i>problem solving</i> , creatività.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Imparare la fisica che sta dietro alle due principali tecniche di ricerca e analisi degli esopianeti, ovvero il metodo dei transiti e il metodo delle velocità radiali.

Funzione	Il gioco è uno strumento, ovvero ha lo scopo di veicolare una conoscenza.
-----------------	---

3.2.6 Gamification con Kerbal Space Program

*Kerbal Space Program*⁷ (figura 3.5) è un simulatore di volo spaziale che permette al giocatore di sperimentare la costruzione di razzi, satelliti, navicelle e rover, mandarli in orbita o intraprendere lunghi viaggi interplanetari tenendo in considerazione gravità, spinta dei motori, carburante a disposizione, approvvigionamento energetico, aerodinamica e molto altro ancora (EduINAF, 2020).

Il videogioco, nella sua versione *Edu*, è stato utilizzato all'interno del progetto *Cosmo Explorers*, la cui idea è quella di sfruttarlo a fini didattici. Capofila è il Planetario di Torino assieme ai partner INAF grazie alle sedi dell'Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna, l'Osservatorio di Brera a Milano e l'Osservatorio di Capodimonte a Napoli, in collaborazione con ALTEC, azienda aerospaziale italiana. All'interno del progetto è stata proposta anche una competizione tra giocatori su tutto il territorio nazionale, divisi per livello scolastico, per aggiudicarsi il titolo di miglior programma di esplorazione spaziale.



Figura 3.5: La plancia di lancio del *Kerbal Space Program*.

Di seguito si riporta la scheda ludica dell'attività.

⁷www.kerbalspaceprogram.com

Cosmo Explorers	
Meccaniche	
Scopo del gioco	Progettare un viaggio spaziale tramite l'utilizzo del videogioco <i>Kerbal Space Program</i> .
Regole	Non ci sono regole se non quelle dettate dal progetto che si intende portare a compimento.
Nr. giocatori	Non vi è un limite nel numero dei giocatori, che in genere vengono divisi in gruppi.
Età consigliata	11-13 (scuole superiori di primo grado) e 14-19 (scuole superiori di secondo grado).
Spazio	Il pianeta Kerbin, su cui valgono le stesse leggi fisiche della Terra.
Durata	Dipende dal tempo di lavoro che richiede il progetto.
Punteggi	Non è previsto un sistema di assegnazione di punti.
Materiali	Un computer per ogni gruppo con installato il videogioco.
Ruoli	Non vi è la presenza di ruoli da impersonificare.
Fortuna e casualità	Non vi sono elementi di fortuna o casualità.
Dinamiche	
Relazioni	I partecipanti vengono divisi in piccoli gruppi in cui è richiesta collaborazione e cooperazione per portare a termine la missione.
Profilo dei giocatori	I partecipanti sono dagli 11 anni in su perché solo da quest'età comincia a svilupparsi il pensiero astratto che permette la progettazione di obiettivi a lungo termine.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	Dalle sperimentazioni condotte è emersa una risposta entusiasta dei ragazzi, che spesso si sono suddivisi in due distinti macrogruppi, coloro che progettano i razzi "a tentativi" e quelli che, al contrario, provano ad applicare le leggi della fisica a loro note per capire come progettare il razzo migliore in funzione della missione. Inoltre grazie all'introduzione di un obiettivo, gli studenti si sono mostrati più invogliati a porre domande sulla fisica o chiedere chiarimenti su concetti poco assimilati (Filippelli, 2019).
Storia	
Ambientazione e tema	Tutta la vicenda avviene sul pianeta Kerbin, abitato dai kerbaliani.

Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: apprendimento dagli errori, capacità di previsione, valutazione dei rischi, assunzione di decisioni. Competenze sociali e relazionali: gestione del lavoro di gruppo. Competenze cognitive: <i>problem solving</i> , ampliamento delle conoscenze digitali, gestione di progetti a medio-lungo termine.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Cinematica e forze, gravitazione, meccanica celeste, tecnologia, economia. La natura flessibile e modulare permette di declinare l'attività secondo le esigenze dei partecipanti.
Funzione	Il gioco è un modello, ovvero le meccaniche permettono l'acquisizione delle competenze.

3.3 Considerazioni

Gli esempi riportati fin qui rappresentano solo una piccola frazione delle attività sviluppate dai ricercatori e ricercatrici INAF, che in linea di massima possono essere divise in due tipologie. Una parte di esse si basa sulla rielaborazione di giochi conosciuti da tutti e di nota efficacia (come la caccia al tesoro e il gioco dell'oca), a cui vengono inseriti contenuti e obiettivi didattici. Il punto di forza di questa tipologia risiede proprio nella loro diffusione, grazie alla quale non rischiano di risultare intimidatori e favoriscono la partecipazione. Lo svantaggio è che molto spesso fungono solo da modelli e non strumenti (secondo l'accezione data nella scheda ludica di tabella 3.1); in questo senso le meccaniche del gioco non partecipano al raggiungimento dell'obiettivo didattico o educativo, ma rendono solo l'attività più attraente. Un'attività di *game-based learning* ideale dovrebbe essere invece un modello: in questo modo è prima di tutto un gioco e questo permette di sfruttare tutte le caratteristiche viste nel capitolo 2 che garantiscono un'ottima efficacia educativa e didattica.

Altre attività sono invece costruite *ad hoc* (come il gioco "Viva la risoluzione!" descritto nel capitolo 4) o riprese da altri istituti di ricerca, come i laboratori di *tinkering* e di *coding*. Ciò che li distingue dagli altri è di non avere la tipica struttura a gioco, con obiettivi attraenti e regole chiare: in queste attività si lavora a progetti, sfruttando i principi della sperimentazione libera e dell'*Enquiry Based Learning*, una forma di apprendimento attivo che ha inizio con il porsi domande e trovarvi autonomamente soluzione. Al contrario della prima tipologia, in questo caso viene favorita l'acquisizione di competenze piuttosto che di conoscenze dichiaratamente didattiche.

Negli ultimi anni INAF ha investito molto nella ricerca e sviluppo di laboratori didattici con metodologie innovative; è infatti recente la creazione di gruppi di lavoro inerenti a queste tematiche, che hanno come obiettivo l'ampliamento del materiale a disposizione del pubblico e delle scuole.

In questo contesto è sorta la collaborazione con il *GAME Science Research Centre* di Lucca, tra i cui obiettivi vi è anche lo sviluppo di giochi da tavolo a partire da attività già sviluppate

e sperimentate, come nel caso del laboratorio oggetto di questa tesi⁸, che verrà analizzato nel dettaglio nel capitolo successivo.

⁸Si veda il capitolo 6 per ulteriori dettagli.

Capitolo 4

Il gioco “Viva la risoluzione!”

4.1 Premesse e obiettivi

Ideata da Stefania Varano¹ e Sara Ricciardi², l’attività “Viva la risoluzione!” consiste in un “approccio pratico che sfrutta il fatto che molti giocattoli per bambini utilizzano il campionamento delle immagini come strumento di gioco, al fine di riprodurre le immagini con risoluzioni diverse” (Varano e Ricciardi, 2018).

Il laboratorio prevede infatti l’uso dei chiodini Quercetti[®] per far sperimentare a bambini e ragazzi il concetto di risoluzione delle immagini digitali. Disponendo un’immagine sotto la tavoletta forata e inserendo i chiodini del colore corrispondente, si cerca di ricostruire l’immagine originale. Si ottiene in questo modo un campionamento a diverse risoluzioni, sulla base della dimensione dei chiodini utilizzati, come si vede in figura 4.1.



Figura 4.1: La stessa immagine di una casa ottenuta con chiodini grandi (bassa risoluzione), medi e piccoli (alta risoluzione). Foto: Varano/INAF.

¹INAF - Istituto di Radioastronomia di Bologna

²INAF - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna

Come detto in precedenza, l'attività sfrutta i principi del *game-based learning*, la disciplina secondo cui un approccio ludico favorisce l'apprendimento di nuove competenze e conoscenze. Di seguito si riportano gli obiettivi didattici (conoscenze):

- *introdurre concetti base sulla natura delle immagini digitali, come la risoluzione cromatica e spaziale, il campionamento, la quantità e il flusso dei dati;*
- *mostrare che le immagini sono mezzi di rappresentazione, vincolati e limitati dalle caratteristiche dello strumento usato per crearle (risoluzione, capacità di memoria, ecc.);*
- *mostrare l'importanza della risoluzione necessaria per realizzare un'immagine nel caso astrofisico, in cui la scelta dello strumento e la richiesta tempo sono cruciali per la buona riuscita di uno studio.*

Questi obiettivi vengono implicitamente raggiunti grazie alle meccaniche del gioco. Infatti, durante l'attività, “i bambini capiscono che i chiodini più piccoli (buona risoluzione) sono utili laddove è necessario definire i dettagli dell'immagine, tuttavia richiedono molto più tempo per essere posizionati; mentre quando vogliono rappresentare grandi aree di un colore, non sono necessari dettagli e chiodini più grandi potrebbero fornire una soluzione più rapida” (Ricciardi et al., 2019).

Al termine dell'attività, i facilitatori raccolgono le idee dei bambini in un *debriefing* finale, un momento in cui si torna riflessivamente su quanto accaduto per aggiungerne consapevolezza e fissare i contenuti appresi. Questa fase è fondamentale, perché, come sottolinea Resnick, dopo una fase di gioco in cui predomina uno stato di *flow*³ “è importante che le persone facciano un passo indietro e riflettano sulle loro esperienze. Attraverso la riflessione si fanno collegamenti tra idee, si comprende meglio quali strategie siano più efficaci e si è più pronti a generalizzare quanto appreso a nuove situazioni nel futuro” (Resnick, 2017).

In questa fase vengono sottolineate le analogie con l'attività di un astrofisico che per studiare l'Universo si serve di immagini digitali:

- i chiodini rappresentano i pixel e di conseguenza una buona risoluzione si ottiene utilizzando un numero maggiore di pixel. In questo modo si spiega la risoluzione spaziale;
- il tempo impiegato dagli “addetti ai chiodini” per inserirli nella tavola forata è analogo al tempo impiegato da una camera CCD (o una camera fotografica in generale) per ottenere la lettura di un'immagine: maggiore è la risoluzione, maggiore sarà il tempo richiesto;
- la scelta che i bambini devono operare nella dimensione dei chiodini, rispecchia quella che devono fare gli astrofisici al momento della scelta dello strumento da utilizzare: a seconda dell'immagine (e quindi dell'obiettivo scientifico) che si vuole ottenere, bisogna tener conto del grado di dettaglio di cui si necessita e metterlo in rapporto con il tempo di posa necessario o a disposizione;
- la collaborazione richiesta dai bambini per completare l'immagine, tra chi inserisce i chiodini e chi li guadagna, riflette la collaborazione che vi è tra scienziati di vari settori: anche

³Concetto discusso nel dettaglio nella sezione 2.2.

solo per costruire uno strumento è necessario il contributo di ingegneri, fisici, astronomi, chimici e tante altre figure che mettono in campo la propria competenza, in un ambiente che è sempre più interdisciplinare.

Per concludere viene preso come esempio un oggetto astronomico (come una galassia o un ammasso stellare) e si mostrano degli esempi reali di immagini a diversa risoluzione, come si vede nell’immagine di figura 4.2.

