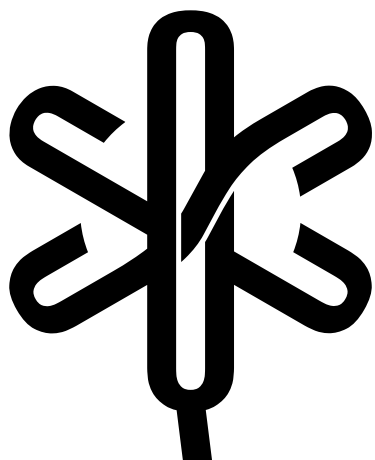




QUADERNI DI
COMUNICAZIONE
SCIENTIFICA



QUADERNI DI
COMUNICAZIONE
SCIENTIFICA

ISSN 2785-3918

DIREZIONE

Sveva Avveduto
Silvia Mattoni

COMITATO SCIENTIFICO

Maria Carmela Agodi
Enrica Battifoglia
Silvia Benvenuti
Andrea Bettini
Michele Emmer
Franco Ferrarotti
Paola Govoni
Lella Mazzoli
Giorgio Pacifici
Mario Paolucci
Telmo Pievani
Lorenzo Pinna
Nico Pitrelli

COMITATO EDITORIALE

Sveva Avveduto
Silvio Ceccucci
Fabio Chiarello
Barbara Dragoni
Silvia Mattoni
Roberto Natalini
Armida Torreggiani

COMITATO DI REDAZIONE

Arcangelo Cappelloni
Luciano Celi
Cristiana Crescimbene
Sergio Mazza
Silvia Perrella
Patrizia Principessa

QUADERNI DI COMUNICAZIONE SCIENTIFICA

3/2022

- 3 Presentazione della rivista
Sveva Avveduto, Silvia Mattoni

RIFLESSIONI E COMMENTI

- 7 Ricordo di Piero Angela
Lorenzo Pinna

- 13 Complessità e news
Giorgio Pacifici

ARTICOLI SCIENTIFICI

- 19 L'educazione e la comunicazione ambientale ai tempi post-normali
Elisa Cannone, Pierina Ielpo, Mauro Boccolari, Cristina Mangia
- 35 Dal dibattito tra Einstein e Bohr al premio Nobel per la Fisica 2022.
Idee e fatti che hanno portato alla "Seconda Rivoluzione Quantistica"
Carmine Granata
- 51 Tre diagrammi semiotici volti al progetto. La valorizzazione dei tracciati
agrimensori
Antonella Pettorruso

CASE HISTORIES

- 63 SlowScience: scienza a km0, un'iniziativa per condividere il sapere in
modalità lenta
Gabriela Carrara, Debora Mazza, Stefania Marzocchi, Silvana Mangiaracina

- 75 How I met Science! Scoprire la scienza: dalle aule universitarie al territorio
Eleonora Polo
- 89 *Storytelling* e metodologia *hands on*: avvicinare i bambini e le bambine
alla ricerca ambientale e climatica
Sabrina Presto, Cristina Mangia
- 105 L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni
"tra scienza, arte, comunicazione": un viaggio per conoscere il mare.
Esperienze e contaminazioni scientifiche in una scuola primaria
*Mariangela Ravaoli, Adele Arianni, Alan Borsari, Lucilla Capotondi,
Mila D'Angelantonio,, Michele Ferrari, Federico Giglio, Lorenzo Liberatore,
Gabriele Marozzi, Roberta Mecozzi, Maria Parisi, Paola Rivarò,
Giuliana Rubbia, Elisa Sangiunetti, Vanessa Fabbri*
- 125 TEDxCNR: il primo evento TED indipendente organizzato da un Ente
Pubblico di Ricerca italiano
Michele Muccini, Roberta Ribera
- 137 Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?
Un racconto sull'esperienza condotta al Festival della Scienza di Genova,
Edizione 2022
Valentina Gargiulo, Michela Alfè
- 153 Scienziate nell'ombra
Barbara Dragoni, Silvia Mattoni
- PROGETTO
- 161 Un modello del sistema immunitario
Giusto Nardi
- 181 *Elenco degli autori*

Presentazione della rivista

Sveva Avveduto, Silvia Mattoni

«Quaderni di Comunicazione Scientifica» è una rivista di informazione e divulgazione che si propone di valorizzare e accrescere la massa critica di conoscenze, stimolando l'interesse e l'attenzione per le questioni di scienza sia degli studiosi sia di un pubblico attento e partecipe.

«Quaderni di Comunicazione Scientifica» invita a raccontare il proprio lavoro facendo della comunicazione/divulgazione uno strumento essenziale di conoscenza anche per diffondere la consapevolezza del valore del pensare scientifico e dell'atteggiamento razionale di fronte ai problemi.

La comunicazione pubblica per il suo stile più leggero e comprensibile, poi, può contribuire al dibattito, superando le barriere che separano ambiti disciplinari diversi e rispondere in maniera più soddisfacente alle necessità di chiarezza e comprensibilità da parte del pubblico, riuscendo anche a soddisfare quanto disposto dalle norme sull'accesso e sulla trasparenza che si sono succedute dagli anni '90 ad oggi.

La struttura del volume prevede le seguenti specifiche sezioni: “Riflessioni e commenti”; “Articoli scientifici” (contributi teorici, ricerche empiriche); “Case histories” (eventi, iniziative, festival scientifici, mostre, ecc.); “Progetti” (campagne di comunicazione, esperienze pratiche, ecc.); “Recensioni”.

La rivista ha carattere multidisciplinare e alterna numeri monografici a collettanee per meglio rispondere alle esigenze informative del pubblico di riferimento. Ha periodicità semestrale ed esce a dicembre e a giugno di ogni anno.

RIFLESSIONI E COMMENTI

In questo numero Lorenzo Pinna, giornalista e divulgatore scientifico, autore di “SuperQuark”, ricorda Piero Angela.

Ricordo di Piero Angela

Lorenzo Pinna

Giornalista e divulgatore scientifico,
autore di “SuperQuark”

È stata una delle figure pubbliche più conosciute e amate dal pubblico televisivo nazionale: Piero Angela, un grande giornalista, protagonista per vari decenni della divulgazione scientifica in Italia (e dei grandi temi legati all’ambiente e al cambiamento climatico) e anche un bravo pianista di jazz. Possiamo paragonarlo a David Attenborough o a Walter Cronkite per fare dei confronti a livello internazionale. Piero Angela non fu soltanto un grande giornalista ma anche un grande intellettuale. Una persona cioè che aveva un importante progetto culturale per il nostro paese, l’Italia. In tempi di grandi trasformazioni innescate dalle scoperte scientifiche e innovazioni tecnologiche spesso è difficile tenere il passo, comprendere e adeguarsi ai cambiamenti.

L’idea di Piero è che il nostro paese avesse un gravissimo ritardo culturale a entrare nella modernità; cioè un deficit nella capacità di comprendere quelli che sono oggi i veri acceleratori dello sviluppo: educazione, conoscenza, competenza, flessibilità, innovazione, capacità progettuale, ecc. Tutte cose importanti anche in passato ma che oggi sono ormai assolutamente necessarie per il moltiplicarsi delle scoperte scientifiche e delle invenzioni tecnologiche. Non comprendere queste connessioni (e trarne le conseguenze) vuol dire tagliare le gambe allo sviluppo. La grande missione di Piero è stata proprio quella di favorire questo cambiamento culturale con i suoi programmi, i suoi libri, e le sue innumerevoli iniziative.



Ma come nasce, giornalmisticamente Piero Angela? Non come giornalista scientifico, ma come corrispondente dall'estero soprattutto dalla fine degli anni '50 agli anni '60 del secolo scorso. Il periodo turbolento della decolonizzazione e Piero, che era a Parigi come corrispondente della RAI (che, all'epoca, aveva un solo canale e questo ci dà l'idea di come siano cambiati i tempi), seguì da vicino le vicende della guerra d'Algeria. Le sue corrispondenze lo portarono in Israele durante la guerra dei sei giorni dove fu testimone dell'esodo biblico dei palestinesi che si rifugiarono in Giordania, attraversando i tronconi bombardati del ponte di Allenby. Oppure in Yemen ad Aden, ormai abbandonata dagli inglesi, dove varie fazioni si contendevano il potere con le armi. O in Iraq per un reportage sulla produzione di petrolio dove venne arrestato come sospetta spia israeliana e poi liberato dopo il chiarimento dell'equivoco o in Vietnam durante le fasi più intense della guerra. Fu anche il corrispondente da Bruxelles e il testimone dei turbolenti inizi della Comunità Europea, quando la grande visione del francese Robert Schuman di un Europa federata con un'unica politica estera, economica e militare naufragò per l'opposizione inflessibile di un altro francese, il generale De Gaulle, e della sua linea politica dell'Europa delle patrie. Un lavoro davvero avventuroso nei centri nevralgici della storia dell'epoca. A questo punto ci possiamo chiedere ma da dove arriva l'interesse di Piero o meglio la sua passione per la divulgazione scientifica? L'illuminazione avviene durante le corrispondenze dagli Stati Uniti per il progetto Apollo. Il progetto che avrebbe portato nel luglio del 1969 il primo uomo sulla Luna. L'incontro con tanti scienziati ed ingegneri, fra i quali anche il leggendario Werner Von Braun, il padre del gigantesco razzo Saturno V alto 110 metri, le visite ai centri della NASA, alle basi di lancio come Cape Canaveral, rappresentano il punto di svolta, la comprensione che la scienza e la tecnologia sono oggi il motore delle società moderne e lo saranno sempre di più in futuro. Ma c'è anche un altro momento molto importante in questa esperienza di corrispondente dalla NASA. Non è il primo passo sulla Luna di Neil Armstrong, ma la missione dell'Apollo 8 che non prevedeva nessuno sbarco, ma solo un'orbita intorno alla Luna per poi tornare sulla Terra. La prova generale. Durante la missione dell'Apollo 8 gli astronauti puntarono la telecamera verso la Terra che apparve, in bianco e nero, come un puntino luminoso perso nell'oscurità del Cosmo. Un pianeta protetto da un sottilissimo strato di atmosfera che ci tiene in vita e sfreccia a 100mila chilometri l'ora intorno al Sole. "E sotto quel sottilissimo velo – come scriveva Piero Angela – ci sono gli uomini che continuano a scontrarsi, a insultarsi e a combattersi. Ecco lo spazio ci aiuta anche a capire quanto siamo insignificanti e quando sia prezio-

so il nostro piccolo angoletto”. È forse l’immagine della Terra come granellino sperduto nell’immensità del cosmo che ispira a Piero alcuni dei suoi programmi più significativi che realizzerà nel corso degli anni ’70 e che riguardano proprio il tema, oggi diremmo, della sostenibilità. Nei primi anni ’70 il Club di Roma fondato da un grande manager, Aurelio Peccei, pubblica il famoso rapporto del MIT (Massachusetts Institute of Technology) sui limiti della crescita. La scienza si comincia a porre numerosi interrogativi sui consumi di energia, sull’esplosione della popolazione, sulle risorse alimentari, sugli inquinamenti che la enorme massa di attività umane riversa nel sottilissimo velo dell’atmosfera. Piero Angela è uno dei primi a spiegare a fondo

le tesi del Club di Roma con un programma del 1973 che si intitola: “Dove va il mondo?” Ed un altro tema emerge da queste trasmissioni di Piero Angela: quello della complessità. Dell’intrico di azioni e reazioni che caratterizza la modernità e rende complicato non solo governare il cambiamento, ma anche capirlo.

Torniamo a Piero, non solo come divulgatore, ma anche come intellettuale con un progetto di rinnovamento della cultura italiana per renderla all’altezza dei tempi. Negli anni ’70 Piero realizza altri programmi di 50 ore sia sul pianeta Terra e le problematiche emergenti sia sullo spazio e su quello che oggi definiremmo le pseudoscienze e le *fake news*, all’epoca chiamate superstizioni e bufale. In una società di massa con una comunicazione di massa conta molto non solo la qualità, sempre indispensabile, ma anche la quantità delle informazioni che vengono trasmesse. Piero si pone quindi l’obiettivo di aumentare il volume dell’informazione scientifica e ambientale della televisione italiana e



non soltanto. Il primo strumento è una rubrica di scienza e tecnologia di circa 50' che comincerà le trasmissioni nel marzo del 1981 e si chiamerà "Quark", come la particella fondamentale della fisica. Lo scopo è di produrre ogni anno non 4 o 6 ore di programmi divulgativi, ma 13 o addirittura 26, considerando anche i documentari acquistati e non prodotti direttamente. Per realizzare questo progetto viene costituita una redazione di giornalisti con esperienza nella divulgazione scientifica (chi scrive ha avuto l'onore di essere uno di quei redattori fin dalla prima puntata). "Quark" è andato in onda per 41 anni, fino all'estate del 2022, dopo aver cambiato il nome negli anni '90 in "Superquark". Considerando gli speciali e i programmi derivati da "Quark" sono state messe in onda migliaia di ore di informazione scientifica in tutti questi anni. Uno degli speciali di "Quark" più importanti è stato dedicato nel 1989 proprio al cambiamento climatico nell'ambito di un grande evento con un pubblico di circa 6 mila persone al Palazzo dello Sport di Torino in occasione di una Conferenza Internazionale sull'Atmosfera. È il caso di ricordare che l'International Panel on Climate Change, l'agenzia dell'ONU che si occupa appunto di cambiamento climatico, venne istituita nel 1988. Con il nostro speciale del gennaio 1989, sull'"Atmosfera così sottile così fragile", siamo stati fra i primi a tentare un'opera di divulgazione su larga scala. Il programma è andato in onda su RAI 1 in prima serata con un pubblico di oltre 4,5 milioni di ascoltatori. Un successo paragonabile a varietà o film. E l'anno successivo nel 1990 è stato prodotto un altro speciale sempre sulle tematiche ambientali.

