

Chimica e Sostenibilità: un gioco da ragazzi!

Francesca Deganello^a, Maria Luisa Testa^a, Alberto Zanelli^b, Riccardo Lucentini^b, Andrea Ienco^c, Massimo Calamante^c, Claudia Vineis^d, Alessio Varesano^d, Armida Torreggiani^b

^aCNR - Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN), Palermo; ^bCNR - Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (ISOF), Bologna; ^cCNR - Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici (ICCOM), Sesto Fiorentino; ^dCNR - Istituto di Sistemi e Tecnologie Industriali Intelligenti per il Manifatturiero Avanzato (STIIMA), Biella

e-mail: francesca.deganello@cnr.it

Abstract. Thanks to a collaborative network of CNR Institutes located throughout Italy, created as part of the project *Change the Game: Playing to prepare for the challenges of a sustainable society*, a number of playful-educational activities concerning the teaching of science and sustainability at elementary school have been designed, developed and successfully tested. Indeed, it has been shown how play fosters interest in the topic addressed and develops the child's problem-solving and critical thinking aptitude. In this paper, four play-educational paths related to chemistry and sustainability are proposed entitled "Touch, Contact, Chemistry and Sustainability", "The Recycling Game", "Discovering Animal Fibers", and "The Colors of Energy".

Keywords: giochi educativi; chimica; sostenibilità; esperimenti; celle solari; biodiversità; scuola primaria

1. Premessa

Per promuovere tra i giovani le conoscenze sui temi della ricerca di frontiera collegata al Green Deal europeo e agli obiettivi dello sviluppo sostenibile (SDG) dell'Agenda ONU 2030, e indurre un cambiamento culturale della società verso comportamenti più vicini all'economia circolare, si è costituita una rete di 15 istituti CNR distribuita in 10 regioni italiane, grazie al supporto di un progetto nazionale dal titolo *Change the Game: giocare per prepararsi alle sfide di una società sostenibile-Changegame*, finanziato da progettidiricerca@CNR (<https://www.changegame.cnr.it/>). La strategia metodologica è quella di realizzare e promuovere giochi educativi per le scuole su temi come sostenibilità ed economia circolare, offrendo ai giovani un apprendimento più motivante a partire dai banchi di scuola, che mostri loro il ruolo fondamentale della scienza per lo sviluppo sostenibile. Grazie a un approccio ludico è possibile far riflettere gli studenti su sistemi complessi in quanto

gli obiettivi di apprendimento sono inclusi nell'argomento e nelle regole del gioco, dove i giocatori aumentano autonomamente le proprie conoscenze. Le tipologie di giochi educativi comprendono quiz, puzzle, giochi di ruolo e di movimento, giochi da tavolo e giochi con esperimenti. Inoltre, i serious games riproducono scenari verosimili in cui l'utente protagonista prende parte a una simulazione che ha scopi educativi e consentono un attivo coinvolgimento dei partecipanti [1-3].

Poiché l'istruzione alla scuola primaria svolge un ruolo cruciale nel costruire delle solide fondamenta del percorso della società verso la sostenibilità, parte del progetto è stato dedicato alle classi dei più piccoli. Il bambino gioca, si diverte, si sente protagonista e intanto impara. Sebbene la chimica, come disciplina in sé, non sia prevista alla scuola primaria, è centrale a molte altre discipline scientifiche e proporre un'esperienza laboratoriale di chimica, focalizzata sui concetti di base, può essere molto utile. D'altra parte, il concetto di sostenibilità è spesso ridotto al solo rispetto dell'ambiente con poco margine verso l'approccio laboratoriale, sebbene copra anche altri aspetti, come società ed economia. È, invece, fondamentale che tutti i bambini conoscano, attraverso esperienze pratiche, i fondamenti della sostenibilità. La maggior parte degli esempi in letteratura, che testimoniano l'efficacia della didattica della chimica e della sostenibilità per le scuole attraverso i serious games, si rivolge alle scuole secondarie, riguarda giochi digitali, e tratta separatamente la chimica oppure l'ambiente [4-6].