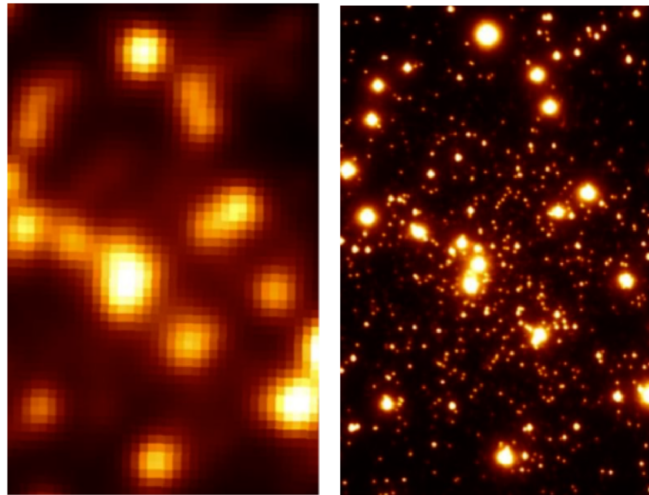


Figura 4.2: Esempio di diversa risoluzione nel caso di un ammasso stellare mostrato nel *debriefing* e spiegata come segue: “avere un’alta risoluzione è fondamentale per gli astronomi, per poter distinguere i dettagli delle immagini del cielo. In quella che, a bassa risoluzione, può sembrare un’unica macchia, possono esserci ad esempio diverse stelle.”

Contemporaneamente i partecipanti sono portati a sviluppare una serie di competenze, descritte negli obiettivi educativi dell’attività:

- *incoraggiare un approccio informale, pratico, giocoso e stimolante per introdurre i concetti di base della costruzione di immagini digitali in ambito scientifico (e astronomico, in particolare);*
- *creare un ambiente inclusivo e partecipativo, lasciando molto spazio all’intuizione personale e alla scoperta autonoma;*
- *prevenire le barriere di alfabetizzazione tecnologica e incoraggiare l’impegno di tutti i bambini (senza distinzione di genere o bisogni educativi) grazie all’uso di giocattoli e attrezzature decisamente low-tech. Quest’ultimo concetto rispecchia una delle strategie per l’apprendimento creativo introdotte da Resnick, ovvero “utilizzare materiali noti in modo innovativo” (Resnick, 2017). L’utilizzo di materiali che più facilmente sono stati già utilizzati dai bambini permette di rendere l’attività meno intimidatoria.*

Uno dei vantaggi di utilizzare il gioco come strumento educativo risiede proprio nella sua capacità di permettere l'acquisizione anche di competenze e non solo di conoscenze. Infatti, come sottolinea Pinkham, "il vero valore del gioco non è che può insegnare concetti ai bambini, ma che può aiutarli ad acquisire importanti conoscenze procedurali" (Pinkham et al., 2012).

Infine, le metodologie di apprendimento su cui si basa l'attività sono le seguenti:

- **apprendimento tramite il gioco (*game-based learning*):** disciplina trattata nel dettaglio nel capitolo 2;
- **apprendimento cooperativo:** viene favorito tramite un approccio *peer to peer*, in cui i bambini sono invitati a collaborare per trovare la soluzione migliore;
- **apprendimento attraverso la scoperta e l'osservazione:** all'inizio dell'attività, ai partecipanti non viene fornita alcuna informazione sugli obiettivi didattici. Durante il laboratorio i facilitatori interagiscono con i ragazzi per fornire il linguaggio necessario per aiutarli ad articolare ciò che vedono accadere e pongono loro domande, al fine di espandere e migliorare il gioco, ma lasciando ampio spazio alla scoperta autonoma;
- ***problem solving* ed espressione creativa:** lasciandoli liberi di agire, i bambini si trovano di fronte a decisioni da prendere: avendo un tempo limitato a disposizione, devono valutare quali chiodini sia meglio impiegare per ottimizzare il lavoro;
- ***microlearning*:** con questo termine si intende una modalità di progettazione didattica che prevede la trattazione di un singolo concetto, con un lavoro ampio sulle competenze che ad esso si possono ispirare e associare;
- **maieutica:** è un metodo pedagogico fondato sulla partecipazione attiva del soggetto, che consiste nel ritrovare in sé stessi, nel proprio vissuto, la conoscenza. Difatti i bambini, a volte senza saperlo, hanno già esperienza del concetto di risoluzione spaziale: basti pensare a come le immagini o i video in rete cambiano la loro risoluzione a seconda della potenza del segnale.

John Dewey, filosofo e pedagogista statunitense, ha sottolineato più volte l'importanza di creare collegamenti tra il contenuto didattico e l'esperienza quotidiana: "Possiamo dare una definizione tecnica di educazione: è quella ricostruzione o riorganizzazione dell'esperienza che si aggiunge al significato di quest'ultima e che aumenta le capacità di dirigere il corso delle esperienze successive. L'incremento del significato corrisponde all'aumento della percezione delle connessioni dell'attività in cui si è impegnati. (...) Un'attività che porta con sé educazione o istruzione rende consapevoli di alcune delle connessioni che erano state fino ad allora impercettibili" (Dewey, 1916).

4.2 Descrizione dell'attività

In questa sezione si riporta la descrizione dettagliata dell'attività, presente nella scheda tecnica creata dalle autrici e riportata nella sezione B dell'appendice.

4.2.1 Preparazione

Per prima cosa si prepara l’ambiente di lavoro.

Per ogni postazione si dispongono quattro tavolette forate unite tra di loro con gli appositi connettori e si dispone al di sotto di esse la prima immagine (formato A3) che si vuole far rappresentare. Si suggerisce di scegliere immagini con colori pastello (cartoni animati o disegni), e facilmente identificabili, anche se non troppo legati al mercato attuale dei cartoni animati.

Si preparano poi due sacchetti o scatoline contenenti rispettivamente i foglietti in cui sono stampati soggetti da disegnare e far indovinare (il gioco “Pictionary” per vincere nuovi chiodini) e il “kit di partenza” di chiodini grandi.

Per quanto riguarda i soggetti da indovinare per vincere i chiodini, si consiglia di dividerli per grado di difficoltà (facili, medi, difficili), sia per avere un impegno sempre crescente nel gioco, sia per avere degli eventuali bonus quando vengono indovinate le parole medie e difficili.

Per il kit invece, a seconda delle immagini che si decide di far rappresentare ai ragazzi, va preparato mettendo in un sacchetto 15 chiodini grandi del colore più presente nell’immagine e gli altri in numero minore, a coprire tutti i colori presenti. Nel caso alcuni non fossero disponibili, usare dei colori simili, che facciano comunque capire la rappresentazione. Ai fini del gioco, non è importante avere chiodini necessari a coprire tutta l’immagine, perché ne verranno usati molti meno, solo quelli necessari per far intuire l’immagine a chi deve indovinare.

Al centro della stanza vanno disposti i chiodini restanti, divisi per colore e dimensione, in modo che i ragazzi possano autonomamente prenderne, così da ridurre le tempistiche tra un passaggio e l’altro (si suggerisce una supervisione iniziale, ma i ragazzi capiranno presto da sé che non conviene barare e prendere troppi chiodini, rischiando di perdere tempo nella rappresentazione dell’immagine).

A questo punto si dividono i bambini in gruppi da 5-6, in cui si invitano due membri ad essere gli “operatori”, ovvero coloro che dovranno inserire i chiodini nella tavoletta forata e far indovinare così l’immagine agli altri membri. I restanti cercheranno di guadagnare altri chiodini indovinando l’immagine che uno di loro (a turno) disegnerà.

Il gruppo può dichiarare conclusa l’attività quando gli operatori riescono a far indovinare l’immagine ricostruita con i chiodini.

4.2.2 Svolgimento

Dopo aver spiegato le regole del gioco, si invitano i due operatori a inserire i chiodini del kit di partenza nella tavoletta, inserendo quelli del colore visibile attraverso ogni buco nella tavoletta. Intanto gli altri componenti iniziano a fare a turno delle prove di disegno con cui guadagnano nuovi chiodini. Una volta indovinato, si ottengono 5 chiodini grandi, oppure 10 medi, oppure 40 piccoli, di colore e dimensione da concordare con gli “addetti ai chiodini” (che man mano si fanno l’idea di cosa conviene dettagliare per far capire l’immagine che stanno rappresentando).

Quando tutte le squadre hanno indovinato l’immagine riprodotta, si fa un momento di *debriefing* in cui si raccolgono le idee dei bambini e si pongono loro delle domande, in modo da riepilogare l’attività svolta e fissare i contenuti. In questa fase, inoltre, si includono esempi reali di diversa

risoluzione delle immagini, in particolare astronomiche, come l'esempio riportato in figura 4.2. Per lasciare tempo alla discussione finale, le prove con i chiodini dovranno concludersi entro un'ora. Il numero di immagini da far riprodurre e indovinare potrà essere deciso e variato in base alla velocità di svolgimento di ogni gruppo.

4.2.3 Note e varianti

L'attività può essere svolta anche individualmente, ponendo immagini stampate in formato A5 sotto una singola tavoletta forata e facendo riprodurre l'immagine con chiodini grandi, medi o piccoli. Per mantenere l'aspetto "ludico", i bambini possono essere messi in coppie da due uno di fronte all'altro e, mentre uno compone l'immagine (prima con i chiodini grandi, poi medi, poi piccoli), l'altro deve cercare di indovinarla. Al termine, i ruoli si invertono, in modo che tutti possano provare l'attività.

Questa variante può essere utile nel caso in cui non si abbia molto tempo e/o molti bambini.

A questa prima fase se ne può aggiungere una seconda, in cui a ciascun gruppo viene data un'immagine a colori e diversi fogli con griglie di dimensioni diverse. Ogni studente, o gruppi di due, lavora su una griglia, colorando ogni cella con un singolo colore, scelto per essere il più rappresentativo del colore "complessivo" del quadrato, come si vede in figura 4.3.

La stessa cosa può essere applicata utilizzando una piastra trasparente (in modo che l'immagine sottostante sia visibile) per i mattoncini di tipo LEGO[®], analoga alla tavola forata dei chiodini. Al posto dei colori i bambini avranno mattoncini di dimensioni e colori diversi (4×4 , 2×2 e 1×1) con cui proveranno a riprodurre l'immagine usandoli come pixel e scegliendo il colore che rappresenta meglio ogni porzione di immagine.

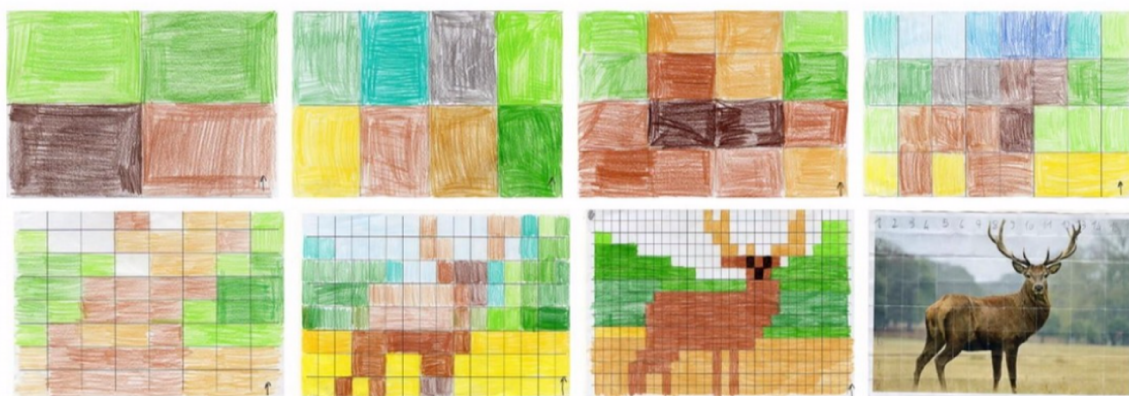


Figura 4.3: Esempi di immagine divisa in un numero crescente di pixel (Ricciardi et al., 2019).