Il grande progetto culturale di Piero Angela per modernizzare la cultura del nostro Paese, ancora poco consapevole del ruolo della scienza e della tecnologia, si basava su due strumenti principali. Il secondo strumento non è una trasmissione televisiva ma un'associazione di esperti prestigiatori (quindi a conoscenza dei trucchi per far credere ai miracoli e al soprannaturale) per controllare le affermazioni delle pseudoscienze. Il CICAP (Comitato Italiano per il Controllo delle Affermazioni delle Pseudoscienze), viene fondato nel 1989 da Piero Angela e altri scienziati e intellettuali italiani che sottoscrivono questa dichiarazione di intenti:

Giornali, settimanali, radio e televisioni dedicano ampio spazio a presunti fenomeni paranormali, a guaritori, ad astrologi, trattando tutto ciò in modo acritico, senza alcun criterio di controllo; anzi cercando, il più delle volte, l'avvenimento sensazionale, che permetta di alzare l'indice di vendita o di ascolto. Per questo portiamo avanti un'opera di informazione e di educazione rispetto a questi temi, per favorire la

diffusione di una cultura e di una mentalità aperta e critica, e del metodo scientifico basato sull'evidenza nell'analisi e nella soluzione dei problemi.

Un ruolo molto importante nella fondazione e nella formazione dei giovani esperti del CICAP lo ha avuto un grande personaggio americano, James Randi conosciuto anche come *The Amazing Randi* («Lo stupefacente Randi»), un prestigiatore professionista, un razionalista e uno scettico, nonché un oppositore delle pseudoscienze. Era noto in particolare per la One Million Dollar Paranormal Challenge, il premio di un milione di dollari messo in palio dalla sua fondazione, la James Randi Educational Foundation, disponibile per chiunque fosse stato in grado di mostrare, in condizioni scientificamente controllate e preventivamente concordate fra le parti, un fenomeno paranormale di qualsiasi tipo, o legato all'occultismo oppure a un miracolo.

Dunque un grande progetto di rinnovamento culturale sostenuto e promosso da due potenti strumenti di comunicazione di massa. Una trasmissione televisiva di successo, “Quark” e poi “Superquark”, andata in onda per 40 anni e il CICAP, un'associazione che dalla sua nascita ha svolto un'intensa attività di divulgazione, come dice il loro motto, “esploriamo i misteri per raccontare la scienza”. E proprio pochi mesi prima di lasciarci Piero ha voluto consegnare un messaggio alle giovani generazioni con un programma in sedici puntate dal titolo



significativo “Prepararsi al futuro”, dove gran parte delle puntate sono dedicate proprio ai cambiamenti climatici e a tutti i problemi connessi alla transizione energetica. Come ci dice Piero stesso nel suo ultimo messaggio prima di lasciarci:

Malgrado una lunga malattia sono riuscito a portare a termine tutte le mie trasmissioni e i miei progetti, anche sedici puntate dedicate alla scuola sui problemi dell’ambiente e dell’energia. È stata un’avventura straordinaria, vissuta intensamente e resa possibile grazie alla collaborazione di un grande gruppo di autori, collaboratori, tecnici e scienziati. A mia volta, ho cercato di raccontare quello che ho imparato. Carissimi tutti, penso di aver fatto la mia parte. Cercate di fare anche voi la vostra per questo nostro difficile Paese. Un grande abbraccio.

Complessità e news

Giorgio Pacifici

Giornalista scientifico Rai

In un'era mediatica dominata dalla velocità dovuta alle trasmissioni digitali in rete, diventa primario il ricorso alla comunicazione basata su elaborati in forma semplice e diretta, spesso a corredo di immagini, con frasi brevi e riferimenti a esempi di vita quotidiana, in modo da far capire subito di cosa si sta trattando e quali sono le conclusioni. È questo l'alfabeto divulgativo del nuovo millennio: per non scontentare nessuno, si lavora a una forma il più possibile comprensibile a tutti. Per noi divulgatori scientifici queste regole possono valere se si vogliono dare notizie che non abbiano bisogno di un reale approfondimento o per piccole riflessioni legate anche a fatti di cronaca che tirano in ballo spiegazioni di fenomeni che hanno causato danni concreti o hanno conseguenze a medio e lungo termine, ad esempio per la questione dell'emergenza ambientale. Un tipo di espressione che viene resa maggiormente necessaria quando le informazioni sono rivolte a un pubblico generalista, che non fa parte quindi di categorie di ascolto e non è specializzato, quale potrebbe essere l'audience radiotelevisiva.

Ma se di scienza nei media dobbiamo parlare, non possiamo trascurare un'ondata di contenuti che parte dalle nuove scoperte in fisica per estendersi ad altri campi, con ramificazioni nei diversi argomenti. Mi riferisco al concetto di "complessità" e all'approccio probabilistico alla realtà. Concettualmente non è certo una novità: sono idee che cominciano ad entrare nella nostra società dall'inizio del secolo scorso, con la scoperta della fisica quantistica e il rivoluzionario approccio alla conoscenza che essa comporta. Fra gli esempi classici, quello del "paradosso del gatto di Schrodinger", il fisico austriaco vincitore di un Nobel che, per fare comprendere il tipo di atteggiamento da tenere per affrontare le novità epistemologiche in atto e quanto l'azione dell'osservatore sia determinante, invece di fornirci dati e certezze ci presenta il caso di un gatto collegato a un meccanismo mortale che all'interno di un contenitore ha due possibilità di azione. Nella prima, si rifugia in uno spazio privo di pericoli, nella seconda invece va incontro alla sua fine in seguito al contatto con un gas venefico. Ma

è l'osservatore a determinare se il felino si troverà in una stanza o in un'altra agendo sull'apertura della scatola. Cosa vuole dirci lo scienziato? Che si è entrati in un'era di rappresentazione di probabilità. Volendo formulare ipotesi numeriche su questa esperienza, dovremo tenere da conto sia le diverse eventualità che il gatto viva o muoia, sia la possibile azione dell'osservatore. Finché si trova all'interno, il gatto si trova in una "sovrapposizione di stati".

Quanta strada dallo studio della caduta della mela di Newton, che comunque ci ha fornito poi fondamentali leggi gravitazionali, applicabili anche all'Universo!

Con la fisica relativistica e le teorie di Einstein, entra nel lessico comune il difficile concetto di "spazio-tempo", quasi impossibile da rappresentare facendo ricorso alle nostre quotidiane esperienze. Laddove in precedenza si trattava concettualmente di entità separate, spazio e tempo diventano una cosa unica, con effetti e conseguenze precise ma ardue da raffigurare.

Anche nelle cosiddette "scienze sociali" le cose cambiano: con l'etnologia e l'antropologia culturale ci si accorge che il modello di sviluppo occidentale non è che uno fra i tanti. Margaret Mead con il suo *Modelli di cultura* – ma anche Levi-Strauss con la differenza tra società che ripetono cicli storici e società che viaggiano verso futuri che verranno – ci fanno capire che anche noi abbiamo riti intrinsecamente non diversi da quelli dei cosiddetti popoli primitivi. Fino ad arrivare a Ida Magli e al suo *Alla scoperta di noi selvaggi*, che, come in uno specchio, mostra le strutture nascoste dietro al nostro vivere quotidiano.

Non diversamente, c'è stata l'avanzata della statistica e soprattutto della "teoria delle probabilità", collegata all'informatica: la logica dell'algoritmo è collegata alla capacità di postulare casi ed evoluzioni differenti rispetto a una situazione data. Nata attorno al '700, con la "teoria dei giochi", per cercare di prevedere situazioni di gioco d'azzardo, con il tempo è diventata una matematica con leggi sue. Al centro di tutto, la possibilità di individuare sviluppi futuri. Alla base, il vocabolo "if"..."se".... Data una certa situazione, si cerca di prevedere come si potrebbe evolvere, studiando tutte le varianti possibili.

Nozioni di base che nel 2023 hanno applicazioni pratiche immediate e familiari: pensiamo solo alle *maps* satellitari in grado di indicare il percorso migliore rispetto alle variazioni che accadono su strada o agli algoritmi che propongono video o immagini sui social network sulla base di quanto da noi scelto con i motori di ricerca in precedenza.

E non dimentico le novità dell'astronomia, che dipingono un nuovo Universo, profondamente diverso da quanto si studiava in precedenza: con la scoperta

della materia oscura, che costituirebbe la maggior parte del cosmo e spinge a ridimensionare drasticamente l'entità della materia di cui siamo fatti e che ci circonda, ridotta a una bassa percentuale rispetto a tutto quanto esiste.

Un percorso di novità scientifiche e tecnologiche che ha cambiato la nostra visione del mondo. E che è stato definitivamente consacrato con il premio Nobel della Fisica a Giorgio Parisi, assegnato anche per i contributi innovativi alla comprensione dei sistemi fisici complessi, come ad esempio quello di un essere vivente.

Nei suoi libri, il fisico sottolinea il costante lavoro dedicato alla comprensione e anche alla divulgazione del concetto di complessità e le difficoltà per affermare tali pensieri e astrazioni.

A tutti questi campi scientifici che ho descritto, mi riferisco quando rifletto sui modi di descrivere la nuova scienza in termini giornalistici. Un problema non da poco: complessità e probabilità sono idee che hanno ormai ramificazioni concrete dovunque e sono citate continuamente durante le interviste con scienziati e ricercatori.

Come può rappresentarle negli articoli o nei servizi il giornalista generalista che parla a milioni di persone dagli schermi della tv o tramite il web? Per prima cosa, bisogna studiare a fondo gli argomenti e capire di cosa si sta trattando. Cosa non semplice, dato che siamo ancora ai primi passi nella divulgazione di quegli argomenti e, quindi, non ci sono veri sistemi comunicativi di riferimento su cui basarci. La grande platea degli spettatori o dei fruitori del web è abituata – come ricordato – a messaggi semplici e diretti.

Ne ho parlato anche con alcuni scienziati protagonisti, chiedendo consigli ed opinioni. Anche se il sentiero da percorrere è impegnativo, è l'unica strada da fare se si vuole mantenere fede all'impegno divulgativo.

Anche gli esperti devono comunicare le nuove idee nelle Università ai loro studenti. Per farlo, cercano di fare esempi tratti dal quotidiano. Durante un seminario divulgativo, un ricercatore dell'Istituto Fondazione di Oncologia Molecolare (IFOM) di Milano mostrava la progressione delle cellule cancerose nel tessuto normale facendo riferimento a studi recenti sul movimento di gruppi di animali in libertà, come un gregge di pecore. Un'astrofisica mi ha spiegato, invece, l'importanza del "bosone di Higgs", ricordando che nelle prime fasi dello sviluppo dell'Universo il "campo di Higgs" è stato fondamentale: una trama fitta e connessa, simile a melassa. Accezione alimentare che torna utile quando bisogna descrivere anche gli effetti della gravità sullo "spazio-tempo" dovuti alla presenza di stelle e pianeti: per visualizzarli, si prende un lenzuolo

grande, si tira agli angoli e questo potrebbe visualizzare lo spazio-tempo. Per simboleggiare un pianeta, si getta un'anguria al centro del lenzuolo. E le pieghe che produce sul lenzuolo potrebbero essere come le curvature nel cosmo dovute a quella presenza.

Il Nobel Parisi non solo avvicina i concetti della nuova fisica a realtà visibili da tutti, ad esempio nel caso dei “vetri di spin”, magneti che mostrano in modo casuale proprietà a causa della distribuzione probabilistica degli elementi interni. Ma fa oggetto di studi e che studi! Il volo degli storni sui cieli di Roma, ripresi dalla terrazza del Palazzo Massimo. Attraverso il continuo unirsi e allontanarsi degli uccelli, formula la sua “teoria”: un sistema complesso è un sistema descritto da leggi fenomenologiche che non discendono immediatamente dalle leggi che descrivono il comportamento dei singoli componenti.

È forse prendendo spunto dalle attività divulgative di questi protagonisti della ricerca che possiamo cercare di descrivere ai lettori e agli utenti della comunicazione anche i sistemi più complicati e interconnessi. Pensando che con il passare del tempo e l'evoluzione delle conoscenze sarà proprio la nozione di “relazione” fra le diverse parti ad assumere un ruolo di primissimo piano.

ARTICOLI SCIENTIFICI

L'educazione e la comunicazione ambientale ai tempi post-normali

Elisa Cannone, Pierina Ielpo, Mauro Boccolari, Cristina Mangia

Dobbiamo sperimentare e possiamo fallire, e questo non è una tragedia. La tragedia è continuare a credere che sappiamo dove stiamo andando.