In questo lavoro si descrivono quattro percorsi ludico-educativi che riguardano sia la chimica che il suo ruolo nella sostenibilità, declinata nei suoi tre ambiti principali, quali ambiente, economia, e società. I percorsi sono *"Tatto, contatto, chimica e sostenibilità"*, *"Il Gioco del Riciclo"*, *"Alla scoperta delle fibre animali"*, e *"I colori dell'energia"*. Questi quattro percorsi, che danno indicazioni su come è possibile contribuire al raggiungimento degli SDG n. 4, 6, 7, 11, 12, 13, 14 e 17 dell'Agenda ONU 2030, sono stati testati con successo con alcune classi e vengono qui proposti come attività laboratoriali sulla chimica e sulla sostenibilità per le classi della scuola primaria, come approfondimento del programma di studi di scienze e educazione civica.

2. Percorso 1: Tatto, contatto, chimica e sostenibilità

Il primo percorso, ideato dal CNR-ISMN Palermo, è un incontro con la chimica attraverso il tatto, dove i bambini toccano gli oggetti e partecipano attivamente agli esperimenti dimostrativi, e il con-tatto, dove è in primo piano il movimento del corpo sotto forma di giochi di movimento e danze. Esso è stato realizzato per la prima volta con le seconde e terze classi primarie dell'Istituto Minutoli di Palermo nel 2017 e perfezionato in successive occasioni. La partecipazione e il coinvolgimento dei bambini agli esperimenti è fondamentale e devono essere costantemente incoraggiati.

In una prima fase del percorso gli alunni vengono guidati a fare esperienza e a riflettere su alcuni concetti base della sostenibilità, riportando gli SDG nella loro vita quotidiana. Materiali e oggetti di uso quotidiano sono l'ideale per attrarre l'attenzione dei bambini [7]. I contenuti trattati affrontano elementi della Tavola Periodica, molecole, miscugli omogenei ed eterogenei, solubilità, calore e passaggi di stato.

Nella seconda fase del percorso, oltre all'esperienza tattile dovuta alla partecipazione attiva all'esperimento, si propone al bambino anche un'esperienza che coinvolga il con-tatto con gli altri compagni riproducendo le relazioni fra atomi e molecole. La "danza delle molecole" consente al bambino di sperimentare in prima persona come si muovono le molecole in situazioni diverse in termini di ambiente e temperatura. Gli alunni e le alunne rappresentano gli stessi atomi o molecole e le loro azioni sono guidate prendendo ispirazione dalle reazioni chimiche e dal comportamento dei materiali.

La prima attività di questo percorso è intitolata "Il sale e le saline". L'esperimento di dissoluzione del sale, già proposto in letteratura, sia per la scuola primaria che per la scuola dell'infanzia in diversi contesti didattici [8,9], viene qui utilizzato come pretesto per guidare il bambino nel collegare il mondo della chimica alla sua esperienza quotidiana. Le domande, le associazioni e il confronto con i compagni lo aiutano a riflettere, elaborare e imparare. La figura 1a mostra alcuni bambini che stanno facendo diretta esperienza su come il sale viene sciolto in acqua, in riferimento anche alla sua estrazione nelle saline di Marsala (TP). Nella figura 1b, un gruppo mima la dissoluzione del sale da cucina in acqua attraverso una "danza delle molecole". Il bambino "Sodio" e il bambino "Cloro" vengono piano piano separati l'uno dall'altro per intervento dei bambini "Ossigeno" e delle bambine "Idrogeno" che formano le "molecole di acqua" e li circondano, rappresentando il sale che si comincia a sciogliere, e ricordando il momento dell'esperimento in cui il sale si riconosceva chiaramente come una polvere bianca che poi non era più visibile. Un'altra "danza delle molecole" può essere proposta per il processo inverso che accade nelle saline. Utilizzando questo stesso approccio, i bambini sono guidati a fare esperienza sulla trasmissione del calore da un corpo a un altro e a rappresentare i passaggi di stato dell'acqua. I bambini intuiscono così che dentro la materia c'è qualcosa di molto piccolo che si chiama "molecola" e che il mondo nasconde molto di più di ciò che si vede con gli occhi. Cominciano anche a capire che le molecole sono formate da entità ancora più piccole che si legano un po' come i mattoncini del Lego per le costruzioni e che il contatto è indispensabile affinché le molecole possano interagire fra loro, rompendo/formando legami per creare una materia con caratteristiche diverse.