4.3 Applicazione della scheda valutativa

Di seguito si utilizza la scheda di analisi ludica sviluppata nel capitolo precedente per valutare l'attività.

Viva la risoluzione!

Meccaniche

Scopo del gioco	<p>Ricreare l’immagine disposta sotto la tavoletta forata per mezzo dei chiodini.</p> <p>Questo è l’unico obiettivo che viene fornito ai partecipanti ad inizio attività, ma col proseguire diventa chiaro che vi sono degli obiettivi didattici “nascosti” (si veda la sezione “conoscenze” in fondo alla scheda).</p>
Regole	Per vincere i chiodini, alcuni componenti del gruppo devono indovinare quello che un partecipante, a turno, disegnerà su un foglio, basandosi sulle parole fornite dai facilitatori (gioco “Pictionary”).
Nr. giocatori	Circa 25 nel caso di una classe, con gruppi da 5 o 6 bambini, ma può essere fatto anche come lavoro individuale.
Età consigliata	8-10 anni (scuola primaria) e 10-12 anni (scuola secondaria di primo grado).
Spazio	Può essere sia aperto che chiuso, con la disposizione di un numero di tavoli pari al numero di gruppi che si intende creare e con un tavolo aggiuntivo posto al centro dove si mettono a disposizione i chiodini. L’importante è che vi sia spazio sufficiente affinché i bambini si possano muovere per prendere i chiodini autonomamente.
Durata	Tempo di allestimento: mezz’ora di preparazione a laboratorio + mezza giornata di preparazione dei materiali <i>una tantum</i> . Tempo per ogni turno: 30-45 minuti. Tempo totale: 2,5 ore.
Punteggi	L’attività non prevede un sistema di punteggi perché non è prevista una vittoria facilmente misurabile e visibile. Infatti, quando uno dei gruppi indovina l’immagine, il round non viene interrotto per tutti: al gruppo che ha indovinato si fornisce subito un’altra immagine, mentre gli altri continuano a giocare. Questa scelta è stata fatta volontariamente, con l’obiettivo di non creare troppa frustrazione e non introdurre troppa competizione tra gruppi.
Materiali	Fornitura di chiodini Quercetti [®] , stampe delle immagini da rappresentare, foglietti da pescare per i soggetti da disegnare.
Ruoli	I partecipanti vengono divisi in gruppi all’interno dei quali si identificano due categorie di giocatori che si danno il cambio di modo che tutti possano prendere parte alle varie fasi: due membri si occupano di inserire i chiodini per ricreare l’immagine e decidono di quali chiodini necessitano per completarla; gli altri membri giocano a Pictionary per vincere nuovi chiodini basandosi sulle indicazioni dei primi.

Fortuna e casualità	Nell'attività vi sono alcuni elementi di casualità e fortuna. Il primo è legato alla diversa familiarità che hanno i giocatori con le immagini: un determinato personaggio dei cartoni animati può essere più facilmente riconoscibile da una certa fascia d'età. Il secondo riguarda la diversa abilità di disegnare gli oggetti proposti nel gioco Pictionary e la diversa difficoltà dei soggetti da disegnare, che influiscono sulla quantità di chiodini conquistati. In ogni caso questi elementi non sono determinanti per la riuscita del gioco.
Dinamiche	
Relazioni	All'interno di un gruppo è richiesta un'interazione di tipo cooperativa per poter portare a termine l'attività.
Profilo dei giocatori	In genere questa attività è stata proposta e sperimentata all'interno di classi della scuola primaria. Avendo regole molto semplici, può essere utilizzata anche con bambini che hanno scarsa familiarità con il gioco. Può essere inserito in un contesto di lavoro più ampio oppure svolto come attività a spot.
Estetiche	
Emozioni e motivazioni	Dalle sperimentazioni effettuate è emerso un buon coinvolgimento da parte dei bambini, che hanno raggiunto velocemente e facilmente lo stato di <i>flow</i> . La motivazione è di tipo intrinseco, perché ai partecipanti non viene spiegato lo scopo didattico che vi è alla base, ma solo in un secondo momento emergono le analogie con la disciplina che intende rappresentare.
Storia	
Ambientazione e tema	Non vi è utilizzo di un'ambientazione o tematica, per cui il gioco può essere definito astratto.
Competenze (obiettivi educativi)	Competenze etiche: autonomia decisionale, affermazione di sé, riconoscimento dell'altro. Competenze sociali e relazionali: apprendimento cooperativo. Competenze cognitive: <i>problem solving</i> , espressione creativa.
Conoscenze (obiettivi disciplinari)	Introdurre concetti base sulla natura delle immagini digitali, come la risoluzione spaziale e cromatica, il campionamento, la quantità e il flusso di dati. Mostrare che le immagini sono mezzi di rappresentazione, vincolati e limitati dalle caratteristiche dello strumento usato per crearle. Mostrare l'importanza della risoluzione necessaria per realizzare un'immagine nel caso astrofisico, in cui la scelta dello strumento e la richiesta tempo sono cruciali per la buona riuscita di uno studio.

Funzione	Il gioco è un modello, ovvero le meccaniche sono parte del concetto che si vuole far apprendere.
-----------------	--

4.4 Prime sperimentazioni

L’attività è stata sperimentata in diverse occasioni.

La prima è stata in una classe quinta della Scuola Primaria “Marella” del XII Istituto Comprensivo di Bologna, nel 2017 (Varano e Ricciardi, 2018).

A Padova è stata proposta da parte dell’INAF - Osservatorio Astronomico di Padova in quattro diversi contesti.

Tra aprile e maggio 2018 ha fatto parte della mostra scientifica interattiva Sperimentando, la cui edizione era dedicata alle arti visive in fisica, chimica e scienze naturali. L’INAF era presente con lo stand “Immagini dall’Universo” e con diversi laboratori (Boccatto, 2018).

In settembre 2018 ha fatto da introduzione all’evento NEMES (*Non è Magia, è Scienza*) organizzato dall’Università di Padova. L’attività è stata sperimentata sia a gruppi per una classe di scuola primaria, sia individualmente per i più grandi (Niola, 2018b).

In febbraio 2019 il laboratorio è stato proposto come attività dell’evento artistico-divulgativo “Appassionatamente curiosi” promosso e realizzato dal XII Istituto Comprensivo “Don Bosco”. Ospite dell’evento, l’Osservatorio Astronomico di Padova ha partecipato portando lo spettacolo teatrale di Martina Tremenda e offrendo alle classi dell’istituto la possibilità di richiedere interventi laboratoriali. Tra le proposte è stata inserita anche l’attività “Viva la risoluzione!”, richiesta da una classe di scuola primaria.

Infine, per l’anno scolastico 2018/2019 è stata proposta come attività per il ViviPadova, un programma didattico-culturale del comune di Padova che raccoglie percorsi educativi e culturali rivolti agli insegnanti e alle classi delle scuole dell’infanzia, primarie e secondarie di primo grado.

A Bologna, in occasione della Notte dei Ricercatori⁴ del 2018 (iniziativa europea dedicata all’incontro tra cittadini e ricercatori), l’INAF - Istituto di Radioastronomia e l’Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio di Bologna l’hanno proposta individualmente a bambini in età dagli 8 ai 12 anni.

Lo stesso è stato fatto in occasione dello “SKA Day”, svoltosi nel giugno del 2019 al Centro Visite dei radiotelescopi di Medicina, dove gruppi di bambini hanno partecipato all’attività organizzata dall’INAF - Istituto di Radioastronomia di Bologna.

A Firenze, nel maggio del 2019, l’INAF - Osservatorio Astrofisico di Arcetri ha sperimentato l’attività con gruppi di bambini nell’ambito della Bambineide, un’iniziativa rivolta ai più piccoli. In seguito è stata proposta a docenti di scuole superiori di primo grado, che l’hanno ritenuta valida anche per questa fascia d’età.

A Cagliari, nell’ottobre del 2019, ha fatto parte delle manifestazioni legate alla mostra *Inspiring Stars*, un progetto della IAU (*International Astronomical Union*, Unione Astronomica Interna-

⁴nottedeiricercatori.it

zionale) volta a favorire una maggiore inclusività ed apertura dei contenuti astronomici a favore dei non vedenti e di altre categorie di pubblico svantaggiato (Soletta, 2019). L'attività è stata proposta dall'INAF - Osservatorio Astronomico di Cagliari.

Infine è stata fatta una sperimentazione con gruppi di studenti della scuola primaria durante il Festival della Scienza di Genova, a cui anche l'INAF ha partecipato con diverse iniziative (Borga, 2018).

Capitolo 5

Valutazione

5.1 Valutazione della metodologia didattica

Grazie alla scheda ludica del capitolo precedente, si può affermare che l'attività non risulta soddisfare tutte quelle caratteristiche, discusse nel capitolo 2, che caratterizzano un gioco e un'attività di *game-based learning*. Ad esempio manca un ambiente immaginario in cui si svolge l'azione e gli obiettivi non sono molto attraenti. Inoltre non vi è alcun riferimento alla sospensione del rischio o alla validazione dell'errore a causa della mancata definizione di una vittoria da raggiungere: non vi è un modo giusto o sbagliato di procedere, ma sta ai bambini sviluppare una propria procedura.

D'altro canto il gioco presenta una realtà separata e soprattutto inefficiente che permette di ottenere una motivazione di tipo intrinseca, fondamentale per la riuscita di un'attività ludica.

Ciò nonostante i partecipanti hanno sempre dato una risposta molto positiva in termini di emozioni provate e motivazioni, grazie anche all'instaurarsi involontario di competizione tra i gruppi, una sorta di gara a chi indovina prima l'immagine. Il punto di forza è sicuramente quello di avere degli obiettivi didattici "nascosti": ai bambini, all'inizio dell'attività, non viene detto niente sulla risoluzione, ma la apprendono con lo svolgersi del gioco, grazie anche al suo aspetto "maieutico". Il momento di *debriefing* finale permette di collegare quanto sperimentato con gli aspetti teorici, generando un momento "wow" nei bambini, che si riscoprono già conoscitori del concetto.

In conclusione, il gioco risulta avere basi molto solide per quanto riguarda le dinamiche di gioco, ma si possono ancora migliorare le meccaniche, ad esempio inserendo un obiettivo più attraente o un'ambientazione che permettano di aumentare la motivazione dei giocatori.

5.2 Valutazione delle meccaniche

In questa sezione si vuole discutere la sostenibilità del gioco analizzando le sue meccaniche, che includono le regole, gli strumenti, gli spazi, i tempi e gli oggetti necessari per il gioco. L'attività

vuole essere il più fruibile possibile, anche in contesti diversi e con il minor numero di facilitatori. Le considerazioni derivano sia dalle prime fasi di sperimentazione condotte dalle autrici, sia dai test svolti nelle varie occasioni descritte nella sezione precedente.

Nella prima fase di ideazione al posto dei chiodini Quercetti® si era pensato di utilizzare i mattoncini LEGO®. In seguito la scelta ricadde sui primi per delle caratteristiche valutate necessarie durante la progettazione: le tavolette forate permettono agli operatori di lavorare senza che gli altri partecipanti vedano l'immagine sottostante e i chiodini sono una buona analogia dei pixel perché sono di colori e forme differenti.