Silvio Funtowicz

1. Introduzione

Le sfide ambientali sono sfide complesse perché si manifestano in contesti caratterizzati da alti livelli di incertezza, dovuti alle limitate conoscenze sui sistemi ambientali e all'interazione tra questi e quelli sociali, dominati da forti interessi economico-politici, abitati da molteplici prospettive. Questo comporta spesso un elevato livello di conflittualità tra esperti di una stessa disciplina scientifica, o esperti provenienti da ambiti scientifici disciplinari differenti, tra esperti e società, tra esperti e politica. Le conseguenze di tale complessità sono spesso la mancata individuazione di risposte scientifiche adeguate alla gestione del problema, una perdita di fiducia nei confronti della scienza e delle istituzioni in generale, l'accentuarsi di conflitti territoriali (Mangia, L'Astolina, 2022).

Un esempio è la diffusione dal 2013 dell'agente patogeno vegetale *Xylella fastidiosa* tra gli ulivi in Puglia, in particolare nel Salento, dove l'albero di olivo è il simbolo identificativo di quella regione. Questo evento è stato accompagnato da una serie di discussioni e disaccordi tra comunità di ricercatori, comitati tecnici, esperti agrari, agricoltori, medici e associazioni ambientaliste sulle cause scatenanti la malattia e gli interventi per contrastarla. Conflitti che hanno reso inapplicabili molte misure suggerite dalle istituzioni governative nel corso degli anni. Il non essere riusciti ad individuare una soluzione tecnico/scientifica condivisa tra i diversi attori sociali ha avuto gravi conseguenze sul disseccamento degli alberi, sul paesaggio e sull'economia territoriale del settore olivicolo-oleario (Colella, 2022).

L'approccio tradizionale di interazione tra scienza e società secondo cui gli scienziati forniscono una conoscenza affidabile e imparziale alla politica e alla società, mostra dei limiti di fronte alle attuali sfide ambientali e sanitarie, sia sul piano della conoscenza in generale sia sul piano della relazione scienza-società.

Nei contesti in cui “i fatti sono incerti, i valori in discussione, gli interessi elevati e le decisioni urgenti”, come quelli ambientali e sanitari, Silvio Funtowicz e Jerry Ravetz sviluppano negli anni '90 un nuovo approccio di relazione scienza-società detto “post-normale” (PNS) che prevede l'estensione dei soggetti invitati a partecipare alla gestione del problema in una “comunità estesa di pari” (Funtowicz, Ravetz, 1993).

Il termine post-normale marca la differenza rispetto all'idea di scienza “normale” come definita dal filosofo Kuhn (1962), secondo cui gli scienziati risolvono puzzle all'interno di un paradigma condiviso con le proprie comunità scientifiche di riferimento in una netta distinzione tra fatti e valori.

Il passaggio da un approccio di “conoscenza scientifica” tutta interna alla comunità scientifica, approccio al quale siamo culturalmente formati, ad un approccio di conoscenza più ampio e partecipato rappresenta un passaggio cruciale che solo nuove pratiche educative possono aiutare a fare (Colucci Gray, 2022). Educare a nuove forme di cittadinanza scientifica e a ricerche partecipate in campo ambientale vuol dire educare alla interdipendenza dei saperi e alla multi/trans disciplinarietà.

Gli studi e le pratiche relative all'educazione ambientale trasformativa contribuiscono allo sviluppo di una comunità educata e educante, e consapevole del proprio ruolo di “agente per il cambiamento” in tempi post-normali. L'obiettivo è quello di sostituire agli approcci riduzionisti, basati sull'efficacia del modello stimolo-risultato, un approccio sistemico e post-normale, che prevede una visione olistica che ridefinisce anche il ruolo dell'educazione e dell'educatore.

In questo contributo si presentano alcune esperienze comunicative in cui sono state sperimentate pratiche partecipative. Le prime due esperienze sono state svolte nell'ambito di progetti scolastici in provincia di Lecce e si ponevano come obiettivo sia il coinvolgimento degli studenti sulle tematiche dell'inquinamento rendendoli protagonisti di campagne di monitoraggio della qualità dell'aria, sia quello di far crescere nei ragazzi una coscienza ecologica responsabile. L'altra esperienza è stata svolta all'interno di un Festival, in cui si è sperimentata una nuova forma comunicativa ambientale al confine tra arte, psicologia e scienza.

2. I contesti ambientali e l'approccio post-normale

L'incertezza è una costante nella ricerca scientifica, ma può diventare un problema quando è necessario assumere decisioni politiche (Funtowicz, 2022). Come precedentemente detto, nei contesti in cui “i fatti sono incerti, i valori in

discussione, gli interessi elevati e le decisioni urgenti” Funtowicz e Jerry Ravetz hanno proposto negli anni '90 un nuovo approccio di relazione di scienza-società detto “post-normale” (PNS).

La figura 1 mostra l'icona della PNS. Sull'asse delle x è indicata l'incertezza del sistema mentre sull'asse delle y è indicata la posta in gioco della decisione. Nella zona in blu troviamo la scienza applicata o scienza disciplinare dove sia l'incertezza che la posta in gioco sono basse e sono i ricercatori della stessa disciplina (*peer*) a valutare la qualità della ricerca. Quando entriamo nella zona verde, la qualità viene valutata non soltanto dai pari che svolgono la stessa professione, ad esempio medici, ingegneri, architetti, ecc. ma anche da committenti, pazienti, famiglie dei pazienti; infatti, se un paziente consulta un medico ed è insoddisfatto del suo parere, può chiederne un secondo a un altro medico. Si ha, pertanto, un'estensione della comunità legittimata a valutare la qualità del parere tecnico-scientifico.

Man mano che ci allontaniamo dalla zona blu e dalla zona verde, entriamo in quella arancione, dove l'incertezza del sistema e la posta in gioco della decisione sono molto elevate, in questa area a definire gli scopi e la qualità della ricerca dovrebbe essere una comunità sempre più estesa e allargata (Funtowicz, Ravetz, 1993).

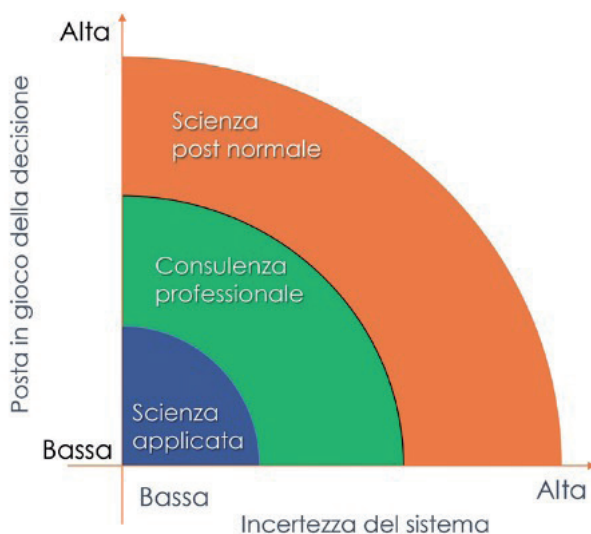


Figura 1
L'icona della scienza post-normale

Nell'area arancione, in cui ricadono i contesti ambientali e sanitari, le questioni sono transdisciplinari, dove il prefisso “trans” significa “oltre” il contesto scientifico. In questi casi, ad essere rilevanti non sono solo le conoscenze prodotte dalle singole discipline scientifiche, ma anche quelle provenienti dalle discipline sociali e umanistiche, quelle derivanti dalla tradizione e dalle esperienze quotidiane.

Questo nuovo impianto epistemico, al confine tra scienza e governance, si focalizza proprio sugli aspetti di problem solving che tendono ad essere trascurati nell'approccio “normale” ovvero: l'incertezza, i valori e la legittimità di differenti prospettive (L'Astorina, Mangia, 2022). Per i due autori, la scienza “normale” ottiene buoni risultati finché i livelli di incertezza sono limitati e gli interessi coinvolti sono bassi.

3. *Educare alla post-normalità*

Il verbo “educare” ha due radici. Ad una prima lettura, la parola *educare* significa condurre a destinazione. In questo processo lineare si identifica uno degli obiettivi più immediati dell'istruzione formale: ottenere titoli e qualifiche necessarie per l'avanzamento della carriera e per la scalata sociale, spingendo gli studenti a concentrarsi sui risultati, e richiede ai docenti di assicurarsi che questi risultati vengano raggiunti. Una seconda lettura del verbo educare è *educere*, che significa condurre o portare fuori. In questo senso, l'educazione assume un connotato performativo ed esperienziale perché invita a prendere coscienza della connessione tra ciò che si conosce e i metodi attraverso i quali vengono acquisite tali conoscenze. Ad esempio, la conoscenza acquisita attraverso i viaggi assume delle forme diverse rispetto alla conoscenza che si apprende a scuola, perciò, dipende molto dal modo e dal mezzo che si utilizza. Al fine di ridefinire il rapporto scienza-società e avvicinare i ragazzi alle tematiche ambientali per aprire il dialogo sulle diverse sfaccettature di una comunità con le sue diverse voci e necessità, l'Italia sta iniziando a pensare a nuove modalità di erogazione di questo tipo di istruzione, a come le scuole dovrebbero adattarsi e a come dovrebbero essere preparati i docenti per affrontare il cambiamento, non solo di comportamenti ma di modalità di guardare il mondo, e con esso il ruolo della scienza nella società attraverso attività di *citizen science* o scienza partecipata (Mayer, 2022). Si tratta di un'educazione che mira a fare esperienza nel mondo, in quanto capace di preoccuparsi dei vari processi della vita che interferiscono tra loro. La *citizen science* viene definita dal mondo istituzionale come “il coinvol-

gimento attivo di cittadini in attività scientifiche che generano nuova conoscenza o comprensione” (European Citizen Science Association ECSA, 2015).

Esistono diversi livelli di coinvolgimento dei cittadini (Bonney *et al.*, 2009): i livelli più bassi sono quelli in cui ai cittadini è affidato il ruolo di fornire dati o di partecipazione nella discussione dei risultati. Nei livelli di coinvolgimento più alti, come la *citizen science* co-creativa alla base dell'approccio post-normale, i cittadini sono invece coinvolti in tutte le fasi del processo scientifico.

Questa tipologia molto rara di *citizen science* rappresenta una forma estrema di democrazia della scienza, una narrazione aperta in continua evoluzione e in continuo divenire: sono proprio i cittadini che sollevano le domande di ricerca e, successivamente, conducono insieme agli scienziati una collaborazione per individuare possibili soluzioni. Un coinvolgimento di questo tipo non è un processo facile, ma per poter cambiare prospettiva e affrontare la complessità delle problematiche ambientali bisogna mettersi in movimento, uscendo dalla propria zona di comfort. La scienza post-normale ha dato nuovi ruoli non solo agli scienziati ma anche ai cittadini che entrano nel processo di gestione di un tema ambientale, avendo alla base la consapevolezza che il sapere non si genera solo nelle accademie e nelle istituzioni di ricerca.

La scienza post-normale ha messo in discussione e reinventato i principi alla base della relazione tra scienza e società, spingendo verso una totale revisione del sistema educativo, per offrire un luogo di de-strutturazione e ri-strutturazione delle modalità in cui le popolazioni umane si relazionano le une con le altre, con i processi del conoscere e con i sistemi naturali. Si esplora così una posizione di parzialità e pluralità del conoscere, basato sulla natura dei sistemi naturali e viventi di cui facciamo parte, che sono dinamici, complessi ed evolutivi. La scienza post-normale non ha bisogno solo di scienziati o di esperti che esaminano e studiano il problema in esame, ma ha bisogno anche e soprattutto di cittadini consapevoli dell'importanza della partecipazione alla costruzione dei problemi e delle soluzioni, e non solo alle decisioni. L'approccio post-normale permette di ricostruire un clima di fiducia tra i cittadini e le istituzioni, di restituire soggettività e di migliorare la qualità della ricerca arricchendola di conoscenze territoriali, mantenendo un canale di comunicazione costante con la popolazione (L'Astorina, Mangia, 2022). Per condurre una ricerca partecipata non esiste un'unica modalità, è importante progettarela considerando il contesto in cui si svolgerà e gli obiettivi prefissati.

Uno dei contributi più significativi sull'educazione alla scienza post-normale si deve alla studiosa Laura Colucci Gray (2022), la quale parte da una prospet-

va dell'Io di fronte al mondo (scienza riduzionista che descrive e misura), passa ad una che rappresenta l'Io nel mondo (scienza della sostenibilità che risponde a nuove sfide e nuovi problemi), e infine introduce un ulteriore passaggio, quello dell'Io come parte del mondo (scienza sostenibile, partecipativa). Quest'ultima posizione è probabilmente la più impegnativa ma anche la più importante, poiché richiede agli educatori di costruire una relazione educativa attenta a ciò che generalmente si situa al di fuori della nostra attenzione. Educare alla post-normalità vuol dire insegnare il rispetto per forme di conoscenza diverse da quella scientifica, per forme di conoscenza che hanno permesso all'umanità di affrontare e superare enormi sfide nel corso della sua storia, preservandone la memoria (Funtowicz, 2022).

4. Esperienze didattiche

4.1. Monitorare l'inquinamento atmosferico negli ambienti interni ed esterni

La prima esperienza didattica è stata svolta nel 2019 dal CNR-ISAC nel liceo scientifico di Galatina (provincia di Lecce) area a forte criticità ambientale per la presenza di una cemeniteria ed altre aziende industriali (Ielpo *et al.*, 2021).