L'altra attività del percorso si intitola "Ripuliamo il mare dal petrolio" e aiu-

ta a comprendere alcune caratteristiche dei materiali (idrofobo-idrofilo). Per introdurre il concetto di idrofobo e idrofilo si parte dal classico esperimento acqua-olio e della loro immiscibilità, dovuta a caratteristiche diversissime (composizione e densità) e quindi alla loro “incompatibilità”. Facendo analogie tra olio e petrolio, si può fare riferimento all’inquinamento, al risanamento ambientale e ai materiali per la sostenibilità. Infatti, parlare di chimica significa parlare di materiali e trasformazioni, ma anche di ambiente, di economia, di tecnologie e di società. Si chiede ai bambini di toccare la sabbia idrofoba dopo averla immersa in acqua: la sabbia risulta asciutta essendo incompatibile con l’acqua (è idrofoba, appunto) (Figura 1c). Quando, invece, viene aggiunto l’olio (“il petrolio”), la sabbia risulta bagnata perché ha affinità con l’olio e lo cattura (Figura 1d). Anche in questo caso l’esperimento può essere associato a una “danza delle molecole”.



Figura 1. a) Attività “Il sale e le saline”; i bambini partecipano al semplice esperimento sulla dissoluzione del sale messo in relazione alle Saline di Marsala, b) eseguendo una “danza delle molecole” per rappresentare la dissoluzione del cloruro di sodio, il componente più abbondante del sale da cucina, c) Attività “Ripuliamo il mare dal petrolio”: la sabbia idrofobica rimane asciutta in acqua e d) si bagna solo quando entra in contatto con l’olio

È importante sottolineare che lo scopo di questo percorso è di proporre due concetti fondamentali: i) ciò che vediamo è formato da componenti più piccoli e invisibili ad occhio nudo; ii) questi componenti sono in relazione fra loro e da questo dipendono le proprietà del materiale. Non si intende quindi introdurre la teoria atomica alla scuola primaria, affrontando il tema della struttura atomica-molecolare della materia, che è bene affrontare nelle classi successive [10]. L'attività intende aumentare l'interesse e la curiosità dei bambini verso la scienza e il desiderio di trovare risposte su come il mondo funziona e come e perché le cose accadono, tutte idee che sono alla base di una scelta futura di carriere scientifiche [11]. Vari studi, infatti, sottolineano come i bambini siano attratti da concetti astratti e complessi e quanto sia importante stimolare, attraverso il gioco, l'immaginazione creativa del bambino, incrementando la sua curiosità per il mondo che lo circonda [12, 13]. Inoltre, rappresentando in prima persona gli elementi e le molecole, i bambini capiscono che, così come fanno le molecole, la collaborazione costruttiva al servizio del bene comune è alla base della società in cui ognuno gioca un ruolo fondamentale.

3. Percorso 2: Il gioco del riciclo

Comprendere bene il valore delle materie prime e la necessità di ridurre, separare, riutilizzare e riciclare i rifiuti è fondamentale per allontanarsi dall'economia lineare e accostarsi all'economia circolare [14]. Il gioco del riciclo, pensato per un target di età compreso tra i 7 e gli 11 anni e sviluppato dall'Istituto CNR-ISOF Bologna, coinvolge gli studenti in un'attività focalizzata sulla tematica degli scarti e del riciclo, sull'importanza di riconoscere i materiali di cui sono fatti gli oggetti di uso quotidiano e la capacità di smistarli correttamente. Tramite una dinamica di gioco semplice come quella del Gioco dell'Oca, i bambini rafforzano la propria conoscenza sul corretto smistamento dei materiali e sull'importanza di queste azioni per l'ambiente. Infatti, il primo step nel processo di riciclo dei materiali è la loro corretta separazione. La raccolta differenziata si inserisce nel più ampio contesto dell'economia circolare, un modello economico che suggerisce un approccio innovativo alle materie prime, ai prodotti e ai rifiuti, con una visione rigenerativa basata sul principio delle 5 R:

1. Rifiutare quello che non serve
2. Ridurre quello che serve: ridurre la quantità di oggetti posseduti per ridurre la quantità di dispositivi che finisce nella spazzatura;
3. Riparare gli oggetti rotti, così da prolungarne il ciclo di vita;
4. Riutilizzare: trovare un nuovo scopo a un oggetto che ha terminato il compito per cui è stato progettato;
5. Riciclare quello che non si può rifiutare, ridurre, riparare o riutilizzare