Inoltre la collaborazione con la ditta Quercetti®, produttrice dei materiali, si è rivelata proficua: hanno dimostrato sensibilità e interesse sufficiente da fornire un kit di partenza per la sperimentazione e da proporre un codice sconto ai materiali necessari per il laboratorio a chi lo chiedesse all'interno dell'INAF.

Nonostante questo il costo rimane alto: per il futuro è preferibile realizzare il gioco con materiali standard, anche riproducibili da sé, come si discute nel capitolo 6.

Prima del laboratorio è necessario aver fatto un'accurata preparazione dei materiali, in modo da non avere tempi morti e distrazioni durante l'intervento.

Durante l'attività bisogna ogni tanto ricondurre l'attenzione sull'immagine rappresentata sui chiodini da indovinare, perché i bambini tendono a distrarsi troppo con la fase di disegno. Questa problematica può essere risolta coinvolgendo un numero di facilitatori pari al numero di gruppi che si creano, per poterli seguire più attentamente e porre loro delle domande che possano aiutarli nel processo di scoperta e sperimentazione. Questo punto rappresenta una forte criticità che si sta cercando di risolvere.

Inoltre è emersa più volte l'importanza di avere uno spazio adeguato, per permettere ai bambini di muoversi liberamente all'interno dell'aula per prendere i chiodini vinti.

La scelta delle immagini da rappresentare non è facile. Esse devono avere colori a pastello (per essere simili ai colori dei chiodini), essere facilmente riconoscibili per il target d'età e in numero sufficiente da garantire due o tre turni di gioco (se i gruppi sono abbastanza lontani tra loro si possono riutilizzare le stesse immagini).

Inoltre, dopo la prima fase sperimentale, è subentrata la problematica del copyright: trovare immagini che siano libere da diritti rende la ricerca ancora più difficile.

5.3 Valutazione dell'efficacia pedagogica

Valutare il risultato in termini di apprendimento di un'attività ludica non è semplice; non basta somministrare delle prove standardizzate come si farebbe nel caso di una lezione scolastica, perché i risultati non sono facilmente quantificabili. Resnick sottolinea questa problematica riferendosi in particolare alla valutazione del pensiero creativo nelle scuole:

Alcuni critici hanno paragonato l'uso di prove standardizzate al comportamento della persona che perde le chiavi in una strada buia e va a cercarle sotto a un lampione perché lì ci vede meglio. Le scuole non sanno misurare il pensiero creativo, per cui finiscono con il misurare le cose che possono misurare facilmente. Alcune di queste

misurazioni possono essere utili, ma in ultima analisi fanno perdere di vista le vere priorità. Dando importanza a quello che misurano, e misurando quello a cui danno importanza, le scuole tendono a porre più attenzione - e ad attribuire più valore - alle cose che sono in grado di misurare, anziché porre attenzione e attribuire valore alle cose che saranno più determinanti nella vita degli studenti. (Resnick, 2017)

Come soluzione, il ricercatore propone di documentare il processo creativo degli studenti coinvolti in un'attività ludica e/o creativa, creando un portfolio che insegnanti ed educatori possono esaminare per fornire *feedback* e suggerimenti volti a favorire il processo di apprendimento.

Più in generale, c'è un intenso dibattito tra i ricercatori su quali possano essere delle modalità oggettive e affidabili di valutazione dei risultati di un'attività in termini di "crescita" da parte degli studenti.

La dottoressa Paola Fantini, nella sua tesi di dottorato, ha descritto alcune tecniche per valutare qualitativamente un'attività di questo genere (Fantini, 2013).

La valutazione del gioco "Viva la risoluzione!" si è basata sulla descrizione dettagliata del processo di progettazione e dell'esperienza sul campo, sul confronto con colleghi esterni al processo di progettazione (per raccogliere *feedback* sull'attività), sull'osservazione diretta del processo di gioco e delle sue dinamiche, sul *feedback* raccolto tramite brevi domande orali da parte degli educatori che hanno assistito alla realizzazione dell'attività nella loro classe o in contesti extrascolastici e sul *debriefing* con gli studenti coinvolti al termine dell'attività.

Come si riporta nella scheda tecnica presente nella sezione B dell'appendice, l'indicazione più diretta e immediata dell'efficacia del laboratorio è l'evidenza di un'acquisizione autonoma dei concetti coinvolti, ovvero se i ragazzi, nel lavorare con i chiodini, mostrano consapevolezza sulle diverse risoluzioni, sui diversi tempi di lavorazione, sulla quantità di dati rappresentati e sulla scelta dei dettagli da evidenziare per rendere la rappresentazione il più facilmente comprensibile agli altri.

La semplicità dei materiali, la loro natura giocosa e quotidiana, favorisce un atteggiamento positivo da parte dei ragazzi. I concetti scientifici sono compresi spontaneamente e autonomamente, già durante la fase di lavoro, con diversi momenti di scoperta e soddisfazione: "abbiamo letteralmente visto l'idea delle immagini come portatrici di dati nascere nella mente dei bambini, mentre sperimentavano i limiti del mezzo e cercavano di superarli" (Varano e Ricciardi, 2018). Questa autonomia nell'apprendimento è sicuramente uno dei maggiori punti di forza del laboratorio, per cui tutti i concetti chiave vengono spontaneamente individuati durante il lavoro con i chiodini ed evidenziati durante la fase guidata di *debriefing*.

Il coinvolgimento e la qualità del lavoro di gruppo si sono mostrati sempre eccellenti e le diverse competenze sono state messe in gioco in modo molto efficace dai ragazzi coinvolti.

In particolare, è stato osservato più volte come la suddivisione dei ruoli (tra chi deve riempire la tavoletta forata con i chiodini, chi deve disegnare le immagini per Pictionary e chi deve indovinarle per ottenere nuovi chiodini) favorisca l'autogestione dei partecipanti, che si scambiano autonomamente i compiti durante i vari turni.

Inoltre, alcuni giocatori, anche dopo aver raggiunto lo scopo di far indovinare l'immagine ricostruita con i chiodini ai compagni, hanno voluto continuare l'attività, per ricostruire com-

pletamente la figura. Questo comportamento è indice del coinvolgimento ottenuto attraverso l'utilizzo dei chiodini, già noto dalla sua grande diffusione; in termini legati alla ricerca scientifica, questo atteggiamento è stato posto dai facilitatori in analogia con quello dei ricercatori che, in diverse fasi del loro lavoro di ricerca, possono doversi accontentare di un risultato di massima in termini di completezza e risoluzione dell'immagine con osservazioni a campione e/o che fanno uso di telescopi a bassa risoluzione (utili a conoscere la morfologia estesa e indicativa della sorgente) oppure aver bisogno di immagini complete ad altissima risoluzione, per cui sono necessarie maggiori risorse in termini di lavoro e di tempo.

Come punto critico va sottolineato che lo stato di *flow* che si genera riguarda anche il gioco del Pictionary, la cui validità già nota è stata la motivazione che ha portato al suo utilizzo.

In alcuni casi si è riscontrato uno stato di noia, dovuta alla perdita di vista dell'obiettivo finale del gioco, e/o frustrazione, dovuta alla sensazione di non avere risorse per portarlo a termine (in genere perché gli addetti ai chiodini hanno già fatto buona parte del riempimento ma non riescono a far indovinare l'immagine ai compagni).

Le autrici hanno inoltre suggerito la possibilità di usare l'attività come complemento alla didattica dell'arte per spiegare, ad esempio, il puntinismo o altre forme di decostruzione della realtà. Infine si è aperta la possibilità di trasformare il laboratorio in un gioco da tavolo autonomo da distribuire con il marchio INAF, tramite la collaborazione con il *GAME Science Research Centre* di Lucca. Di questo si parlerà nel dettaglio nel capitolo successivo.

Capitolo 6

Sviluppi futuri

6.1 Il GAME Science Research Center

Il *GAME Science Research Center*¹ (GAME.SCI RE.CENTER) è un centro di ricerca interuniversitario fondato nel 2019 da Scuola IMT Alti Studi di Lucca e Università di Modena-Reggio Emilia (Unimore) con lo scopo di promuovere, supportare e diffondere la ricerca scientifica nel campo della scienza dei giochi (*game science*). Questo settore, anche se non definitivamente delineato, comprende da una parte la teoria dei giochi, dall'altra interessanti applicazioni ed estensioni come le attività di Terza Missione e di *Education*, cioè quelle pratiche pedagogiche che implementano in ambito didattico numerosi schemi e meccanismi tipici del gioco (dal Verbale del Consiglio di Amministrazione dell'INAF, dell'ottobre 2019, in cui si è discussa l'adesione di INAF al Centro).

Gli obiettivi principali del centro sono quattro.

Networking. Dare visibilità e coerenza alle attività di ricerca nazionali e internazionali nell'area del *game science*, facilitando le connessioni tra i ricercatori coinvolti e promuovendo lo scambio di idee in una prospettiva multidisciplinare.

Game Science per la società. Promuovere e sostenere le attività legate alla Terza Missione universitaria (*public engagement*, scienza dei cittadini, costruzione del valore della conoscenza, divulgazione) che prevedono l'impiego del "gioco".

Trasferimento della conoscenza. Creare un ponte con i settori produttivi della società che usano i giochi come cornici, come mezzi di produzione o come prodotti, con particolare attenzione all'intrattenimento, agli strumenti educativi, al pensiero strategico e alla soddisfazione professionale.

Certificazione. Sviluppare procedure "standard" per la valutazione di sistemi e di regole rilevanti per le attività legate al gioco (per *public engagement*, scopi educativi o cambiamento sociale) allo scopo di formare una base di conoscenza adeguata che può essere utilizzata per la definizione di protocolli di certificazione di qualità dedicati.

¹gamescience.imtlucca.it/game-sci-re-center

6.2 Progettazione del gioco da tavolo

Lo statuto del *GAME Science Research Center*, prevede la possibilità che anche gli Enti di ricerca possano associarsi, senza alcun onere. L'INAF ha quindi stretto una collaborazione con il Centro, nella quale si inserisce il progetto di rendere il gioco "Viva la risoluzione!" un gioco da tavolo, per cui è stato proposto il nuovo titolo "Pixel". Lo scopo è quello di mantenere l'idea originale di costruzione dell'immagine con i pixel di diversa dimensione, inserendola in un contesto che sia più simile a un gioco che a un'attività ludiforme con scopi didattici, quale è adesso.

In questa sezione si descrive la prima fase di definizione delle linee guida, emerse nei diversi colloqui tra le autrici del gioco e il *game designer* del *GAME Science Research Center* Andrea Ligabue.

La prima problematica evidenziata nel capitolo 5 riguarda i materiali. Al momento l'attività si basa sull'utilizzo dei chiodini Quercetti[®], ma la volontà è di slegarsi da un formato proprietario, favorendo invece l'utilizzo di materiale a basso costo e di facile reperibilità. La proposta è quindi quella di sostituire i chiodini con delle tessere magnetiche quadrate di diverso colore, che possono essere costruite autonomamente utilizzando dei fogli magnetici. Il formato quadrato, rispetto ai chiodini tondi, favorisce l'analogia con la forma dei pixel disponibili nella maggior parte dei dispositivi usati in astronomia per la costruzione di immagini digitali.