Questa ricerca è stata inserita in un'attività più ampia di coinvolgimento degli studenti sulle tematiche dell'inquinamento atmosferico e di cittadinanza attiva, costruendo con loro un percorso partecipativo esteso attraverso diverse esercitazioni e attività di monitoraggio.

Le domande di ricerca discusse con le scolaresche sono state le seguenti: Quali sono i settori che emettono più inquinanti? Come facciamo a scoprirlo? Dove si trovano i dati ufficiali? Sono più inquinati gli ambienti esterni o quelli interni alla scuola? Come si misura la qualità dell'aria? Com'è la qualità dell'aria nei vari ambienti scolastici? Alle domande è seguita, di concerto con gli studenti, la progettazione di esercitazioni e monitoraggio.

Gli inquinanti presi in considerazione sono stati il *particolato atmosferico* (PM), una miscela complessa di particelle solide e liquide di sostanze organiche ed inorganiche sospese in aria, che possono essere di derivazione naturale o antropica. Il particolato è suddiviso in base al diametro aerodinamico in PM₁₀ con diametro aerodinamico inferiore a 10 µm, in grado di penetrare nel tratto superiore dell'apparato respiratorio e PM_{2,5} con diametro aerodinamico inferiore a 2,5 µm, in grado di raggiungere i polmoni ed i bronchi secondari; i

VOC (Volatile Organic Compounds), una serie di sostanze contenenti carbonio organico caratterizzati dalla volatilità, cioè dalla capacità di evaporare facilmente nell'aria a temperatura ambiente, tra i vari VOC troviamo il benzene, una sostanza chimica organica volatile nota per la sua tossicità, che può essere emesso da fumo di sigaretta, combustioni domestiche, traffico o eventi naturali (incendi dei boschi o fuoriuscita di gas dai vulcani).

La prima esercitazione ha riguardato le fonti inquinanti del proprio comune di residenza.

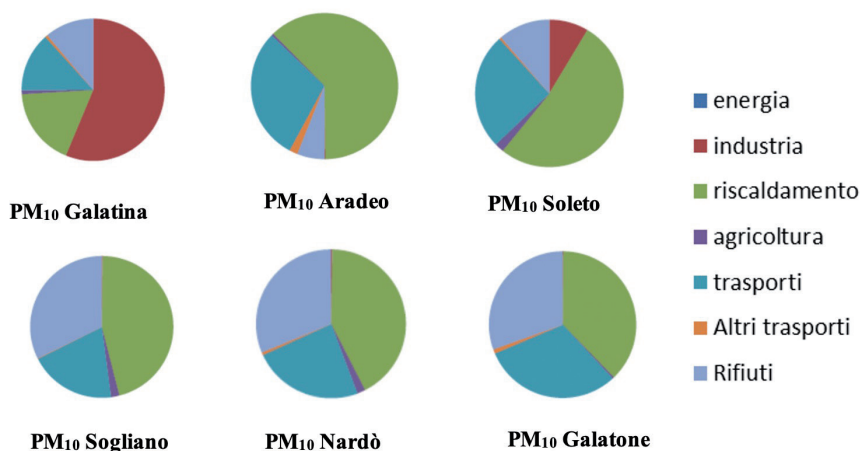


Figura 2
Emissioni PM_{10} nei comuni di residenza degli studenti

Ogni studente/ssa ha creato un grafico a torta con le percentuali delle emissioni di PM_{10} correlate ai diversi macrosettori del proprio comune di residenza. In figura 2, sono mostrati i dati relativamente alle emissioni di PM_{10} . Il confronto ha consentito di mettere in evidenza le differenze tra le emissioni dei diversi comuni: mentre nel comune di Galatina, sede della scuola, le emissioni maggiori sono legate al settore industriale, nei comuni limitrofi le emissioni maggiori sono dovute al riscaldamento e ai rifiuti. Questa prima esperienza ha consentito di prendere consapevolezza e discutere delle emissioni che provengono da diversi macrosettori emissivi, di qual è l'impatto del singolo comune e di quali le possibili azioni da intraprendere.

Un'altra attività è stata quella di monitoraggio della qualità dell'aria, con lo

strumento Aerosol DustTrack™. Con gli studenti sono stati individuati diversi siti della scuola dove misurare le contaminazioni da aerosol come polveri, fumo, fumi e nebbie, grazie a questo fotometro laser portatile. Sono state registrate le concentrazioni di PM₁₀ e PM_{2.5} in µg/m³ nell'atrio esterno, in classe vicino alla cattedra, la finestra, a terra, nei bagni delle ragazze e nei bagni dei ragazzi e nelle segreterie, successivamente all'analisi dei dati è stato creato il grafico in cui si nota che le concentrazioni maggiori sono state rilevate nei bagni dei ragazzi, legate al fumo di sigaretta (fig. 3).

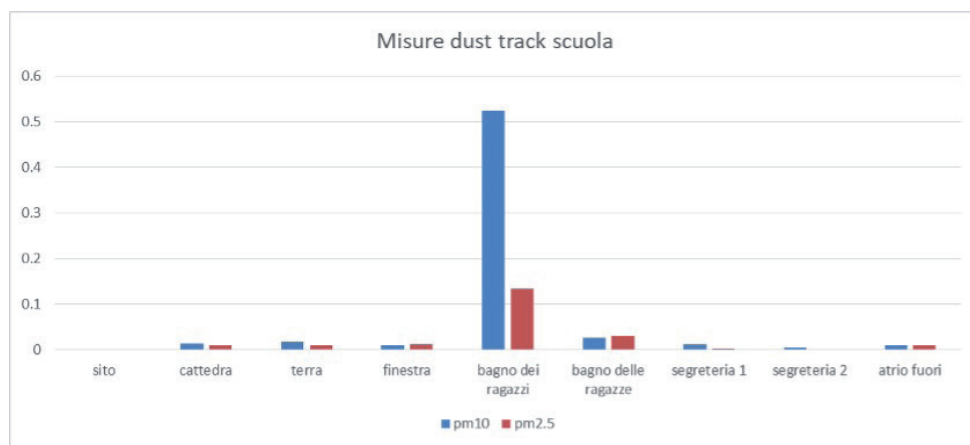


Figura 3
Misure rilevate nei vari ambienti della scuola

Per rilevare, invece, la presenza di VOC sono stati utilizzati due strumenti che danno informazioni complementari: una strumentazione ad alta risoluzione temporale Corvus (Labservice s.r.l., Italia), che fornisce un'informazione quantitativa dei VOC totali (tVOC), permettendo di osservarne la variazione durante la giornata e campionatori passivi Radiello® (fondazione Maugeri, Italia) che consentono di determinare i singoli composti organici volatili presenti nell'aria campionata, fornendo valori di concentrazione media del periodo di esposizione (circa 3 giorni).

Con il Corvus sono state registrate le concentrazioni di tVOC sulla scala del minuto, sia in ambiente interno che esterno. Il confronto tra le due serie ha messo in evidenza come le concentrazioni interne fossero sempre maggiori di quelle esterne, indicando la presenza di sorgenti interne di tVOC. Dall'analisi

del profilo giornaliero all'interno dell'aula è, generalmente, emersa la presenza di due picchi di concentrazione: uno durante la mattina e l'altro di pomeriggio, non direttamente collegati all'intrusione esterna. È plausibile pensare che le maggiori concentrazioni di tVOC registrate durante le ore scolastiche siano dovute alla presenza degli studenti e al loro utilizzo di vernici acriliche/tempera, pennarelli indelebili contenenti solventi aromatici e alcani, profumi e deodoranti dopo le attività in palestra ed alla scarsa ventilazione dell'aula a causa della stagione invernale. Alcuni picchi di tVOC registrati nel pomeriggio hanno mostrato all'incirca la stessa durata e fascia oraria, suggerendo un possibile legame tra le concentrazioni di tali inquinanti e le attività di pulizia.

I campionatori Radiello® sono stati posizionati in vari ambienti indoor della scuola ed in uno outdoor, e i ragazzi si sono impegnati a sostituirne le cartucce ogni 3-4 giorni. Le analisi chimiche sui campionatori sono state condotte da laboratori specializzati. Dal confronto tra le concentrazioni medie indoor ed outdoor è emerso come gli ambienti interni ed esterni siano, da un lato, caratterizzati da sorgenti di VOC differenti e, dall'altro, come alcune sorgenti outdoor possano influenzare l'aria indoor.

Durante il periodo dell'esperienza, inoltre, si sono verificati due eventi che hanno suscitato interesse nella popolazione: un incendio nella zona industriale a ridosso di un capannone in un comune a 3 km dalla scuola ed una grande manifestazione a Taranto, sede di una delle più grandi acciaierie d'Europa.

Insieme ai ragazzi si è discusso dell'incendio ed è stata svolta insieme un'esercitazione per ricostruire il percorso della nube di fumo, grazie all'utilizzo di Google Earth e dei dati meteorologici ricavati da siti ufficiali.

L'occasione della manifestazione ha invece permesso di approfondire con i ragazzi il caso Taranto, sul quale entrano in gioco, scontrandosi, diversi interessi: quelli economici dell'azienda, quelli di salute della cittadinanza, e quelli di lavoro degli operai, sviluppando conflitti tra ambiente, salute e modelli di sviluppo.

Questa esperienza didattica ha consentito di far comprendere come una qualsiasi indagine ambientale vada contestualizzata al territorio, che una campagna di monitoraggio in qualsiasi ambito risponde alle domande e che andrebbe co-progettata con chi vive quel contesto.

4.2. Inquinamento atmosferico tra misure, percezioni e atteggiamenti

Durante l'anno scolastico 2021/22 è stata svolta un'altra attività didattica nell'ambito del Progetto di Alternanza Scuola-Lavoro con la classe V dell'Isti-

tuto “Grazia Deledda” di Lecce indirizzo di Chimica Materiali e Biotecnologie Ambientali.

In questa esperienza didattica, gli studenti e le studentesse sono stati coinvolti nelle analisi chimiche del particolato atmosferico raccolto all'esterno della propria scuola in diversi giorni e nel confronto spaziale con i dati del PM_{10} misurati in altri siti nella provincia di Lecce.

L'analisi chimica del particolato, svolta nel laboratorio scolastico, ha mostrato come varia giorno per giorno la composizione chimica del particolato con alcune delle componenti presenti solo in alcuni giorni.

4.2.1. Il questionario. Prima e dopo l'esperienza in laboratorio sono stati realizzati e somministrati due questionari di 19 domande, di cui 18 a risposta chiusa e una domanda facoltativa a risposta aperta, alla classe costituita da 11 studenti e 3 studentesse di età compresa tra 18 e 19 anni. L'obiettivo dell'indagine era duplice: da una parte evidenziare le conoscenze pregresse dei ragazzi e delle ragazze della classe specifica, dall'altra comprenderne gli atteggiamenti e la percezione riguardo il tema inquinamento, prima di cominciare l'esperienza didattica.

Da parte degli studenti è stata evidenziata l'importanza della scuola ritenuta la fonte principale di informazione sui temi ambientali. Per l'83 % dei rispondenti le problematiche ambientali dovrebbero essere affrontate di routine all'interno della scuola attraverso attività di educazione alla cittadinanza scientifica, che consentano di affrontare il tema in maniera trasversale con altre materie. La maggioranza dei ragazzi si è mostrata consapevole che l'inquinamento ambientale è una tematica complessa, che interseca i settori scientifico-economico-politico (fig. 4).

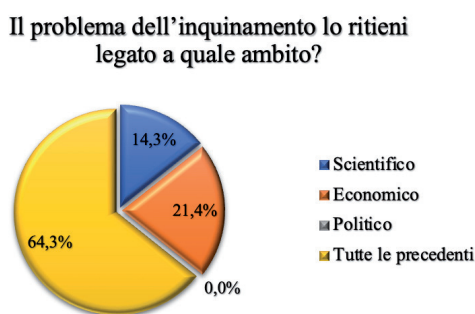


Figura 4
L'inquinamento atmosferico, un tema complesso

Alla domanda “Pensi che si raggiungerà uno stato migliore dell’ambiente in futuro?” il 50% ha risposto no (fig. 5).

Pensi che si raggiungerà uno stato migliore
dell'ambiente in futuro?

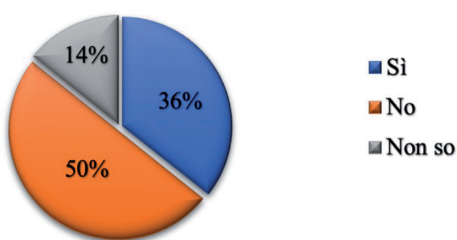


Figura 5
Il futuro dell’ambiente

A fronte di un pessimismo diffuso nei confronti delle istituzioni è emerso un atteggiamento di fiducia nei movimenti ambientalisti: il 92% degli studenti era a conoscenza del movimento *Fridays for future*, e un 58% era convinto che un movimento del genere potesse incidere sulle politiche per l’ambiente. Ha fatto riflettere una risposta sulla complessità delle crisi ambientali e il senso di impotenza interiorizzato: “gira tutto intorno ai soldi, anche se questo va a discapito dell’ambiente”.

Infine, il 75% si è manifestato convinto della necessità di intraprendere azioni di mitigazione. La maggior parte degli studenti e delle studentesse ha valutato come importante e interessante l’essere stato di supporto nella raccolta e nell’elaborazione dei dati sull’inquinamento atmosferico alle esperte del CNR-ISAC, sottolineando l’importanza della diffusione dell’informazione sulla qualità dell’aria per formare una cittadinanza scientifica consapevole.