Giocando al Gioco del Riciclo si può verificare quanto si sa davvero sul riciclo quotidiano e trasformare una routine “noiosa” in qualcosa di divertente. L’approccio ludico di questo strumento educativo offre un metodo divertente per rafforzare la conoscenza sul riciclo quotidiano e la sua importanza per l’economia e l’ambiente. Il materiale da gioco è stato preparato per giocare in spazi ampi (Figura 2a). È anche possibile giocare a squadre, rafforzando così la capacità di cooperazione. I bambini sono poi invitati a creare un oggetto con i materiali di scarto (Figura 2b). Il gioco è stato testato con successo con cinque classi elementari presso la scuola Mader di Bologna nel 2022-2023.



Figura 2. a) Test del Gioco del Riciclo effettuato in una scuola primaria di Bologna durante a.s. 2021-2022; b) pedina costruita dai bambini con materiali di scarto, ispirandosi a Wally-E (personaggio della Disney)

4. Percorso 3: Alla scoperta delle fibre animali

Questo percorso, ideato dal CNR-STIIMA di Biella, comprende due attività sperimentali e un gioco da tavolo e pone l’accento sull’importanza della sostenibilità ambientale, sull’impiego sostenibile di risorse naturali e sulla biodiversità.

La lana che deriva dalla tosa di ovini allevati per l’industria casearia e della carne non è utilizzabile nell’industria tessile. La tosa annuale di tali ovini produce grandi volumi di lane di bassa qualità che rappresentano un problema ambientale, in quanto la loro combustione è inquinante. I ragazzi in laboratorio hanno l’opportunità di estrarre la cheratina, proteina che costituisce le fibre animali, per un suo utilizzo come materiale innovativo. Il primo esperimento (Figura 3a) si focalizza su due aspetti principali: l’estrazione chimica della cheratina dalla lana, mediante l’utilizzo di una base forte come NaOH, e la flocculazione e precipitazione della stessa cheratina in soluzioni acide.

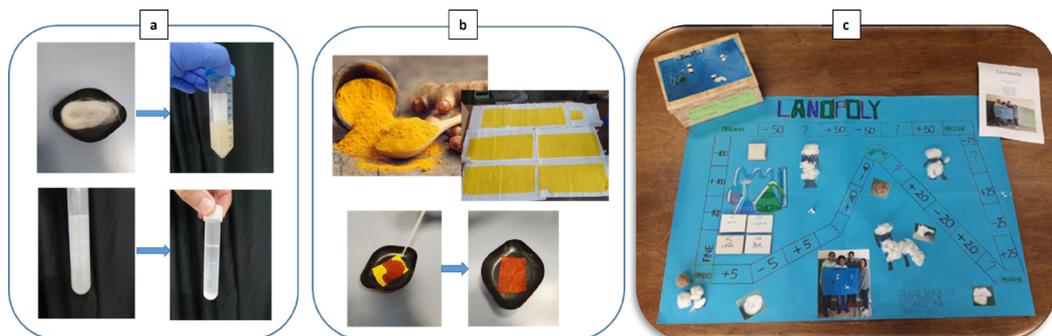


Figura 3. a) Estrazione e flocculazione della cheratina dalle fibre di lana; b) viraggio del colore al variare del pH dei tessuti tinti con curcuma; c) tabellone di gioco di Lanopoly

Il secondo esperimento (Figura 3b) prevede l'uso di coloranti naturali per la tintura in campo tessile, in quanto è di fondamentale importanza l'utilizzo di materie naturali per la sostenibilità ambientale. Tali sostanze sono sicure, non tossiche e biodegradabili. In particolare, la *Curcuma Longa* è comunemente impiegata come colorante naturale sia nell'industria tessile sia in quella alimentare in quanto ha proprietà antibatteriche, antifungine, antiossidanti e antinfiammatorie. Inoltre, ha la proprietà di cambiare colore in base al pH della soluzione con cui viene messa a contatto. I ragazzi hanno l'opportunità di tingere tessuti di cotone con polvere di Curcuma e, immergendoli in soluzioni a diverso pH, osservare immediatamente il viraggio di colore dei tessuti a seconda dell'acidità della soluzione, dal giallo al rosso scuro e viceversa (Figura 3b).