Per quanto riguarda il target d'età, si vuole creare un gioco che sia scalabile a diverse fasce. Per fare ciò è necessario tenere conto di diversi aspetti. La prima questione riguarda gli obiettivi: il pensiero astratto inizia a svilupparsi intorno agli 8 anni e raggiunge la piena maturazione intorno ai 12. Per questo motivo, per i più piccoli, è necessario porre obiettivi concreti e a breve termine perché la pianificazione di mosse che portino al raggiungimento di un obiettivo più a lungo termine può risultare difficile per la fascia d'età più basse. Per giocatori più grandi invece è preferibile che gli obiettivi richiedano un certo grado di pianificazione. Questo può essere ottenuto facendo in modo che, per giocatori fino agli 8 anni, la struttura del gioco sia divisa in turni autoconclusivi, alla fine dei quali i giocatori ottengono risultati immediati e concreti.

In secondo luogo vi è l'utilizzo di elementi di casualità e fortuna: una certa dose è importante per i più piccoli, perché accettano l'intervento del caso (non distinguono se la vittoria o la sconfitta è merito loro o della casualità); viceversa è importante dosarli quando si ha a che fare con giocatori più adulti, per i quali l'intervento del caso è peggio tollerato e può condurre più facilmente ad uno stato di noia e ad uscire dal *flow*. In ogni caso, un certo grado di casualità serve a contenere la frustrazione e ad accettare meglio la sconfitta.

Infine, un pensiero va fatto sull'ambientazione. Già nel capitolo 5 si è sottolineata la mancanza di una narrazione o tema, che invece sono spesso descritti come elementi imprescindibili di un gioco, ma deve essere anch'essa dosata rispetto all'età. La presenza di una narrazione è fondamentale per i più piccoli, meglio se come il racconto di un'avventura di cui sono protagonisti; viceversa, con l'avanzare dell'età, la presenza di un'ambientazione troppo fantastica può demotivare e quindi è preferibile un tema più astratto o alternativamente più reale e applicato all'astrofisica (ad esempio si potrebbe proporre di ricostruire un'immagine astrofisica reale scegliendo la risoluzione più adatta per le diverse aree, in funzione delle risorse disponibili, quali il

tempo e i pixel). Particolare attenzione deve essere data ai pregiudizi derivanti dall'ambientazione che potrebbero portare all'involontaria esclusione di una particolare tipologia di pubblico. La distinzione d'età, a livello pratico, può essere fatta stabilendo un'unica meccanica di gioco e declinandola in varie versioni: una possibile realizzazione potrebbe essere quella di avere due plance con diverse regole e diversa ambientazione, da usare alternativamente per diverse fasce d'età.

Dalle varie sperimentazioni è inoltre emersa una problematica legata alla mancanza di una cadenza che permette di definire una strategia di lavoro per raggiungere gli obiettivi del gioco: per ovviare a questo problema si è pensato di strutturare l'attività in diverse fasi, una di selezione e raccolta delle risorse e una di riempimento della plancia con le tessere magnetiche.

In questo contesto, il tempo, insieme ai pixel, rappresenterebbe una risorsa, che può essere gestita in due modi, ognuno dei quali comporta lo sviluppo di competenze diverse. Nel primo caso il tempo entra nel gioco in maniera reale, ovvero si ha un numero limitato di minuti per portare a termine le proprie mosse; questa modalità permette di sviluppare l'intuito, la capacità di prendere decisioni in poco tempo e di intravedere presto la soluzione tra le diverse possibilità. Nel secondo caso, il tempo si inserisce in maniera figurata, ovvero sotto la forma di un numero limitato di azioni, all'interno delle quali non vi è un limite di tempo.

La pianificazione della tempistica di progettazione e realizzazione del gioco Pixel prevede che una prima versione del gioco sia prodotta, in forma di prototipo, entro la fine del 2020, per poi passare alle diverse fasi di sperimentazione con il nuovo anno.

Capitolo 7

Conclusione

In questa tesi si è analizzato, da un punto di vista sia scientifico sia pedagogico, il gioco “Viva la risoluzione!”, un esempio di attività ludica che utilizza il gioco come strumento per l’apprendimento. Grazie all’utilizzo dei chiodini Quercetti[®], i partecipanti sperimentano alcuni concetti base sulla natura delle immagini digitali, come la risoluzione cromatica e spaziale, il campionamento, la quantità e il flusso dei dati, il tempo di lavorazione delle immagini e capiscono l’importanza della risoluzione necessaria nel processo di produzione delle immagini in astrofisica, in cui la scelta dello strumento e la richiesta tempo sono cruciali per la buona riuscita di uno studio.

Come discusso nel capitolo 1, il concetto di risoluzione rappresenta un tema tanto importante quanto complesso nell’ambito dell’astrofisica, ma allo stesso tempo appartiene all’esperienza quotidiana di ognuno; sono state queste caratteristiche che hanno spinto le autrici a sceglierla come obiettivo didattico.

Le tipologie di risoluzione di cui tener conto nella ricerca astrofisica sono diverse e ognuna porta con sé dei vantaggi e degli svantaggi. Nella fase di costruzione o di selezione di uno strumento è necessario fare un’analisi dei costi e dei benefici in funzione dell’obiettivo scientifico.

Dal punto di vista pedagogico, l’attività si basa sulla disciplina del *game-based learning*, descritta nel capitolo 2. All’interno del “cerchio magico” che tipicamente si crea durante il gioco, i giocatori sono liberi di sperimentare senza paura dell’errore, accogliendone e sfruttandone l’ottimo valore educativo. Altro elemento fondamentale è il raggiungimento dello stato di *flow* che è garantito dalla mancanza di un obiettivo dichiaratamente didattico: ai giocatori non viene spiegato il perché stanno giocando; la consapevolezza di aver appreso il concetto di risoluzione emerge solo nella fase finale di *debriefing*.

Il gioco è stato sperimentato in diversi contesti, descritti nel capitolo 4. In tutte le occasioni vi è stato un ottimo *feedback* da parte dei partecipanti, anche di età diverse, che hanno giocato con grande interesse e coinvolgimento.

Grazie alla scheda di valutazione introdotta e discussa nel capitolo 3 sono emersi i punti di forza e le debolezze dell’attività. Difatti vi sono alcune caratteristiche che possono ancora essere

migliorate per rendere il gioco più interessante, come l'introduzione di un ambientazione o di un obiettivo più attraente.

Analogamente, nello stesso capitolo, sono state descritte e analizzate, tramite l'utilizzo della scheda citata sopra, diverse attività ludiche sviluppate in ambito INAF.

In seguito a queste considerazioni, l'INAF ha iniziato una collaborazione con il *GAME Science Research Center* per rendere l'attività un gioco da tavolo autonomo. Le prime fasi di ideazione e progettazione sono state descritte nel capitolo 6.

Bibliografia

- Acharya, B., Actis, M., Aghajani, T., Agnetta, G., Aguilar, J., Aharonian, F., Ajello, M., Akhperjanian, A., Alcubierre, M., Aleksic, J. Et al. (2013). Introducing the CTA concept. *Astroparticle Physics*, *43*, 3–18.
- Akiyama, K., Alberdi, A., Alef, W., Asada, K., Azulay, R., Baczko, A.-K., Ball, D., Balokovic, M., Barrett, J., Bintley, D. Et al. (2019). First M87 event horizon telescope results. II. Array and instrumentation. *The Astrophysical Journal Letters*, *875*(1), L2.
- Akrami, Y., Arroja, F., Ashdown, M., Aumont, J., Baccigalupi, C., Ballardini, M., Banday, A., Barreiro, R., Bartolo, N., Basak, S. Et al. (2019). Planck 2018 results. I. Overview and the cosmological legacy of Planck. *Astronomy & Astrophysics*.
- Angiolino, A. & Sidoti, B. (2010). Dizionario dei giochi. *Bologna, Zanichelli*.
- APEnet. (2015). <http://www.apenetwork.it/it>
- Bartle, R. (1996). Hearts, clubs, diamonds, spades: Players who suit MUDs. *Journal of MUD research*, *1*(1), 19.
- Bertolo, M. & Mariani, I. (2014). *Game Design. Gioco e giocare tra teoria e progetto*. Pearson Italia SpA.
- Boccatto, C. (2018). *Immagini dall'Universo*. <https://edu.inaf.it/news/eventi/immagini-dalluniverso/>
- Borga, D. C. (2018). *A Genova il festival del cambiamento*. <https://www.media.inaf.it/2018/10/22/genova-festival-scienza/>
- Broeg, C., Fortier, A., Ehrenreich, D., Alibert, Y., Baumjohann, W., Benz, W., Deleuil, M., Gillon, M., Ivanov, A., Liseau, R. & et al. (2013). CHEOPS: A transit photometry mission for ESA's small mission programme (R. Saglia, Cur.). *EPJ Web of Conferences*, *47*, 03005.
- Bruner, J. (1982). *Verso una teoria dell'istruzione*. Roma, Armando.
- Bruner, J., Jolly, A. & Sylva, K. (1981). *Il gioco* (Vol. I-IV). Roma, Armando.
- Caillois, R. (2001). *Man, Play, and Games*. University of Illinois Press.
- CHEOPS Study Team. (2013). CHEOPS Definition Study Report (Red Book).
- Cherenkov, P. A. (1937). Visible Radiation Produced by Electrons Moving in a Medium with Velocities Exceeding that of Light. *Physical Review Journal*, *52*, 378–379. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.52.378>
- Chou, Y.-K. (2015). Actionable gamification. *Beyond points, badges, and leaderboards*.

- Ciroti, S. & Cracco, V. *Dispense di laboratorio di astronomia*. Università di Padova. Dispense del corso "Laboratorio di Astronomia". 2014.
- Csikszentmihalyi, M., Abuhamdeh, S. & Nakamura, J. (2014). *Flow and the foundations of positive psychology*. Springer.
- CTA. (2020a). *Cherenkov Telescope Array Observatory - photos*. <https://www.flickr.com/photos/cta-observatory/>
- CTA. (2020b). *CTA's expected baseline performance*. <http://www.cta-observatory.org/science/cta-performance/>
- CTA. (2020c). *How CTA will detect Cherenkov light*. <http://www.cta-observatory.org/about/how-cta-works/>
- Deci, E. L. & Ryan, R. M. (2012). Self-determination theory, In *Handbook of theories of social psychology*. Sage Publications Ltd.
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R. & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: defining 'gamification', In *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments*.
- Dewey, J. (1910). *How we think*. Lexington, Mass: D.C. Heath.
- Dewey, J. (1916). *Democracy and Education: An Introduction to the Philosophy of Education*. New York: Macmillan.
- EduINAF. (2020). *Cosmo Explorers. L'esplorazione spaziale e i videogiochi al servizio della scuola*. <https://edu.inaf.it/cosmo-explorers/>
- EHT. (2020a). *About Event Horizon Telescope*. <https://eventhorizontelescope.org/about>
- EHT. (2020b). *Press Release (April 10, 2019): Astronomers Capture First Image of a Black Hole*. <https://eventhorizontelescope.org/press-release-april-10-2019-astronomers-capture-first-image-black-hole>
- Einstein, A. (1905). The photoelectric effect. *Annals of Physics*, 17(132), 4.
- ESA. (2013). *Planck reveals an almost perfect Universe*. http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Planck/Planck_reveals_an_almost_perfect_Universe
- ESA. (2020a). *Cheops*. http://www.esa.int/Science_Exploration/Space_Science/Cheops
- ESA. (2020b). *The Hubble Deep Field*. https://www.spacetelescope.org/science/deep_fields/
- ESA. (2020c). *A perfect blur - First image by exoplanet watcher CHEOPS*. <https://www.sci.esa.int/web/cheops/-/a-perfect-blur-first-image-by-exoplanet-watcher-cheops>
- EVN. (2020). *The European VLBI Network*. <https://www.evlbi.org>
- Fantini, P. (2013). *Verso una teoria locale dell'appropriazione nell'insegnamento/apprendimento della fisica* (Tesi di dottorato). Università degli Studi di Bergamo, Scuola di dottorato in Antropologia ed Epistemologia della Complessità.
- Filippelli, G. (2019). *Gamification: Il progetto dei Cosmo Explorers*. <https://edu.inaf.it/approfondimenti/insegnare-lastronomia/gamification-il-progetto-dei-cosmo-explorers/>
- Franceschini, A. *Theoretical Astrophysics and Cosmology. Master Degree in Astronomy and Erasmus-Mundus*. Università di Padova. Dispense del corso "Astrofisica teorica modulo B". 2019.
- Fried, D. L. (1978). Probability of getting a lucky short-exposure image through turbulence. *JOSA*, 68(12), 1651–1658.