Sebbene il numero ridotto e la specificità del campione non consentano alcuna generalizzazione, riteniamo importante una valutazione di questo tipo sia per poter meglio interagire con la classe sia per interrogarsi su atteggiamenti e percezione in generale delle nuove generazioni.

4.3. Comunicare le crisi ambientali attraverso l'arte

Il dialogo tra arte e scienza potrebbe avere molti effetti positivi per comunicare le crisi ambientali: può aiutare a riscoprire e ripensare il ruolo della “narrazione” e dei “modelli narrativi” (Bateson, 1999) al fine di migliorare l'esperienza percettivo-sensoriale e il piacere di creare e manipolare. Potrebbe anche essere un mezzo per costruire e sviluppare un'identità ecologica o un senso di sé come componente di un ecosistema (Clayton, Opatow, 2003). Abbracciare la realtà, la scienza e la natura significa sentire e apprezzare la bellezza (Dirac, 2018). Pertanto, apprezzare la bellezza nella scienza e tenerne conto nell'educazione potrebbe aiutare a comprendere la scienza in un modo più espressivo ed emotivo, come una scienza “incarnata” che ci dà un senso di appartenenza.

Nella primavera del 2022 si è svolto a Lecce il Festival delle Catastrofi e di altri passaggi generativi, organizzato da Psi.f.i.a. (Psicoterapeuti per la Famiglia, l'Infanzia e l'Adolescenza) con l'obiettivo di divulgare, informare e sensibilizzare il territorio sul tema delle crisi mettendo insieme arte, scienza, psicoanalisi e cittadinanza. Uno degli incontri è stato focalizzato sul tema Uomo e natura: le crisi ambientali. L'incontro si è svolto attorno al tavolo specchiante “Love Difference” dell'artista Michelangelo Pistoletto (Pistoletto, 2002), che ha la forma del Mediterraneo circondato da sedie tutte diverse provenienti dai Paesi del Mediterraneo (fig. 6).



Figura 6
Incontri al limite sul rapporto uomo-natura

Le diverse sedie, sulle quali i/le partecipanti si sono seduti, sono diventate le molteplici e diverse prospettive sul tema delle crisi. Tra le tante differenze è emersa anche quella generazionale riguardante gli stili di vita (come ci muoviamo, cosa mangiamo): nonostante la maggior parte dei presenti fosse a conoscenza degli impatti di tali scelte sull'ambiente, le generazioni più adulte si sono mostrate meno disposte a rinunciare ai comfort e al proprio stile di vita, figlio di un sistema capitalistico poco attento all'ambiente. Sebbene fossero stati presenti diversi temi di crisi, il tema ricorrente attorno al tavolo specchiante è stato la *Xylella* e la crisi che ha portato nella gente del posto la perdita di identità e del riconoscimento delle proprie radici. Questo conferma che le problematiche ambientali vengono sentite maggiormente quanto più si avvicinano al contesto di vita del singolo e non dell'umanità in generale. Il Salento, a partire dal 2013, ha visto le chiome verdi dei propri olivi apparire improvvisamente striate di chiazze marroni, sempre più grandi, come se venissero seccate da lingue di fuoco. Di conseguenza, anche il legame tra l'uomo e la pianta ha subito una crisi, un legame che oltrepassa il semplice scopo produttivo, ma una vera e propria forma d'amore che trae origine dalle radici stesse della tradizione popolare salentina. Le differenti posizioni e prospettive di scienziati, politici e movimenti territoriali hanno di fatto inceppato il processo comunicativo e quindi la risoluzione del problema (Colella, 2022). Sempre a proposito della questione *Xylella*, interessante è anche un'altra forma di comunicazione che prova a mettere insieme arte e scienza. Si tratta del progetto "la Favolosa" di Michela Anastasia (fig. 7), un'artista leccese che riprende il tema della perdita di identità causata dal patogeno *Xylella*. L'artista ha creato un mono-orecchino costituito da otto foglie di pelle dorata, otto come il simbolo dell'infinito e dorate come l'olio che rappresenta l'oro liquido del Salento. L'orecchino si indossa al lobo dell'orecchio sinistro, per fare in modo



Figura 7
Il mono-orecchino "la Favolosa"

che i suoi venticinque centimetri di lunghezza arrivino fino al cuore. Il nome del progetto è un riferimento alla “Favolosa 17”, una speciale varietà di ulivo tra i più resistenti all’attacco della malattia. Un’iniziativa per raccogliere fondi per l’acquisto di nuove piante d’ulivo che ripopoleranno il territorio e restituiranno al Salento il suo tesoro perduto. Anche indossare l’orecchino può diventare un modo di comunicare la crisi ambientale e le forme di resistenza e resilienza che si possono mettere in atto.

5. *Considerazioni conclusive*

Come emerso da diversi studi scientifici relativi alle crisi ambientali, ma come emerso anche in piccolo nelle esperienze descritte, la maggioranza delle persone ha interiorizzato un senso di impotenza legato all’idea che la situazione sia troppo complessa per poter fare qualcosa per risolverla. La diffusione da parte di scienziati di dati e indicazioni scientifiche può risultare insufficiente per suscitare comportamenti e azioni di mitigazione (Odou *et al.*, 2021). Per superare il senso di impotenza è necessario immaginare ed educare a intravedere possibili scenari di trasformazione, educare alla pluralità degli sguardi sulle crisi ambientali e alla consapevolezza della parzialità del proprio sguardo.

Fondandosi sulla consapevolezza che la conoscenza non può essere trasmessa da un soggetto all’altro come oggetto, ma piuttosto deve essere creata attraverso lo scambio e la partecipazione sociale, attraverso la comunicazione tra le varie discipline ed i diversi tipi di conoscenze ed esperienze, l’approccio partecipativo alla base della scienza post-normale è una possibile risposta alla gestione delle crisi ambientali. Nelle pratiche descritte si sono sperimentate nuove forme di comunicazione e coinvolgimento sia a livello scolastico sia divulgativo in generale.

La scuola rimane il mezzo di comunicazione più importante per promuovere l’educazione alla cittadinanza e alla democrazia. Nelle esperienze descritte si è provato un coinvolgimento diretto degli studenti e delle studentesse in tutte le fasi delle attività: dall’individuazione dei siti, al monitoraggio, fino alla discussione e interpretazione dei risultati. Si è provato ad indagare atteggiamenti e percezioni verso l’ambiente presente e futuro. L’obiettivo era quello di trasformare le competenze scientifiche in competenze di cittadinanza attiva per sensibilizzare verso azioni di mitigazione e adattamento ai problemi ambientali, al fine di individuare la modalità migliore per fare entrare queste pratiche nella quotidianità.

Il limite delle esperienze didattiche proposte è principalmente la loro sporadicità e il non essere strutturate nel percorso curricolare. I temi scientifici vengono di solito presentati come un quadro normativo astratto, e il metodo scientifico è mostrato in modo semplificato come un percorso ideale e rettilineo dall'ipotesi alla tesi, senza enfatizzare le diverse prospettive che entrano in gioco, specie quando si affrontano questioni ambientali. L'insegnamento rimane spesso teorico e nozionistico, privo della parte pratica esperienziale e sperimentale; mentre, una scienza partecipativa e inclusiva di più punti di vista, contribuisce a rendere la "narrazione della scienza" più aderente alla realtà.

Le diverse esperienze hanno messo in evidenza quanto le attività partecipative possano essere mezzi efficaci per problematizzare la crisi ambientale, promuovendo allo stesso tempo strumenti per immaginare possibili trasformazioni nella relazione scienza-società e conseguenti azioni di mitigazione o adattamento.

Bibliografia

- Bateson G. (1999), *Mente e natura*, Milano, Adelphi.
- Bonney R., Ballard H., Jordan R., McCallie E., Phillips T., Shirk J., Wilderman C.C. (2009), *Public Participation in Scientific Research: Defining the Field and Assessing Its Potential for Informal Science Education. A CAISE Inquiry Group Report*, online submission.
- Cervino M., Mangia C. (2022), *Incontri al limite*, «Sapere» (Edizioni Dedalo), 88 (5), p. 49.
- Clayton S., Opatow, S. (a cura di) (2003), *Identity and the Natural Environment: The Psychological Significance of Nature*, Cambridge MA, MIT Press.
- Colella C. (2022), *Emergenza Xylella in Puglia: scienziati, istituzioni e movimenti a confronto con un 'certo' patogeno, una patologia 'in disputa', e piante ad 'alto valore'*, in L'Astorina A., Mangia C. (a cura di), *Scienza, politica e società: l'approccio post-normale in teoria e nelle pratiche*, Roma, CNR Edizioni ("Scienziati in affanno?", vol. 1), <https://doi.org/10.26324/SIA1.PNS>.
- Colucci-Gray L. (2022), *Educare in tempi post-normali: esplorare una pedagogia per "stare nel mondo"*, in L'Astorina A., Mangia C. (a cura di), *Scienza, politica e società: l'approccio post-normale in teoria e nelle pratiche*, Roma, CNR Edizioni ("Scienziati in affanno?", vol. 1), <https://doi.org/10.26324/SIA1.PNS>.
- Dirac P.A.M. (2018), *La bellezza come metodo*, Milano, Raffaello Cortina Editore.
- ECSA (European Citizen Science Association) (2015), *Ten Principles of Citizen Science*, Berlin, <http://doi.org/10.17605/OSF.IO/XPR2N>.

- Funtowicz S. (2022), *Cos'è e cosa non è la scienza post-normale?*, in L'Astorina A., Mangia C. (a cura di), *Scienza, politica e società: l'approccio post-normale in teoria e nelle pratiche*, Roma, CNR Edizioni ("Scienziati in affanno?", vol. 1), <https://doi.org/10.26324/SIA1.PNS>.
- (2003), *Scienza e decisioni di policy*, «Politeia», 70, pp. 24-36.
- Funtowicz S.O., Ravetz, J.R. (1993), *Science for the Post-Normal Age*, «Futures», 25(7), pp. 735-755.
- Ielpo P., Mangia C., De Gennaro G., Di Gilio A., Palmisani J., Dinoi A., Bergomi A., Comite V., Fermo P. (2021), *Air Quality Assessment of a School in an Industrialized Area of Southern Italy*, «Applied Sciences», 11 (19), 8870.
- Kuhn T.S. (1962), *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago, University of Chicago Press. original edition.
- L'Astorina, A., Mangia, C. (2022), *La scienza post-normale in Italia tra prospettive teoriche e pratiche di ricerca partecipativa*, in Id. (a cura di), *Scienza, politica e società: l'approccio post-normale in teoria e nelle pratiche*, Roma, CNR Edizioni ("Scienziati in affanno?", vol. 1), <https://doi.org/10.26324/SIA1.PNS>.
- Mangia C., L'Astorina A. (2022), *Perché sono necessari nuovi approcci di indagine al confine tra scienza e politica?*, in L'Astorina A., Mangia C. (a cura di), *Scienza, politica e società: l'approccio post-normale in teoria e nelle pratiche*, Roma, CNR Edizioni ("Scienziati in affanno?", vol. 1), <https://doi.org/10.26324/SIA1.PNS>.
- Mayer M. (2022), *Scienza post-normale. Educazione post-normale?*, in L'Astorina A., Mangia C. (a cura di), *Scienza, politica e società: l'approccio post-normale in teoria e nelle pratiche*, Roma, CNR Edizioni ("Scienziati in affanno?", vol. 1), <https://doi.org/10.26324/SIA1.PNS>.
- Odou P., Schill M., Navarro M. (2021), *How can we communicate effectively about climate change?*, in Dekhili S. (a cura di), *Marketing for Sustainable Development: Rethinking Consumption Models*, 1st ed., Hoboken NJ, Wiley & Sons, pp. 137-154.
- Pistoletto M. (2002), "Love Difference Manifesto", Biella, Cittadellarte.

Dal dibattito tra Einstein e Bohr al premio Nobel per la Fisica 2022

Idee e fatti che hanno portato alla “Seconda Rivoluzione Quantistica”

Carminé Granata

Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti del CNR

1. Introduzione

Il 4 ottobre 2022, l'accademia reale svedese delle scienze ha assegnato il premio Nobel per la Fisica ad Alain Aspect, John F. Clauser e Anton Zeilinger per i loro esperimenti su un fenomeno squisitamente quantistico conosciuto come *entanglement quantistico* e per avere posto le basi sperimentali dell'informazione e della computazione quantistica.

In questo articolo proveremo ad illustrare i concetti fondamentali di questo interessante e per certi aspetti misterioso argomento che ha avuto e avrà un grande impatto sulle attuali e sulle future tecnologie.

È opportuno premettere che il modo con cui si cerca di divulgare un argomento scientifico è di fondamentale importanza. Molte volte si tende ad essere molto tecnici allontanando quasi immediatamente l'interesse delle persone che non hanno quelle conoscenze tecniche, altre volte si va nell'estremo opposto rischiando di travisare e/o mistificare completamente i concetti. È evidente che non è facile e che dietro alla buona divulgazione sia televisiva sia su riviste c'è tantissimo lavoro e talento.