Inoltre, all'interno del Network italiano "Il linguaggio della ricerca" gli studenti della scuola secondaria di primo grado G. Pella di Valdengo (BI), dopo aver visitato i laboratori del CNR-STIIMA e aver assistito agli esperimenti proposti, hanno ideato e sviluppato un gioco da tavolo, "Lanopoly" (Figura 3c), ispirato al ben noto Monopoli, ma con l'utilizzo delle fibre animali. Il gioco rientra nell'attività di imparare giocando per distinguere le differenti specie animali e vegetali che forniscono all'uomo le principali fibre naturali alla base del mondo tessile. Avere consapevolezza dello sviluppo sostenibile attraverso la biodiversità delle specie e i prodotti da esse derivati, esclusivamente giocando e senza l'utilizzo di lezioni frontali, è lo scopo principale del gioco realizzato dai ragazzi. Attraverso domande specifiche, presenti nelle caselle Imprevisti, ci si può mettere in gioco utilizzando le proprie conoscenze sull'intera filiera tessile e il riciclo di materiali di scarto. L'utilizzo di fibre più o meno pregiate come moneta di scambio, dà al tempo stesso il valore commerciale dell'intero settore tessile e restituisce consapevolezza ai ragazzi dell'importanza di uno sviluppo sostenibile.

5. Percorso 4: I colori dell'energia

CNR-ICCOM Firenze ha sviluppato un'esperienza didattica sul tema dell'energia e sostenibilità da svolgere in classe in due ore. Lo scopo è approfondire il concetto di energia, mostrare la quantità di energia utilizzata nelle semplici azioni quotidiane e riflettere sulla dipendenza dalla combustione per le nostre necessità di energia. Viene, inoltre, sottolineata la natura interdisciplinare della ricerca sul tema energetico e il ruolo della chimica in questo campo. Il percorso è diviso in una lezione introduttiva di circa 45 minuti e un'attività sperimentale che prevede la costruzione di celle solari a coloranti (DSSC) con coloranti di origine naturale (es. mirtillo) [15]. Nella presentazione iniziale, si introducono, utilizzando un approccio colloquiale e interattivo, due concetti non banali: cos'è l'energia e come si fa a quantificarla. Dopo aver preso coscienza delle diverse forme in cui ci può apparire l'energia, si propone di quantificare l'energia utilizzata nelle azioni quotidiane introducendo la metafora dello "schiavo energetico" come misura di energia [16]. Lo schiavo ciclista produce un'energia pari a 50 Wh, cioè 50 W per ogni ora di pedalata. Questo permette di calcolare attraverso un dialogo con la classe quanto lavoro degli schiavi energetici serve per guardare un'ora di televisione, asciugarsi i capelli, essere accompagnati in auto a scuola e per il decollo di un aereo di linea. Introducendo il concetto di fonte energetica, si mostra che i nostri schiavi energetici sono il carbone, la benzina e il metano, sostanze che in poco spazio contengono un numero notevole di schiavi. Infine, parliamo del Sole come fonte energetica capace di inviare sulla Terra in meno di due ore tanti schiavi energetici quanti ne servono per il fabbisogno energetico mondiale. Dato che il problema è catturarli, mostriamo le metodologie usate dai chimici e, in particolare, il funzionamento delle celle solari a colorante. Si passa, infine, all'attività sperimentale in cui la classe è divisa in gruppi di 4/5 alunni e consta di quattro fasi: preparazione degli elettrodi, preparazione del colorante, sensibilizzazione degli elettrodi e, quindi, costruzione e verifica del funzionamento delle celle.