- Futyan, D., Fortier, A., Beck, M., Ehrenreich, D., Bekkelien, A., Benz, W., Billot, N., Bourrier, V., Broeg, C., Collier Cameron, A., Deline, A., Kuntzer, T., Lendl, M., Queloz, D., Rohlfs, R., Simon, A. E. & Wildi, F. (2020). Expected performances of the Characterising Exoplanet Satellite (CHEOPS) - II. The CHEOPS simulator. *Astronomy & Astrophysics*, 635, A23.
- Gandini, L. (1993). Fundamentals of the Reggio Emilia approach to early childhood education. *Young children*, 49.
- Gee, J. P. (2013). *Come un videogioco: insegnare e apprendere nella scuola digitale*. Raffaello Cortina.
- Heckman, T. M. & Best, P. N. (2014). The Coevolution of Galaxies and Supermassive Black Holes: Insights from Surveys of the Contemporary Universe. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 52(1), 589–660.
- Huizinga, J. (1949). *Homo ludens* (Vol. 3). Taylor & Francis.
- INAF. (2019). *Piano triennale della performance 2019-2021*. <http://www.inaf.it/it/amministrazione-trasparente/performance/piano-della-performance/performance-2019/piano-performance-2019-2021/view>
- Landolt, A. U. (1992). UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator. *The Astronomical Journal*, 104, 340–371.
- Leonardi, L. (2019). *Ozobot Evo: la robotica educativa per gli esopianeti*. <https://edu.inaf.it/approfondimenti/insegnare-lastronomia/ozobot-evo-la-robotica-educativa-per-gli-esopianeti/>
- Liao, Y. (2018). *Practical Electron Microscopy and Database*. www.globalsino.com/EM/.
- Ligabue, A. (2020). *Didattica ludica. Competenze in gioco*. Erickson.
- Mazzoldi, P., Nigro, M. & Voci, C. (2002). *Elementi di fisica: elettromagnetismo, onde*. EdiSES.
- Montessori, M. (1912). *The Montessori Method* (A. E. by George, Trad.). New York: Frederick A. Stokes Company.
- Montessori, M. (1952). *La mente del bambino: mente assorbente*. Milano, Garzanti.
- Moyles, J. (2010). *The Excellence of play*. Berkshire: Open University Press.
- NASA. (2020). *NASA Exoplanet Archive*. <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu>
- Nesti, R. (2017). *Game-Based Learning: gioco e progettazione ludica in educazione*. ETS.
- Nicholson, S. (2014). Exploring the endgame of gamification, In *Rethinking Gamification*. Meson Press.
- Niola, F. (2018a). *NEMES: la magia della scienza a Padova*. <https://edu.inaf.it/news/eventi/report/nemes-la-magia-della-scienza-a-padova/>
- Niola, F. (2018b). *NEMES: la magia della scienza a Padova*. <https://edu.inaf.it/news/eventi/report/nemes-la-magia-della-scienza-a-padova/>
- Norman, D. A. (1991). Cognitive artifacts. *Designing interaction: Psychology at the human-computer interface*, 1(1), 17–38.
- Ortolani, S. *Complementi di Astronomia*. Università di Padova. Dispense del corso “Astronomia 2 - modulo A”. 2017.
- Papert, S. (1993). *The children’s machine: Rethinking school in the age of the computer*. New York: HarperCollins.

- Penzias, A. A. & Wilson, R. W. (1965). A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *Astrophysical Journal*, 142, 419–421. <https://doi.org/10.1086/148307>
- Perrotta, C., Featherstone, G., Aston, H. & Houghton, E. (2013). Game-based learning: Latest evidence and future directions. Slough: NFER.
- Piaget, J. (1957). *The construction of reality in the child*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Piaget, J. (1972). *La formazione del simbolo nel bambino: imitazione, gioco e sogno, immagine e rappresentazione*. La Nuova Italia.
- Pink, D. H. (2009). *Drive: The Surprising Truth About Motivating Others*. New York: Riverhead Books, Penguin Group (USA).
- Pinkham, A. M., Kaefer, T. & Neuman, S. B. (2012). *Knowledge Development in Early Childhood*. New York: Guilford Press.
- Qian, M. & Clark, K. R. (2016). Game-based Learning and 21st century skills. A review of recent research. *Computers in Human Behavior*, 63.
- Rayleigh. (1874). On the manufacture and theory of diffraction-gratings. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 47(310), 81–93.
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through Projects, Passion, Peers, and Play*. MIT press.
- Ricciardi, S., Varano, S. & Zanazzi, A. (2019). Talkin' about the resolution, In *New perspectives in Science Education. Conference Proceedings*.
- Ricciardi, S. (2020). *Sporchiamoci le mani*. <https://www.oas.inaf.it/it/pubblico/laboratori-handson/>
- Ricciardi, S., Villa, F. & Rini, S. (2018a). Il tinkering va al museo. *Scuola Officina*.
- Ricciardi, S., Villa, F. & Rini, S. (2018b). Tinkering with the Universe: a primary school project, In *Communicating Astronomy with the Public Conference 2018 - Communicating Astronomy in Today's World: Purpose & Methods*.
- Ricciardi, S., Villa, F., Rini, S., Boni, M., Venturi, S., Bugini, A. & Masini, M. (2018). Officina Degli Errori: A tinkering experience in an informal environment, In *New Perspectives in Science Education. Conference Proceedings*.
- Sandrelli, S., Cavallotti, F., Romaniello, S. & Zaino, A. (2018). The Case of the Stolen Rings: an Astronomical Live Role-Playing Game for Kids, In *Communicating Astronomy with the Public Conference 2018 - Communicating Astronomy in Today's World: Purpose & Methods*.
- Sandri, M. (2020). *Coding*. <https://www.oas.inaf.it/it/pubblico/scuole/didattica-innovativa/coding/>
- SKA. (2020). *Square Kilometer Array*. <https://www.skatelescope.org>
- Soletta, P. (2019). “*Inspiring Stars*” fa tappa a Cagliari. <https://www.media.inaf.it/2019/10/08/inspiring-stars-cagliari/>
- Stager, G. (2006). *An investigation of constructionism in the Maine Youth Center* (Tesi di dottorato). University of Melbourne, Department of Education.
- STScI. (2020a). *Hubble Space Telescope*. <https://www.stsci.edu/hst>
- STScI. (2020b). *Wide Field and Planetary Camera 2*. <https://www.stsci.edu/hst/instrumentation/legacy/wfpc2>
- Suits, B. (1978). *The Grasshopper: games, life and utopia*. Broadview Press.

- Varano, S. & Ricciardi, S. (2018). Representing the Universe: a Hands on Challenge, In *Communicating Astronomy with the Public Conference 2018 - Communicating Astronomy in Today's World: Purpose & Methods*.
- Viotto, V. *Adaptive Optics Bites*. Extracted from: "From 8(m) to 8(mm): wavefront sensing from cosmological to human scales". Università di Padova. Dispense del corso "Laboratorio di Astrofisica 1". 2012.
- Visalberghi, A. (1958). *Esperienza e valutazione*. Taylor.
- Vygotskii, L. (1987). *Il processo cognitivo*. Torino, Bollati Boringhieri.
- Wikipedia. (2020a). *Hubble Deep Field*. https://en.wikipedia.org/wiki/Hubble_Deep_Field
- Wikipedia. (2020b). *Wide Field and Planetary Camera 2*.
- Wilkinson, C. & Weitkamp, E. (2016). *Creative research communication: Theory and practice*. Manchester University Press.

Appendice A

Scheda ludica per l'analisi dei giochi

A.1 Scheda valutativa di Romina Nesti

Scheda valutativa ideata da Romina Nesti basandosi sul lavoro di pedagogisti e *game designer* descritta nel suo libro “Game-based learning. Gioco e progettazione ludica in educazione”.

Nome	Descrizione
Meccaniche	
Scopo del gioco	Lo scopo del gioco determina in parte anche la tipologia ludica di appartenenza e la tipologia di relazioni che sarà possibile osservare.
Regole	Da queste “dipende” il gioco.
Numero giocatori	Elemento importante per scegliere se in un dato momento e in un determinato contesto posso giocare quel gioco.
Età consigliata	Elemento che determina se un gioco è adatto per il “contesto”.
Ambiente	Fisico: le dimensioni spaziali necessarie per giocare e tipologie di luogo (aperto/chiuso); digitale: luogo virtuale dove avviene l'azione.
Tempo (durata)	Sapere quanto dura un gioco permette di inserirlo nei momenti più adeguati rispetto agli obiettivi.
Punteggi	Descrivere le modalità, se sono presenti, di acquisizione dei punteggi che conducono alla vittoria.
Oggetti	Nell'ambiente fisico significa conoscere gli oggetti necessari per giocare a un determinato gioco. Gli oggetti nel digital game sono gli strumenti tecnologici necessari per giocare.
Ruoli	Quanti e quali ruoli sono presenti nel gioco. Quali identità il soggetto deve impersonare.

Dinamiche	
Relazioni	Quale tipologia di interazione e di gioco è richiesta (collaborativa, cooperativa, ambivalente).
Profilo dei giocatori	Analisi del contesto, delle competenze e delle abilità, del contesto socio-culturale di appartenenza, ma anche osservazione del comportamento dei giocatori.
Estetiche	
Emozioni	Quali emozioni il gioco può suscitare.
Motivazioni	Quale motivazione esprimono i giocatori giocando.
Storia	
Competenze, conoscenze	Quali competenza, conoscenze e abilità il gioco può aiutare a sviluppare.

A.2 Parametri valutativi di Andrea Ligabue

Parametri valutativi riportati da Andrea Ligabue nel suo libro “Didattica ludica. Competenze in gioco”:

- **durata, età, numero di giocatori e complessità:** all'interno di questi parametri bisogna tener conto anche dell'abitudine al gioco dei partecipanti. Maggiore è la frequenza con cui si propongono giochi e maggiore sarà la capacità di ascoltare, apprendere regolamenti, di capirli, di rimanere concentrati in un'attività ludica continuativa;
- **materiali, spazio e tempo di allestimento:** i tempi di allestimento e disallestimento vanno considerati all'interno della durata dell'attività;
- **tipo di interazione:** essa può essere di tipo distruttivo o collaborativo e la dinamica del gioco può spingere ad alleanze, temporanee o definitive tra i giocatori o scoraggiarle;
- **ambientazione, tema e messaggi contenuti nel gioco:** in linea di massima possiamo individuare tre tipologie di gioco in funzione del legame che hanno con un particolare tema o ambientazione: giochi astratti, in cui non è presente o comunque evidente nessun tema specifico; giochi in cui il tema è presente solo a livello estetico e superficiale; giochi in cui la presenza di un certo tema o ambientazione è evidente anche nelle meccaniche. Il tema e l'ambientazione possono fornire spunti di discussione, stimolare la curiosità dei giocatori o essere veicolo di conoscenze tematiche.
- **fortuna e casualità:** molti giochi presentano elementi casuali, che ne garantiscono ri-giocabilità e varietà, senza che il risultato finale di una partita si possa dire determinato dalla fortuna, mentre in altri (come il gioco dell'oca) l'esito di una partita è determinato esclusivamente dai tiri di dado e i giocatori non possono compiere nessun tipo di scelta.