Nel caso particolare della fisica moderna (meccanica quantistica e teoria della relatività) ci sono ulteriori criticità legate all'impossibilità, con un pubblico non specialistico, di utilizzare il linguaggio matematico avanzato. A questo si aggiunge la necessità di esporre concetti completamente contro-intuitivi e fuori dal senso comune, tipici della fisica moderna, per cui in alcuni casi le metafore comunemente usate rischiano di essere fuorvianti. Lo stesso insegnamento di questi argomenti a livello universitario non ha un consolidato protocollo di insegnamento, come accade per la fisica classica. Nel caso particolare della meccanica quantistica, a volte viene preferito un approccio storico cronologico degli argomenti che però prevede un inizio particolarmente difficile (spettro di corpo nero), in altri casi si preferisce un'impostazione assiomatica molto simile

ad una pura teoria matematica. In questo articolo, dopo una introduzione in cui vengono esposti in maniera succinta e semplice le basi della meccanica quantistica con particolare attenzione allo sviluppo storico dei concetti, si discutono, nel terzo paragrafo, i fondamenti concettuali e i paradossi della meccanica quantistica che sono stati alla base delle celebri controversie tra Albert Einstein e Neil Bohr ma che al contempo hanno ispirato teorie ed esperimenti, portando allo sviluppo delle tecnologie quantistiche che molto probabilmente in un prossimo futuro entreranno in maniera capillare nella nostra vita.

2. La meccanica quantistica: il bizzarro mondo atomico e subatomico

La meccanica quantistica e la teoria della relatività di Albert Einstein hanno completamente cambiato il modo di guardare il mondo introducendo dei concetti contro-intuitivi e in netto contrasto con il senso comune (Al-Khalili, 2014; Lederman, Christopher, 2013; Pais, 2012). È per certi versi sorprendente pensare che nel 1900, uno dei più autorevoli fisici dell'epoca, William Thomson, meglio noto come Lord Kelvin, nel settembre del 1900, all'assemblea della British Association for the Advancement of Science, a Bradford (UK), abbia pronunciato la seguente frase: "Ormai in fisica non c'è più nulla di nuovo da scoprire. Tutto ciò che rimane da realizzare sono misure sempre più precise". Ed è proprio da alcune delle misure a cui faceva riferimento Lord Kelvin che nacquero le succitate teorie delle relatività e meccanica quantistica che, insieme al calcolo infinitesimale sviluppato da Isaac Newton e Gottfried Leibniz circa due secoli prima, possono essere considerate tra le vette più alte conquistate dalla scienza.

Se la teoria della relatività può essere considerata un capolavoro dell'intelletto umano essenzialmente ad opera di un solo uomo, la meccanica quantistica, ossia la teoria che descrive il mondo su scala atomica e subatomica, è una monumentale opera dovuta a diversi talenti della fisica del secolo scorso. Furono proprio i rivi sperimentali di cui parlava Lord Kelvin a dar luogo a questa straordinaria teoria che ha introdotto nuovi paradigmi nella fisica e ha avuto un notevole impatto tecnologico. Una delle invenzioni più importanti del XIX secolo, fu la lampadina ad incandescenza ad opera di Thomas Edison nel 1878; con la crescente diffusione di questo nuovo tipo di illuminazione, la comunità scientifica rivolse molto interesse allo studio dell'interazione della radiazione elettromagnetica (di cui è fatta la luce) con la materia. In particolare, suscitava molto interesse la radiazione elettromagnetica emessa da un corpo

riscaldato, radiazione di corpo nero. Qualsiasi corpo a temperatura superiore allo zero assoluto ($-273,15$ gradi centigradi) emette radiazione elettromagnetica la cui energia e frequenza principale dipende dalla temperatura. Utilizzando le leggi della fisica classica (termodinamica ed elettromagnetismo) non si riusciva a spiegare l'andamento dell'energia elettromagnetica emessa da un corpo in funzione della frequenza a temperatura fissata. Nel 1900 il fisico tedesco Max Planck propose una soluzione molto stravagante per spiegare il fenomeno a cui non credeva fino in fondo nemmeno lui, anzi la considerava una sorta di forzatura matematica per spiegare gli andamenti sperimentali. Planck ipotizzò che all'equilibrio termico lo scambio di energia tra la radiazione elettromagnetica e le pareti del corpo nero potesse avvenire solo in maniera quantizzata, ossia per pacchetti di energia discreti e multipli della quantità $h\nu$ dove h è una costante che in seguito fu chiamata costante di Planck e ν è la frequenza della radiazione elettromagnetica. La strana ipotesi di Planck permise di spiegare alla perfezione i dati sperimentali e pose le basi di una nuova teoria destinata a cambiare il modo di vedere il mondo. Nel 1905, il giovane Einstein, sfruttando l'ipotesi di Planck, riuscì a spiegare un altro fenomeno molto interessante che non si riusciva a comprendere con le conoscenze di fisica classica. Si trattava dell'effetto fotoelettrico, che prevede l'emissione di elettroni da parte dei metalli quando vengono colpiti da una radiazione elettromagnetica con una frequenza maggiore di una certa soglia che dipende dal materiale. Einstein ipotizzò che la luce avesse una natura corpuscolare oltre a quella ondulatoria, ossia fosse fatta di particelle luminose (fotoni, quanti della radiazione elettromagnetica) la cui energia era appunto dato da $h\nu$. Un ulteriore e schiacciante prova della natura corpuscolare della luce fu fornita dall'effetto Compton (1922) in cui un fotone, in seguito ad un urto con un elettrone, perde energia e diminuisce la sua frequenza. La spiegazione di fenomeni sperimentali con le ipotesi dei quanti non finisce qui: nel 1913 un altro gigante della meccanica quantistica, il fisico danese Niels Bohr, riuscì a spiegare gli spettri di emissioni ed assorbimento degli atomi con un modello atomico quantizzato in cui l'elettrone girava intorno al nucleo potendo muoversi solo su determinate orbite definite da un preciso raggio. Se un atomo veniva investito da un fotone avente un'energia pari alla differenza di energia tra due orbite contigue, l'elettrone saltava in un'orbita con un raggio maggiore avente una maggiore energia ed assorbiva il fotone incidente, se invece saltava spontaneamente in un'orbita con un raggio più piccolo avente una minore energia, emetteva fotoni. Oramai c'erano troppi indizi per poter pensare che l'ipotesi di Planck fosse solo un artificio matematico per spiegare la radiazione di corpo

nero, e quindi lo stesso Planck, molto scettico, si dovette convincere dello strano comportamento della natura e con rammarico disse: “Ho cercato per molti anni di salvare la fisica da livelli energetici discontinui”. Ma l’ipotesi più strana e che sta alla base dello sviluppo della teoria quantistica è quella del conte francese di origine piemontese Louis De Broglie, il quale nel 1924 partendo dal dualismo onda-particella per i fotoni introdotto da Einstein, propose che anche la materia potesse avere una natura ondulatoria. Detto in altri termini, un corpo si può comportare come un’onda dando vita ai tipici fenomeni ondulatori come l’interferenza e la diffrazione. Ovviamente se l’ipotesi di De Broglie non avesse dato una forte indicazione per un semplice e diretto test sperimentale, sarebbe stata accantonata e liquidata come la folle idea di un giovane dottorando benestante. Nel 1927, i due fisici sperimentali Clinton Davisson e Lester Germer spararono un fascio di elettroni su un cristallo di nickel e osservarono uno spettro di diffrazione tipico di una onda, confermando la stravolgente ipotesi di De Broglie. “Un fenomeno che è impossibile spiegare classicamente e che contiene il cuore della meccanica quantistica”, come disse il grande fisico statunitense Richard Feynman. La natura ondulatoria della materia è stata successivamente confermata da ulteriori esperimenti, tra cui quello famoso della doppia fenditura realizzato per la prima volta nel 1974 da tre scienziati italiani (Merli *et al.*, 1976) in cui gli elettroni attraversavano uno alla volta una doppia fenditura dando luogo alla tipica figura di interferenza dei fenomeni ondulatori (figura 1). Secondo un sondaggio lanciato dalla rivista «Physics World» nel 2002 (Crease, 2002), l’esperimento della doppia fenditura, utilizzando singoli elettroni, risultò il più bell’esperimento di fisica realizzato nel corso della storia.

Infine, l’altra profonda rottura con i concetti di fisica classica venne dal famoso principio di indeterminazione introdotto nel 1927 da un altro padre fondatore della meccanica quantistica, il fisico tedesco Werner Heisenberg, secondo il quale non è possibile determinare con estrema precisione e, allo stesso tempo, la posizione e la velocità di una particella. Tale principio era in netto contrasto con la meccanica di Newton in quanto, non essendo possibile determinare con precisione assoluta la posizione e la velocità all’istante iniziale di una particella, non permetteva di determinare nel mondo atomico e sub-atomico la traiettoria di una particella (Heisenberg, 2016).

Oramai i tempi erano maturi per elaborare una teoria che in maniera coerente e senza utilizzare ipotesi *ad hoc* potesse spiegare i fenomeni quantistici osservati fino ad allora e prevederne altri. Tra il 1925 e 1926 furono elaborate due versioni equivalenti della teoria quantistica: la meccanica delle matrici e la meccanica

ondulatoria. In particolare, il fisico austriaco Erwin Schrodinger, basandosi sull'ipotesi di De Broglie, arrivò alla formulazione di un'equazione d'onda che porta il suo nome e che si può considerare l'equazione fondamentale della meccanica quantistica, analoga alla famosa formula di Newton per la meccanica classica. Nell'equazione di Schrodinger l'incognita era una funzione d'onda che inizialmente si pensava potesse rappresentare un'onda elettronica, ma alla quale il fisico tedesco Max Born nel 1927 diede un'interpretazione probabilistica: il modulo quadro della suddetta funzione rappresentava la probabilità di trovare la particella in un dato punto e in un istante fissato. La nuova meccanica, basata sull'equazione di Schrodinger e ragionevoli condizioni matematiche da imporre alla funzione d'onda, riusciva a predire con una notevole precisione e senza nessun ipotesi *ad hoc* il comportamento degli atomi, delle molecole, della materia condensata e, nella sua versione relativistica, anche il comportamento dei nuclei atomici, delle particelle elementari e delle interazioni fondamentali. Inoltre, essa ha determinato una rivoluzione tecnologica di enorme portata (prima rivoluzione quantistica), basti pensare all'invenzione dei transistor a semiconduttore, laser, microscopio elettronico, diagnostica per immagini e medicina nucleare. Tuttavia, i fondamenti concettuali della meccanica quantistica sono stati oggetto e per certi aspetti lo sono ancora oggi, di animate dispute e controversie dovute alle diverse interpretazioni (Fisicaletti, 2015).

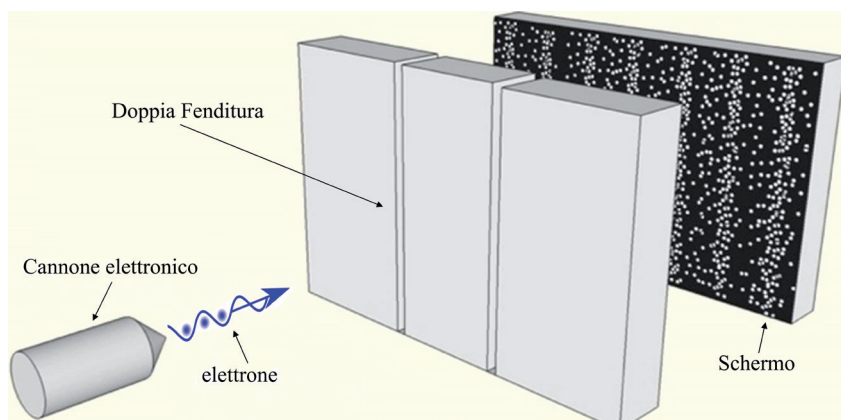


Figura 1
Rappresentazione schematica dell'esperimento della doppia fenditura

3. *Gatto di Schrodinger, entanglement e la seconda rivoluzione quantistica*

L'interpretazione più diffusa della meccanica quantistica è quella di Copenaghen o ortodossa sviluppata alla fine degli anni Venti del secolo scorso. Oltre al significato statistico-probabilistico della funzione d'onda, tale interpretazione ipotizza che, in generale, un sistema o stato quantistico può essere descritto da una funzione d'onda, soluzione dell'equazione di Schrodinger, e che tale funzione è data dalla sovrapposizione lineare di altre funzioni d'onda che rappresentavano altri stati quantistici, ognuno pesato con una certa probabilità. Nel momento della misura, la funzione d'onda collassa in uno degli stati di cui era composta; prima della misura non ha senso chiedersi in quale stato si trova il sistema, tutt'al più si può dire che sta contemporaneamente in tutti gli stati ma con probabilità diversa a seconda dello stato (sovrapposizione di stati coerenti). Inoltre, questa è una proprietà intrinseca ed irriducibile della natura non dovuta alla limitata conoscenza delle condizioni fisiche del sistema in considerazione. Nel caso particolare della posizione di una particella descritta da una funzione d'onda non ha senso chiedersi in quale punto dello spazio la particella sta prima della misura, ovvero si trova contemporaneamente in tutte le posizioni e il processo di misura fa collassare la funzione d'onda nel punto in cui si trova la particella a valle della misura (figura 2).