A ciascun gruppo vengono consegnati due quadrati di vetro conduttore. Su uno dei due vetri, quello che diventerà l'anodo, viene preparata una maschera utilizzando del nastro adesivo, lasciando una zona centrale non coperta di forma rettangolare (Figura 4a). Sulla zona centrale viene spalmata con una bacchetta di vetro una pasta precedentemente preparata dagli studenti e composta da ossido di titanio e acqua e acido nitrico diluito (Figura 4b). Dato che l'elettrodo dovrebbe essere scaldato a 500 °C, agli studenti viene consegnato un elettrodo precedentemente sinterizzato. Il catodo viene, invece, preparato colorando la faccia conduttrice del vetro con una matita, ovvero depositando uno strato di grafite (Figura 4c). L'anodo viene colorato immergendolo nel succo ottenuto dalla spremitura di mirtillo o frutti di bosco (Figure 4d e 4e). La cella finale viene quindi assemblata utilizzando l'anodo colorato, la soluzione di elettrolita I_2/I_3^- e il catodo (Figura

4f). La cella viene quindi collegata a un piccolo motore elettrico (Figure 4g e 4h). Quando la cella viene illuminata, la corrente elettrica prodotta è in grado di far girare un motore con una piccola elica, dimostrando che il dispositivo è in grado di trasformare l'energia luminosa in corrente elettrica e poi in energia meccanica.

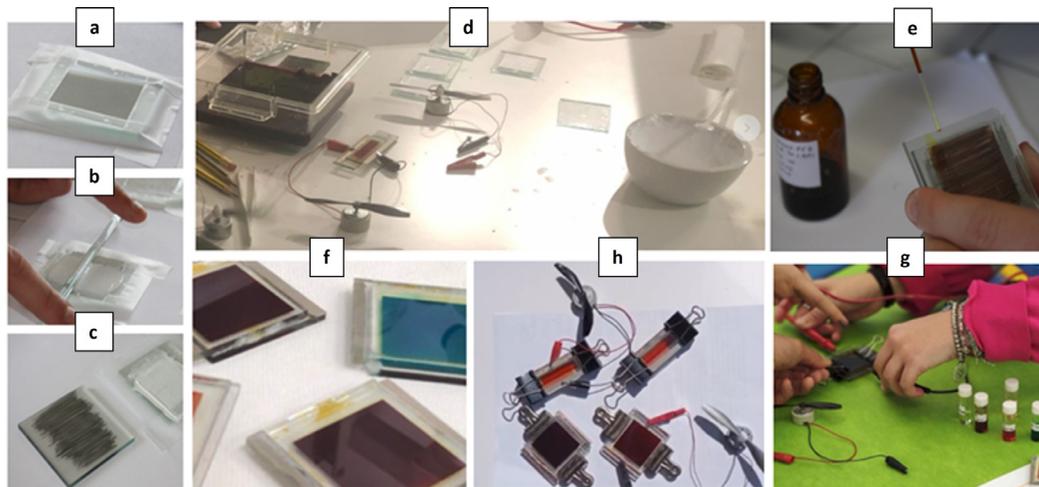


Figura 4. Varie fasi della costruzione della cella: a-b) preparazione dell'anodo per la stesura dell'ossido di titanio, c) preparazione del catodo colorato con la matita, d) vaschetta per colorazione dell'anodo, e-f) catodo e anodo vengono uniti con all'interno una soluzione di elettrolita, g-h) le celle assemblate sono usate per muovere una ventola

L'esperienza didattica nell'anno scolastico 2022/23 è stata svolta in 5 classi dell'I. C. Pirandello di Firenze, coinvolgendo circa 120 studenti di 5 elementare ed è stata proposta per attività didattiche al Museo Galileo di Firenze. Modulando il grado di approfondimento dei vari aspetti toccati, l'esperienza può essere utilizzata per differenti fasce di età, dalle elementari alle scuole secondarie.

6. Conclusioni

Sono stati descritti quattro percorsi laboratoriali sulla chimica e la sostenibilità, che possono essere svolti in presenza con gli alunni e le alunne della scuola primaria. Come visto, il connubio chimica e sostenibilità permette di osservare il mondo in un contesto più ampio, dal piccolissimo al grandissimo, dove ogni cosa e ogni persona ha il suo importante ruolo/responsabilità. Inoltre, tramite queste attività si vuole dare un contributo agli SDG, insegnando ai bambini a rispettare l'ambiente e i compagni, ad apprezzare la collaborazione, a evitare gli sprechi, e a coltivare le proprie abilità e i propri sogni a vantaggio della comunità. Il gioco attrae l'attenzione dei bambini e

li conduce verso una maggiore apertura all'apprendimento. I temi proposti rientrano bene nel programma di scuola primaria e possono essere intesi come un consolidamento/approfondimento di una parte del programma di scienze e di educazione civica. I bambini imparano che la chimica è invisibile, ma i suoi effetti si possono toccare con mano e sono stimolati a usare fantasia e creatività per immaginare ciò che non si vede. Familiarizzano con i rifiuti, la loro importanza e la loro classificazione. Esplorano il mondo degli animali e, intanto, scoprono il valore della biodiversità e le caratteristiche principali delle fibre animali. Infine, imparano a collaborare per creare qualcosa che da soli non potrebbero ideare e iniziano a capire che ognuno, nel suo piccolo, ha un ruolo importante nella società.