A queste caratteristiche l'autore aggiunge tre grandi aree di competenza che il gioco può stimolare:

- **competenze etiche** che hanno a che fare con i comportamenti, come il rispetto per gli altri e per le regole, l'imparare ad affrontare la vittoria e la sconfitta, l'educazione tra pari dei giocatori, lo sviluppo di autonomia decisionale, nella gestione di sé in gioco, delle relazioni;
- **competenze sociali e relazionali**, che interessano la sfera delle relazioni, del gruppo, dell'interazione con gli altri partecipanti;
- **competenze cognitive**, che hanno a che fare in specifico con le caratteristiche del nostro cervello e del nostro modo di ragionare su cui si costruiscono gli apprendimenti. Esse sono la *working memory* (memoria di lavoro, serve per mantenere in memoria e manipolare le informazioni), il controllo dell'inibizione (la capacità di controllare la propria attenzione e comportamento), la flessibilità cognitiva (la capacità di modificare il proprio modo di agire sulla base del cambiamento delle condizioni del contesto), il *problem solving*, la creatività e la metacognizione (ovvero l'autoriflessività, che significa sapersi distaccare da ciò che si sta facendo per poterlo analizzare lucidamente ed eventualmente reindirizzare le proprie azioni).

Appendice B

Scheda tecnica

VIVA LA RISOLUZIONE!

Giocare con chiodini di diverse dimensioni per capire le proprietà delle immagini digitali

Autori	Stefania Varano (INAF - Istituto di Radioastronomia) Sara Ricciardi (INAF - Osservatorio di Astrofisica e Scienza dello Spazio)
Breve descrizione	Il laboratorio prevede l'uso dei chiodini Quercetti per far sperimentare a bambini e ragazzi il concetto di risoluzione delle immagini digitali. Disponendo un'immagine sotto la tavoletta forata e inserendo i chiodini del colore corrispondente, si cerca di ricostruire l'immagine originale. Si ottiene in questo modo un campionamento dell'immagine a diverse risoluzioni, sulla base della dimensione dei chiodini utilizzati.
Parole chiave	Risoluzione, pixel, immagini digitali, flusso di dati
Valore pedagogico e metodologie di apprendimento	Apprendimento cooperativo, apprendimento attraverso la scoperta e l'osservazione, <i>problem-solving</i> , affermazione di sé e riconoscimento dell'altro, espressione creativa, apprendimento guidato tramite gioco, <i>microlearning</i> .
Età	8 - 10 10 - 12
Livello educativo	Primary Middle school Informal
Durata	2,5 ore in classe + mezzora di preparazione a laboratorio (il laboratorio necessita anche di mezza/una giornata di preparazione dei materiali una tantum)
Materiali	Fornitura di chiodini Quercetti, così divisi: 5 Fantacolor Modular 6 (cod. 0884) 7 Pixel Refill diametro 15 mm (cod. 2514)

	<p>7 pixel refill diametro 10 mm (cod. 2512) 7 pixel refill diametro 5 mm (cod. 2511) FACOLTATIVO. <i>Per una più facile sistemazione dei chiodini:</i> contenitori o valigette con scomparti tipo quelli che contengono gioielli o piccoli attrezzi per ordinare i chiodini di diversi colori e dimensioni. <i>Per un più veloce e indipendente passaggio alla successiva immagine da indovinare, limitando il problema dello “spoiler”:</i> raccoglitori A3 ad anelli in cui inserire le immagini (coperte da cartoncini), con le tavole per chiodini fissate agli anelli. <i>Per una più facile e veloce procedura nel gioco del “pictionary”:</i> palline (circa 40-50) di plastica vuote (stile lotteria) di colore diverso e contenitori (almeno 4, uno per gruppo, stile insalatiera) da cui pescare.</p>
Costo	<p>circa 180 Euro per i chiodini + 20 per i materiali ausiliari = TOT 200 Euro circa (grazie ad una sponsorizzazione Quercetti: scrivere agli autori per avere il codice sconto). L'acquisto è da considerarsi una-tantum, come fornitura scolastica per la realizzazione del laboratorio in diverse classi.</p>
Numero di partecipanti	<p>25 (una classe, in gruppi di 5-6) 1 (nella variante leggera per lavoro individuale) Il laboratorio prevede un lavoro di gruppo, all'interno del quale si effettua una divisione di ruoli tra chi inserisce i chiodini nella tavoletta cercando di riprodurre l'immagine (indicativamente 2 persone) e chi deve cercare di indovinarla e di superare delle prove (tipo Pictionary) per guadagnare ulteriori chiodini (indicativamente 2-4 persone). Si suggerisce un massimo di 4 gruppi da massimo 6 persone. È possibile svolgere il laboratorio in forma semplificata anche individualmente.</p>
Numero di facilitatori	<p>1 ogni 2 gruppi. 2-3 operatori INAF persone per un'intera classe <i>NOTA: Stiamo lavorando ad una versione semplificata che preveda un numero minore di facilitatori e che l'insegnante possa far svolgere in classe anche senza supporto.</i></p>
Prerequisiti	<p>Il laboratorio non necessita di conoscenze pregresse o di un lavoro precedente in classe. Può essere inserito in un contesto di lavoro più ampio (vedi anche i laboratori “Ti pixelizzo!” e “Che falsi questi colori!”, degli stessi autori) oppure svolto come attività a spot.</p>
Obiettivi disciplinari (conoscenze)	<p>Introdurre concetti base sulla natura delle immagini digitali, come: risoluzione spaziale, risoluzione cromatica, campionamento, quantità e flusso di dati.</p>

	<p>Mostrare che le immagini sono mezzi di rappresentazione, vincolati e limitati dalle caratteristiche dello strumento usato per crearle (risoluzione, capacità di memoria, ecc.)</p> <p>Mostrare l'importanza della risoluzione necessaria per realizzare un'immagine nel caso astrofisico, in cui la scelta dello strumento e la richiesta tempo sono cruciali per la buona riuscita di uno studio.</p>
Obiettivi educativi (competenze)	<p>Incoraggiare un approccio informale, pratico, giocoso e stimolante per introdurre i concetti di base della costruzione di immagini digitali in ambito scientifico (e astronomico, in particolare).</p> <p>Creare un ambiente inclusivo e partecipativo, lasciando molto spazio all'intuizione personale e alla scoperta autonoma.</p> <p>Prevenire le barriere di alfabetizzazione tecnologica e incoraggiare l'impegno di tutti i bambini (senza distinzione di genere o bisogni educativi) grazie all'uso di giocattoli e attrezzature decisamente low-tech.</p>

DESCRIZIONE DETTAGLIATA DELL'ATTIVITÀ

Preparazione dell'attività

Prima di entrare in classe o comunque in assenza dei ragazzi.

1. Dividere tutti i chiodini per colore e dimensione (purtroppo non esistono sul mercato forniture già divise per colore). Si possono usare gli stessi contenitori per chiodini forniti dalla Quercetti oppure delle "valigette" tipo quelle che contengono gioielli o piccoli attrezzi per ordinare i chiodini di diversi colori e dimensioni.

Tempo stimato: 4 ore una tantum

2. Preparare i foglietti in cui sono stampati (o scritti a mano) i soggetti da disegnare e far indovinare.

Suggeriamo una possibile lista: (facili) *saturno, calendario, computer, Terra, stagioni, telescopio, cometa, giorno, notte, lente, stella, luna*; (medie) *equatore, buco nero, satellite, meteorite, sistema solare, osservatorio, costellazione, via lattea, eclisse, nettuno, atmosfera, orizzonte*; (difficili) *asteroide, galassia, big bang, circolo polare, coordinate, gravità, ingrandimento, macchie solari, maree, pianetini, rotazione, orbita*. La divisione per grado di difficoltà serve sia ad avere impegno sempre crescente nel gioco, sia per avere degli eventuali bonus quando vengono indovinate le parole medie e difficili.

3. Preparare i sacchetti o scatoline (uno per gruppo) contenenti i foglietti con sopra riportati i soggetti da disegnare. I nome delle cose da disegnare non devono essere visibili dall'esterno. In ogni scatola o sacchetto disporre equamente di soggetti facili, medi e difficili. Per rendere più agevole, autonoma e veloce questa parte del gioco e anche per chiarire la categoria del soggetto da disegnare (se facile, medio o difficile) un modo può essere quello di inserire i foglietti dentro palline di plastica vuote (stile lotteria) di colore diverso per

le diverse difficoltà e inserirle dentro un contenitore (insalatiera) da cui pescare. *Tempo stimato: 1 ora una tantum*

4. Fare le stampe A3 (per lavoro di gruppo) o A5 (per lavoro individuale) delle immagini da riprodurre con i chiodini. Sugeriamo di scegliere immagini con colori pastello (cartoni animati o disegni), e facilmente identificabili, anche se non troppo legati al mercato attuale dei cartoni animati. Noi abbiamo sperimentato la validità di soggetti come Bart, Lisa Simpson e Marge Simpson, Superman, Spiderman, Paperino, Paperone, Pluto, la Sirenetta, ma anche una casetta, una navicella, un razzo (delle immagini usate da noi e libere da Copyright trovate i file in allegato) ecc.

Le immagini potranno essere inserite in buste trasparenti e in appositi raccoglitori A3, in modo da agevolare lo svolgimento del laboratorio.

Tempo richiesto: mezz'ora se si dispone dei template, 2 ore se si devono cercare nuove immagini. Una tantum.

5. Preparare i “kit di partenza” di chiodini grandi per la rappresentazione delle immagini. A secondo delle immagini che si decide di far rappresentare ai ragazzi, i kit si preparano mettendo in un sacchetto 15 chiodini grandi del colore più presente nell'immagine (es. rosso e blu per spiderman, giallo per Bart Simpson, ecc.) e gli altri in numero minore, a coprire tutti i colori presenti. Alcuni colori non sono disponibili nella fornitura Quercetti. In quel caso, usare dei colori simili, che facciano comunque capire la rappresentazione (giallo per la pelle invece che rosa, blu scuro invece che nero, ecc.). Ai fini del gioco, non è necessario avere chiodini necessari a coprire tutta l'immagine, perché ne verranno usati molti meno, solo quelli necessari per far intuire l'immagine a chi deve indovinare.

Tempo stimato: mezz'ora a ogni laboratorio

All'inizio del laboratorio, in classe.

1. *Preparare l'ambiente di lavoro.*

Per ogni postazione:

- disporre 4 tavolette “Fantacolor Modular” unite tra loro con gli appositi connettori;
- disporre la prima immagine che si vuole far rappresentare sotto la tavoletta bianca (o aprire il raccoglitore A3 (se disponibile) alla prima pagina. Per non far vedere prima che il laboratorio inizi, si può usare un cartoncino A3 (ricavato dalle confezioni stesse dei chiodini) per coprire l'immagine;
- consegnare il corrispondente kit iniziale di chiodini grandi;
- disporre una scatola (o sacchetto) con i fogli che indicano i soggetti da disegnare per quel gruppo.