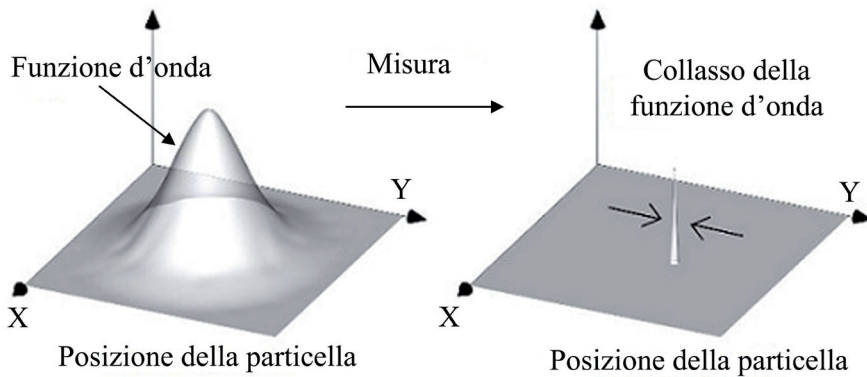


Figura 2

Collasso della funzione d'onda: prima della misura la funzione è delocalizzata in un'ampia regione dello spazio, dopo la misura essa diventa molto piccata e localizzata nel punto in cui viene rilevata la particella

Einstein era nettamente contrario a tale rappresentazione, in quanto sosteneva che esistevano delle variabili nascoste (teoria delle variabili nascoste) che non si riuscivano a determinare e che erano origine del comportamento statistico-probabilistico dei fenomeni quantistici; pertanto, secondo il genio tedesco, la meccanica quantistica era una teoria incompleta. La posizione di Einstein è ben descritta dalla famosa frase “Dio non gioca a dadi” oppure dall’ironica domanda che faceva a Bohr, accanito sostenitore dell’interpretazione di Copenaghen: “Veramente lei è convinto che la Luna esiste solo se la si guarda?”. Einstein era profondamente convinto che le leggi della natura dovessero essere di tipo *locale*, cioè ogni fenomeno, corpo o più in generale un sistema, deve essere condizionato solo da quello che accade nelle immediate vicinanze. In questo senso mal digeriva la teoria della gravitazione di Newton che prevedeva una forza a distanza. Per Einstein era assurdo immaginare che, se il sole scomparisse, immediatamente la terra uscirebbe fuori orbita, ma era plausibile immaginare che lo avrebbe fatto dopo non meno di 9 minuti, ossia il tempo che la luce impiega per raggiungere la terra dal sole. Ed è proprio questa radicata posizione di *realismo locale* che porterà Einstein ad assumere un atteggiamento molto scettico e critico sui fondamenti concettuali della meccanica quantistica.

Lo stesso Schrodinger non era molto convinto dell’interpretazione ortodossa, infatti nel 1935 ideò un esperimento mentale noto come paradosso del gatto di Schrodinger, in cui immaginava di chiudere un gatto in una scatola all’interno della quale era presente una fiala di cianuro che tramite un opportuno meccanismo si rompeva se uno degli atomi presenti in una sostanza radioattiva si disintegrava, emettendo una radiazione che innescava il meccanismo di rottura della fiala (figura 3a). Supposto che in determinato tempo la probabilità di disintegrazione di un atomo radioattivo fosse del 50%, Schrodinger sosteneva che secondo l’interpretazione ortodossa della meccanica quantistica, prima di aprire la scatola il gatto fosse in una sovrapposizione dei due stati, gatto vivo e gatto morto contemporaneamente e nel momento in cui si apriva la scatola, si faceva collassare la funzione d’onda che descrive il gatto in uno dei due possibili stati: vivo o morto (Schrodinger, 1935; Fiscaletti, 2015; Curceanu, 2022). È evidente che una tale sovrapposizione di stati vivo/morto non viene mai osservata, da qui l’aspetto paradossale dell’esperimento. Il paradosso metteva in luce due aspetti concettuali fondamentali. La meccanica quantistica vale a livello macroscopico o la possiamo usare solo per descrivere fenomeni microscopici? In caso affermativo, in che modo si spiegano i fenomeni in cui c’è interazione tra il mondo microscopico (atomo che si disintegra) e quello macroscopico (la fiala che si rompe)?

Molti esperimenti effettuati tra la fine del secolo scorso e inizio di questo secolo hanno mostrato in maniera inequivocabile che la meccanica quantistica vale anche a livello macroscopico, mettendo in chiara evidenza alcuni effetti quantistici macroscopici come la sovrapposizione quantistica di diversi stati macroscopici tramite la misura della coesistenza di una piccola corrente in un anello superconduttore in due distinti stati: corrente in senso orario e antiorario (Friedman, 2000). Allora come si risolve il paradosso nell'ottica dell'interpretazione di Copenaghen? Attualmente la soluzione che convince di più è fornita dalla teoria della *decoerenza quantistica*. Un sistema quantistico non può essere considerato un sistema isolato ma in continua interazione con l'ambiente circostante incluso l'apparato di misura, la luce che lo illumina o l'aria che lo circonda. Tale interazione è di solito molto complessa, soprattutto per i sistemi macroscopici, e produce una sorta di disturbo che tende a far scomparire la sovrapposizione coerente degli stati (da qui il termine decoerenza) e quindi le proprietà quantistiche. Come afferma Brian Greene nel suo libro *la trama del cosmo*: "La decoerenza permette alla stranezza della fisica quantistica di sparire dagli oggetti macroscopici poiché, bit per bit, la stranezza quantica è portata via dalle interazioni con innumerevoli particelle dell'ambiente" (Greene, 2014). Più in particolare, le singole particelle di un sistema macroscopico in seguito all'interazione con le particelle dell'ambiente circostante, modificano la loro funzione d'onda in maniera indipendente le une dalle altre e la delicata sovrapposizione degli stati sparisce rapidamente, perdendo la necessaria coerenza che è alla base del comportamento quantistico di un insieme di particelle. Maggiore è il numero di particelle che costituisce il sistema quantistico, più rapido è il processo di decoerenza, in sistemi quantistici relativamente semplici e accuratamente isolati dall'ambiente circostante si parla di tempi record dell'ordine di un millesimo di secondo o anche meno. Nel caso di un sistema macroscopico estremamente complesso come il gatto quantistico costituito da migliaia di miliardi di miliardi di atomi, il tempo di decoerenza sarebbe così piccolo da essere impossibile misurarlo. Inoltre, la stessa interazione tra le varie molecole che lo compongono produce decoerenza e annulla i fenomeni quantistici. La decoerenza è la ragione per cui quasi tutto il mondo macroscopico ci appare classico, e non quantistico, ovvero popolato da gatti di Schrodinger!

Ma arriviamo ad uno dei fenomeni più controversi e bizzarri della meccanica quantistica, l'entanglement quantistico (Aczel, 2004; Genovese, 2022), termine introdotto da Schrodinger, la cui traduzione in italiano è groviglio, intreccio. A tal proposito ricordiamo un altro famoso paradosso ideato da Einstein, Boris

Podolsky e Nathan Rosen sempre nel 1935 e noto come paradosso EPR dal nome delle iniziali dei tre autori (Einstein, 1935), basato su un esperimento ideale. Considereremo la versione semplificata formulata dal fisico e filosofo statunitense David Bohm, ma prima dobbiamo introdurre un'altra quantità fisica tipica del modo microscopico e, in particolare, delle particelle subatomiche (elettrone, protone, neutrone, ecc.), lo *spin*. Esso fu ipotizzato da Wolfgang Pauli nel 1925 sia per spiegare alcune proprietà degli elementi della tavola periodica sia alcuni esperimenti di Otto Stern e Walther Gerlach effettuati nel 1922 su atomi neutri. Si tratta di una sorta di momento angolare intrinseco che in fisica classica è legato alle rotazioni. Si potrebbero immaginare le particelle elementari come piccolissime trottole, che possono ruotare su sé stesse e, a seconda del verso con cui ruotano, parliamo di spin in alto o in basso. Ma in realtà non c'è una vera rotazione associata allo spin: infatti l'elettrone e il fotone sono puntiformi e non possono ruotare su sé stessi ma sono comunque dotati di spin. Una delle leggi fondamentali della fisica prevede che in un sistema isolato il momento angolare totale si conserva e ciò consente alla terra di ruotare indefinitamente su sé stessa, ai pianeti del sistema solare di percorrere un'orbita piana intorno al sole o ad una ballerina di eseguire le meravigliose piroette modulando la velocità con cui ruota in base alla posizione delle sue braccia. Se si immagina che da una sorgente in una scatola vengano emesse ad un certo istante due particelle aventi la stessa direzione ma versi opposti (figura 3b), per la summenzionata legge di conservazione, il momento angolare totale e quindi anche lo spin si deve conservare e nel caso in questione deve essere zero in quanto è zero prima dell'emissione delle particelle. Quindi, nel caso delle due particelle lo spin totale deve essere zero, ossia una particella deve avere spin verso l'alto e l'altra spin verso il basso. In base alla meccanica quantistica le due particelle (coppie EPR) potranno essere descritte da una funzione d'onda che è la sovrapposizione di due stati: uno in cui la particella che viaggia verso destra ha spin in alto e quella che viaggia verso sinistra ha spin in basso, l'altro stato è quello invertito ossia particella di destra con spin in basso e quella di sinistra con spin in alto. L'interpretazione di Copenaghen ci dice che non ha senso chiedersi in quale stato si trovano le due particelle prima della misura ed è l'atto della misura che fa collassare la funzione d'onda in uno dei due stati. Ciò significa che, anche se le particelle si trovano a migliaia di chilometri di distanza, nel momento in cui si misura lo spin su una particella, istantaneamente l'altra particella assume spin opposto. Esiste quindi una sorta di legame telepatico tra due particelle entangled, quello che Einstein, in completo disaccordo con questa interpretazione, chiamava "spettrale azione a

distanza”. Inoltre, secondo Einstein, questo implicava una violazione dei principi della relatività ed in particolare l'impossibilità di viaggiare ad una velocità maggiore di quella della luce.

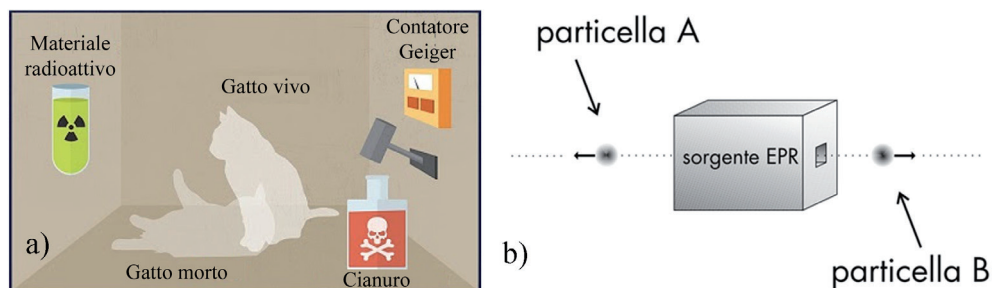


Figura 3

a) Rappresentazione del paradosso del gatto di Schrodinger

b) Schema del paradosso EPR:

le particelle vengono emesse nella stessa direzione ma con versi opposti.

La misura dello stato di spin di una particella determina istantaneamente lo stato dell'altra particella (entanglement)

Al famoso paradosso EPR, Bohr rispondeva che non c'è nessun'informazione che si propaga ad una velocità maggiore della luce, in quanto lo spin di una delle particelle è determinato solo quando si effettua la misura. In particolare, se la particella che viaggia verso destra viene misurata da un osservatore A dando come esito spin rivolto verso l'alto, fino a quando l'osservatore B non misura la particella che viaggia verso sinistra non saprà mai in quale stato di spin si trova la particella, quindi deve aspettare che arrivi la particella che viaggia con una velocità inferiore a quella della luce oppure aspettare che l'osservatore A gli invii un messaggio in cui gli dice che la particella di sinistra ha spin verso il basso, dal momento che la sua ha spin verso l'alto.

Questi peculiari e stravaganti aspetti della fisica quantistica hanno dato adito a molti dibattiti e molte interpretazioni anche di tipo filosofico e metafisico (interpretazione a molti mondi, a molti menti, a storie consistenti, teoria di Bohm, ecc.) che secondo l'ala più pragmatica della meccanica quantistica andavano circostanziati e non confusi con la sua straordinaria capacità predittiva. Nel mondo dei fisici quantistici si diffuse il monito, forse erroneamente attribuita a Feynman: "Zitto e calcola". Detto in altre parole, si lasci perdere l'aspetto filosofico e ci si concentri su quello pragmatico ereditatoci dal metodo

sperimentale galileiano. Tuttavia, una svolta è stata nel 1964 quando il fisico irlandese John Bell trovò un modo rigoroso per capire chi tra Einstein e Bohr avesse ragione (Bell, 1964, 2010). In particolare, in un famoso articolo formulò delle disuguaglianze matematiche note come *disuguaglianze di Bell* che, se violate, avrebbero indiscutibilmente dato ragione a Bohr e quindi alla visione della meccanica quantistica che prevede questa sorta di telepatia a distanza tra le particelle; se invece fossero state conservate, la ragione l'avrebbe avuta Einstein e quindi l'interpretazione delle variabili nascoste.