Ringraziamenti

Gli autori ringraziano il progetto *Change the Game: Giocare per prepararsi alle sfide di una società sostenibile (Progettidiricerca@CNR)* e *Raw Matters Ambassadors at Schools - RM@Schools 4.0*, PA n. 20069, finanziato da EIT/EIT RawMaterials). Gli autori ringraziano inoltre C. Aliotta e M. Russo per la collaborazione all'organizzazione di alcune attività.

Riferimenti

- [1] E. Benvenuti, L. Forini, A. Torreggiani, A. Zanelli, Eco-CEO™: Understand the circular economy by playing, *Proceedings of the International Conference "The future of education 2020"*, pp. 162-167.
- [2] A. Torreggiani, A. Zanelli, M. C. Canino, A. Degli Esposti, E. Benvenuti, R. Lapinska-Viola, L. Forini, M. Turinetto, RAWsiko – Materials around us: A digital serious game to teach about raw materials' importance for the transition towards a low-carbon economy, *10th International Conference New Perspectives in Science Education 2021*, pp. 322-328.
- [3] N. Kara, A systematic review of the use of serious games in science education, *Contemporary Educational Technology*, 2021, **13**, 295.
- [4] A. Filippas, S. Xinogalos, Elementium: design and pilot evaluation of a serious game for familiarizing players with basic chemistry, *Educ. Inf. Technol. (Dordr)*, 2023, **28**, 14721.
- [5] A. M. Ochs, J. M. Dee, A. M. Arnold, K. A. Barber, E. P. Zovinka, Connecting active artwork to Chemistry: leading students in inquiry-based learning of density and viscosity, *J. Chem. Educ.*, 2023, **100**, 3703.
- [6] C. K. W. Tan, H. Nurul-Asna, Serious games for environmental education, *Integrative Conservation*, 2023, **2**, 19.
- [7] M. L. Testa, F. Deganello, M. L. Tummino, Chimica alla scuola primaria, *CnS*, 2016, **3**, 21.
- [8] K. Vernassa, F. Turco, Materiali omogenei ed eterogenei alla scuola dell'infanzia, *CnS*, 2023, **1**, 60.
- [9] L. Ricco, M. M. Carnasciali, Esperienze di successo nella formazione di

Scienza scuola primaria, *Chemistry all around network community*, 2011 (https://chemistrynetwork.pixel-online.org/files/SUE_papers/IT/IT_Success_IT.pdf).

- [10] C. Fiorentini, *Rinnovare l'insegnamento delle scienze: aspetti storici, epistemologici, psicologici, pedagogici e didattici*, Aracne Editrice, Ariccia, 2018.
- [11] G. Venville, L. Rennie, C. Hanbury, N. Longnecker, Scientists reflect on why they chose to study science, *Research in Science Education*, 2013, **43**, 2207.
- [12] C. Haeusler, J. Donovan, Challenging the science curriculum paradigm: Teaching primary children atomic-molecular theory, *Research in Science Education*, 2020, **50**, 23.
- [13] T. A. Holme, Can we envision a role for imagination in Chemistry learning? *J. Chem. Educ.*, 2021, **98**, 3615.
- [14] F. Olmi, Per realizzare la transizione ecologica è necessario puntare decisamente sull'economia circolare, *CnS*, 2022, **1**, 23.
- [15] Y. R. Smith, E. Crone, V. Subramanian, A simple photocell to demonstrate solar energy using benign household ingredients, *J. Chem. Educ.*, 2013, **90**, 1358.
- [16] N. Armaroli, V. Balzani, *Energia per l'astronave Terra: l'era delle rinnovabili*, Zanichelli, Bologna, 2017.