Disporre tutti i chiodini avanzati (divisi per colore e dimensione) in un tavolo al centro della stanza, ugualmente accessibile da tutti, in modo che i ragazzi possano autonomamente prendere i chiodini, così da ridurre le tempistiche tra un passaggio e l'altro (si suggerisce una supervisione iniziale, ma i ragazzi capiranno presto da sé che non conviene barare e prendere troppi chiodini).

2. *Dividere i ragazzi in gruppi (4-6 ciascuno).*

Due eseguiranno la rappresentazione con i chiodini, mentre gli altri cercheranno di guadagnare altri chiodini e di indovinare l'immagine che uno di loro (a turno) disegnerà.

NOTA: Solo stando esattamente sopra le tavolette si riesce a vedere cosa c'è sotto: basta un'inclinazione di pochi gradi – quindi essere poco lontano – e l'immagine non è già più visibile.

È consigliabile comunque disporre comunque una fila di libri tra i ragazzi che lavorano con i chiodini e gli altri, in modo che non si veda la fessura tra la tavoletta e l'immagine.

Nel caso dei raccoglitori A3, la stessa copertina del raccoglitore fa da “schermo”.

Svolgimento

Dopo le presentazioni, si spiegano le regole del gioco.

Si invitano i 2 “addetti ai chiodini” a inserire i chiodini del kit di partenza nella tavoletta, in corrispondenza dei colori visibili dai buchi della tavoletta.

Intanto gli altri componenti del gruppo iniziano a fare a turno delle prove di disegno con cui guadagneranno nuovi chiodini. Se per esempio il gruppo è da 6: 2 inseriscono i chiodini nella tavola e gli altri 4 devono indovinare i disegni. Di questi 4, uno a turno disegna un soggetto cercando di farlo indovinare agli altri 3.

Una volta indovinato, si ottengono 5 chiodini grandi, oppure 10 medi, oppure 40 piccoli (non sono possibile forniture “miste”. Il colore e la dimensione dei chiodini da prendere andranno concordate con gli “addetti ai chiodini” (che man mano si fanno l'idea di cosa conviene dettagliare per far capire l'immagine che stanno rappresentando).

Durante il gioco assicurarsi che i ragazzi non sbircino sotto la tavoletta e che prendano il giusto numero di chiodini vinti (anche se i ragazzi capiscono presto da sé che non conviene barare e prendere troppi chiodini, perché inserirli richiede poi troppo tempo ai loro compagni).

Una volta che la parte di gioco si è conclusa, ovvero quando tutte le squadre hanno indovinato l'immagine riprodotta con i chiodini, si fa un debriefing con i ragazzi, avendo cura di non guidare troppo il loro flusso di pensieri, magari agevolandolo e introducendo nuove domande.

Alla fine, si possono mostrare le slides di presentazione fornite per il riepilogo dell'attività svolta e il “fissaggio” dei contenuti, in cui sono inclusi esempi reali di diversa risoluzione delle immagini (in particolare astronomiche).

La discussione e la presentazione dovrebbero solo far emergere e fissare i concetti, mostrando le similitudini e analogie che sono alla base del laboratorio:

- analogia tra chiodini e pixel delle immagini che i ragazzi sono abituati a vedere;
- analogia tra il tempo impiegato per “riempire” l'immagine con chiodini di diverse dimensioni e il costo in termini di tempo di produzione e lavorazione delle immagini astronomiche;
- analogia tra il numero di chiodini di diverse dimensioni e il flusso di dati necessario per scaricare un'immagine a più bassa o più alta risoluzione (o anche l'impiego di risorse calcolo e tempo macchina per visualizzarla, se in locale).

Ruolo degli operatori INAF

Gli operatori dovranno:

- *all'inizio*: fornire i set iniziali di chiodini e i foglietti con i nomi dei soggetti da disegnare per vincere altri chiodini;
- *durante il gioco*: controllare che i bambini non sbircino sotto la tavoletta e che prendano (circa) il numero di chiodini che hanno vinto
- *durante il gioco* potranno anche eventualmente dare indizi in base alle immagini del pictio-nary che vengono indovinate (esempi di indizi "medi" sono "è un cartone animato" oppure "è una cosa che vola", indizi da parola "difficile" invece possono essere "è un cartone ani-mato giallo" o "può essere un oggetto volante non identificato"). Sugeriamo di dare gli indizi solo se si vede che un gruppo è in difficoltà rispetto agli altri.
- *alla fine*: far scorrere le poche slides di riepilogo e "fissaggio" dei contenuti, in cui so-no inclusi esempi reali di diversa risoluzione delle immagini (in particolare in ambito astronomico). La presentazione finale sarà fornita agli animatori dai proponenti.

Per lasciare tempo alla presentazione finale, le prove con i chiodini dovranno concludersi entro un'ora. Il numero di immagini da far riprodurre e indovinare potrà essere deciso e variato in base alla velocità di svolgimento in ogni gruppo.

Note e varianti

L'attività può essere svolta anche individualmente, ponendo immagini stampate in formato A5 sotto una singola tavoletta bianca "Fantamodular" e facendo riprodurre l'immagine con chiodini grandi, medi o piccoli. Per mantenere l'aspetto "ludico", i bambini possono essere messi in coppie da due uno di fronte all'altro e, mentre uno compone l'immagine (prima con i chiodini grandi, poi medi, poi piccoli), l'altro deve cercare di indovinarla. Al termine, i ruoli si invertono, in modo che tutti possano provare l'attività con i chiodini.

Questa variante, utile nel caso non si abbia molto tempo e/o molti bambini, è veloce, c'è bisogno di più immagini e bisogna avere cura che i gruppi di due bambini non abbiano modo di "sbirciare" o sentire gli altri gruppi, in modo da non rovinare il divertimento.

Per uno svolgimento di 45 minuti, proponiamo 3 immagini a gruppo e una distribuzione dei gruppi tale per cui due gruppi vicini non abbiano mai la stessa immagine o le immagini già realizzate dai gruppi vicini.

Materiale supplementare

Presentazione per il riepilogo dei contenuti fornite dagli operatori che propongono il laboratorio.

Autovalutazione

L'indicazione più diretta e immediata dell'efficacia del laboratorio è l'evidenza di un'acquisizio-ne autonoma dei concetti coinvolti, ovvero se i ragazzi, nel lavorare con i chiodini, mostrano consapevolezza sulle diverse risoluzioni, sui diversi tempi di lavorazione, sulla quantità di dati rappresentati e sulla scelta dei dettagli da evidenziare per rendere la rappresentazione il più

facilmente comprensibile agli altri.

Al termine del laboratorio, suggeriamo di far emergere questi aspetti ponendo domande sull'esperienza vissuta, sulle difficoltà incontrate nello svolgimento del compito e sulle strategie adottate.

Nella nostra esperienza, la forza di questo laboratorio è proprio l'autonomia di apprendimento, per cui tutti i concetti chiave vengono spontaneamente individuati durante il lavoro con i chiodini ed evidenziati durante la fase guidata di debriefing.

Conclusioni

La semplicità dei materiali, la loro natura giocosa e quotidiana favorisce un atteggiamento positivo da parte dei ragazzi. I concetti scientifici sono compresi spontaneamente e autonomamente, già durante la fase di lavoro, con diversi momenti di scoperta e soddisfazione nei ragazzi. Il coinvolgimento e la qualità del lavoro di gruppo si mostrano sempre eccellenti e le diverse competenze sono messe in gioco in modo molto efficace dai ragazzi coinvolti.

Le criticità sono:

- è necessaria un'accurata preparazione dei materiali, in modo da non avere tempi morti e distrazioni;
- bisogna ogni tanto ricondurre l'attenzione sull'immagine rappresentata con i chiodini, da indovinare e non distrarsi troppo con la fase di disegno;
- il costo del laboratorio è da considerarsi medio-alto, però la fornitura di chiodini può essere acquisita una-tantum dalla scuola e poi usata con tutte le classi.

Abbiamo ottenuto una sponsorizzazione dalla Quercetti per cui chi vuole comprare il kit per svolgere il laboratorio può avere uno sconto. Il codice sconto viene fornito dagli autori, su richiesta.

Infine, segnaliamo che questa attività può essere usata anche come complemento alla didattica dell'arte per spiegare, ad esempio, il puntinismo o altre forme di decostruzione della realtà.

Bibliografia

L'attività è stata presentata in Giappone al convegno "Communicating Astronomy with the public" ed è presente con l'articolo "Representing the Universe: a hands-on challenge", a pag. 154 degli atti: <https://drive.google.com/file/d/1JqGgsFvxZlATxvoCZ-kGo4xVjTxBQS7Q/view>

Crediti

La ditta Quercetti ha sponsorizzato parte della sperimentazione e contribuisce agevolando l'acquisto dei materiali necessari per il laboratorio.

Ringraziamenti

Cinque anni fa ho scelto di intraprendere il corso di laurea in Astronomia, piena di incertezze e paure. Sono stati degli anni difficili, ma pieni di tante soddisfazioni. Ora, voltandomi indietro, riesco a vedere con chiarezza quanto questo percorso mi abbia cambiata e come sia stata la scelta più giusta. Per una serie fortuita di coincidenze sono arrivata a specializzarmi nell'ambito della didattica e divulgazione, che mi appassiona ogni giorno di più e su cui spero di continuare la mia strada.

Tutto questo non sarebbe stato possibile senza l'aiuto delle persone incontrate lungo il mio cammino. Ecco perché ritengo doveroso dedicare dello spazio a dei sinceri e sentiti ringraziamenti. Il primo va al professor Stefano Ciroi, che con professionalità e competenza ha saputo guidarmi al meglio nella progettazione e strutturazione di questo elaborato finale.

Con tutto il cuore ringrazio Caterina Boccatto e Stefania Varano, le mie mentori, che non solo mi hanno seguito riga dopo riga nella stesura, ma che in questi ultimi due anni mi hanno introdotto e accolto nel mondo della Didattica e Divulgazione, insegnandomi tanto. A loro va tutta la mia stima e riconoscenza.

Un grazie riconoscente alla mia numerosa famiglia, a chi c'è ora a festeggiare questo traguardo e a chi invece mi accompagna da lassù. Un grazie doveroso ai miei genitori che in questi cinque anni mi hanno sempre supportato e spronato ad andare oltre le mie paure; a Emma, Jacopo, Giada e a tutti i fratelli e sorelle sparsi in giro per il mondo, che mi riempiono la vita di gioiosi imprevisti e stupendi nipotini; a Raffaele, che ha seminato in me il seme della passione dell'astronomia che mi ha condotto fin qui; a Barbara che ha saputo vedere oltre le mie incertezze.

Per concludere un grazie alle amiche di sempre: a Irene per essermi sempre accanto, alla Doc per tutto quello che abbiamo condiviso, a Isabella per avermi insegnato a inseguire i miei sogni, a Silvia e Diletta per la loro inscalfibile amicizia; un grazie anche ai compagni di viaggio con cui ho condiviso gioie e dolori di questo percorso e che lo hanno reso pieno di bei ricordi.

L'ultimo grazie lo riservo a Pietro, che ha saputo ascoltarmi e incoraggiarmi anche quando la strada mi sembrava troppo ardua.