Nel 1981 e 1982, Alain Aspect (premio Nobel per la Fisica nel 2022) e il suo gruppo di ricerca effettuarono tre importanti esperimenti in cui verificarono la violazione delle disuguaglianze di Bell utilizzando, come coppia di particelle, due fotoni entangled (Aspect, 1981, 1982). Come detto sopra, i fotoni sono i quanti di luce e come tali obbediscono alle leggi della meccanica quantistica e, per questo motivo, è possibile costruire delle coppie di fotoni entangled utilizzando lo stato di polarizzazione, ossia la direzione in cui oscilla il campo elettrico. Negli esperimenti di Aspect, si utilizzava una sorgente di atomi di calcio il cui decadimento produceva una coppia di fotoni entangled che si muovevano lungo percorsi opposti e venivano rilevati ad una distanza di 13 m l'uno dall'altro. La polarizzazione dei fotoni era per entrambi verticale o orizzontale alla direzione di propagazione dei fotoni, pertanto in questo stato entangled la misura della polarizzazione di un fotone consentiva di dedurre e predire con esattezza la polarizzazione dell'altro: in altri termini, l'osservazione dello stato di un fotone consentiva di leggere istantaneamente lo stato del secondo fotone come previsto dall'interpretazione ortodossa della meccanica quantistica. A partire dai pionieristici esperimenti di Aspect, ci sono state numerose conferme sperimentali della violazione della disuguaglianza di Bell anche a distanze notevolmente maggiori. In particolare, nel 2017 utilizzando dei satelliti è stato dimostrato il fenomeno dell'entanglement su una coppia di fotoni ad una distanza di 1203 km (Yin, 2017) e nel 2022 il misterioso effetto è stato dimostrato su singoli atomi di rubidio ad una distanza di 33 Km (Van Leent, 2022). L'evidenza sperimentale sembra dar ragione a Bohr mettendo in chiara evidenza che la meccanica quantistica è una teoria *non-locale* in cui quello che accade su un sistema non è necessariamente causato dall'immediate vicinanze ma può essere dovuto anche ad eventi accaduti a migliaia di km di distanza. In altre parole, i numerosi esperimenti dimostrano che la spettrale azione a distanza di cui parlava Einstein è reale. Naturalmente anche in questo caso possiamo ripetere quanto detto a proposito del paradosso

del gatto di Schrodinger: il fenomeno della decoerenza non ci permette di osservare nella vita di tutti i giorni queste “spettrali azioni a distanza”!

La possibilità di poter manipolare in maniera attiva gli stati quantistici della materia e, in particolare, gli stati coerenti ed entangled ha dato vita a quella che va sotto il nome di *seconda rivoluzione quantistica* che sta permettendo lo sviluppo di tecnologie quantistiche destinate ad avere un notevole impatto sulla nostra società. Proprio negli anni in cui Aspect faceva i suoi famosi esperimenti, Feynman ipotizzò che il mondo fisico nella sua complessità poteva essere decifrato tramite dei calcolatori che utilizzassero fenomeni quantistici di questo tipo, ossia i computer quantistici. Per intuire il vantaggio della computazione quantistica rispetto a quella classica, ricordiamo che il computer classico si basa sui bit che possono assumere solo due stati, ad esempio alto o basso, vero o falso oppure semplicemente zero o uno (logica binaria) e che sono in pratica realizzati utilizzando dispositivi elettronici (transistor, diodi). Un bit di informazione può anche essere codificato in un sistema quantistico che prevede due stati come ad esempio fotoni con due polarizzazioni diverse, due particelle/atomi aventi due diversi stati di spin o un anello superconduttore con due correnti che circolano in un senso o in un altro. Come detto sopra, la meccanica quantistica ci dice che, oltre ai due stati logici di base 0 e 1, un bit quantistico (qubit) può essere preparato in una sovrapposizione coerente dei due stati, analoga ai due stati del gatto di Schrodinger. Questo significa che il qubit, si trova contemporaneamente nei due stati 0 e 1 e, come conseguenza, esso può codificare ad un dato istante sia lo stato 0 che lo stato logico 1 contemporaneamente (Corato, 2005) e, grazie al fenomeno dell'entanglement, è possibile immaginare due o più qubit correlati. Consideriamo quindi un registro di due qubit entangled: un registro classico così composto può rappresentare, ad ogni istante, un solo numero tra le 4 possibilità; vale a dire il registro può trovarsi in uno solo dei 4 possibili stati 00, 01, 10 e 11, mentre un registro quantistico di 2 bits può rappresentare ad ogni istante tutti gli stati possibili in una sovrapposizione coerente. Se noi aggiungiamo ulteriori qubit al registro aumentiamo la sua capacità di rappresentare simultaneamente stati in maniera esponenziale. Ed è proprio questa peculiare caratteristica di poter rappresentare simultaneamente tutti gli stati disponibili che conferisce al computer quantistico indiscutibili vantaggi rispetto ai computer classici. Si tratta quindi della possibilità di effettuare un perfetto calcolo in parallelo.

Negli anni '90 del secolo scorso, furono sviluppati i primi algoritmi quantistici: in particolare nel 1994 Peter Shor dimostrò che il problema di fattorizzazione di un numero intero poteva essere efficientemente risolto su un computer quanti-

stico e nel 1995 Lov Grover mostrò che il problema della ricerca in un database disordinato può essere velocizzato sfruttando la computazione quantistica. A questo punto mancava solo la realizzazione dei primi qubit, che avvenne dopo qualche anno utilizzando dispositivi superconduttivi raffreddati a temperature vicino allo zero assoluto. Negli ultimi venti anni sono stati fatti straordinari progressi che hanno portato alla realizzazione dei primi computer quantistici anche grazie all'interesse di grandi multinazionali come Google, IBM e Intel e alla nascita di innovative aziende start-up come le canadesi D-Wave, Xanadu e l'italo-anglo-americana SEEQC. In particolare, nel 2019 Google ha realizzato un computer quantistico a 53 qubit basati su dispositivi superconduttori e ha dimostrato la cosiddetta *supremazia quantistica*, ossia la capacità di risolvere in pochi secondi o minuti problemi che richiederebbero centinaia di anni con gli attuali supercalcolatori (Arute, 2019). A giugno 2022 la canadese Xanadu ha presentato un computer quantistico realizzato in collaborazione con il National Institute of Standards and Technology, USA, con 216 qubit fotonici capace di eseguire un calcolo complesso in soli 36 milionesimi di secondi e che avrebbe richiesto più di 9000 anni se effettuato con un supercalcolatore classico (Madse, 2022). A novembre 2022 l'IBM ha presentato un nuovo processore quantistico con 433 qubit superconduttori, promettendo entro il 2025 di realizzarne uno a 4000 qubit.

La computazione quantistica potrà essere impiegata per studiare i sistemi complessi con prospettive di importanti scoperte e ulteriori progressi tecnologici in molti campi quali: medicina, biologia, chimica, farmacologia, bioingegneria, fisica dell'atmosfera, intelligenza artificiale, trasporti ecc. Le tecnologie quantistiche riguarderanno anche altri campi strategici come la crittografia, le comunicazioni, internet e la sensoristica avanzata. Oltre alle grandi aziende, ci sono ingenti quantità di soldi investiti anche dalla ricerca pubblica di tutti i paesi industrializzati, soprattutto dalla Cina e dagli USA che recentemente hanno investito decine di miliardi di dollari in questo settore strategico. L'unione Europea ha dato via nel 2018 ad un progetto bandiera sulle tecnologie quantistiche con un finanziamento di circa 1 miliardo di euro. Nel 2022 l'Italia, nell'ambito del piano nazionale di ripresa e resilienza, ha finanziato un progetto di circa 320 milioni di euro per la realizzazione di una infrastruttura digitale nazionale di ultimissima generazione dedicata alla elaborazione di big data e alla computazione quantistica ed un progetto di circa 110 milioni di euro per la costituzione di un consorzio italiano che svolgerà attività di ricerca competitiva e innovativa nel

campo delle scienze e tecnologie quantistiche. Entrambi i progetti prevedono la partecipazione di Università, Enti pubblici di ricerca, aziende private.

In effetti Feynman aveva intuito bene; infatti a partire dal pionieristico esperimento di Aspect, iniziò la seconda rivoluzione quantistica che, partendo da fenomeni come l'entanglement e la coerenza quantistica, ha portato allo sviluppo delle tecnologie quantistiche e in particolare della computazione quantistica.

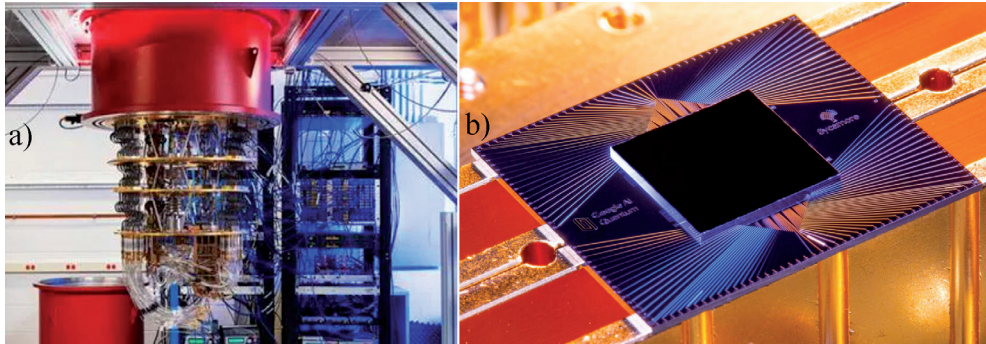


Figura 4

- a) Foto del computer quantistico di Google a 53 qubit
- b) Foto del processore quantistico (Sycamore) basato su circuiti superconduttivi operante all'interno del computer di Google (Arute *et al.*, 2019)

Bibliografia

- Aczel A.D. (2004), *Entanglement. Il più grande mistero della fisica*, Milano, Raffaello Cortina Editore.
- Al-Khalili J. (2014), *La fisica dei Perpleksi. L'incredibile mondo dei quanti*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Aspect A., Grangier P., Roger G. (1981), *Experimental Tests of Realistic Local Theories via Bell's Theorem*, «Physical Review Letters», 47, p. 460.
- (1982), *Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities*, «Physical Review Letters», 49, p. 91.
- Arute F. *et al.* (2019), *Quantum supremacy using a programmable superconducting processor*, «Nature», 574, p. 506.
- Bell J. (1964), *On the Einstein Podolsky Rosen Paradox*, «Physics», 1, p. 195.
- (2010), *Dicibile e indicibile in meccanica quantistica*, Milano, Adelphi.

- Corato V., Granata C., Ruggiero B., Silvestrini P. (2005), *Elementi di Fisica Moderna per l'informazione quantistica*, Roma, Aracne.
- Crease R.P. (2002), *The most beautiful experiment*, «Physics World», 15, p. 19.
- Curceanu C. (2022), *Sulle tracce felpate del gatto di Schrödinger*, «asimmetrie», 33, p. 22, <https://www.asimmetrie.it>.
- Einstein A., Podolsky B., Rosen N. (1935), *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*, «Physical Review», 47, p. 777.
- Fiscaletti D. (2015), *I gatti di Schrodinger, Meccanica quantistica e visione del mondo*, Roma, Franco Muzzio Editore.
- Friedman L.R. et al. (2000), *Quantum superposition of distinct macroscopic states*, «Nature», 406, p. 43.
- Genovese M. (2022), *Entanglement*, «asimmetrie», 33, p. 14, <https://www.asimmetrie.it>.
- Greene B. (2014), *La trama del cosmo. Spazio, tempo, realtà*, Torino, Giulio Einaudi Editore.
- Heinseberger W. (2016), *I principi fisici della teoria dei quanti*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Lederman L.M., Christopher H.T. (2013), *Fisica quantistica per poeti*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Madse L.S. et al. (2022), *Quantum computational advantage with a programmable photonic processor*, «Nature», 606, p. 75.
- Merli P.G., Missiroli G., Pozzi G. (1976), *On the statistical aspect of electron interference phenomena*, «American Journal of Physics», 44, p. 306.
- Pais A. (2012), *Einstein. «Sottile è il Signore...»*. *La scienza e la vita di Albert Einstein*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Schrödinger E. (1935). *Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik (The present situation in quantum mechanics)*, «Naturwissenschaften», 23, p. 807.
- Van Leent T. et al. (2022), *Entangling single atoms over 33 km telecom fibre*, «Nature», 607, p. 69.
- Yin J. et al. (2017), *Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers*, «Science», 356, p. 1140.

Tre diagrammi semiotici volti al progetto

La valorizzazione dei tracciati agrimensori

Antonella Pettoruso

Politecnico di Torino

Il '500 è caratterizzato da una cartografia doganale relativa alle azioni dei “compassatori” della Dogana delle Pecore di Foggia. Successivamente le magistrature¹ svolsero un ripristino dello *status quo* dei terreni, con le misurazioni dei fondi per placare le controversie territoriali.

Tali disegni in serie constano di schizzi a base geometrica dove il luogo rappresentato non risulta di facile riconoscimento, se non alle volte per i caratteri morfologici. L'insegnamento agrimensorio fondava le basi sulle pratiche *in loco* ed era caratterizzato da una parte da un'ottima cultura del territorio, dall'altra da un munirsi della strumentazione a tipo “catena di ferro”, la quale consentiva di disegnare le conformazioni basate sulle geometrie del quadrato, del triangolo e dei trapezi² (Cocco, 1988).

Queste rappresentazioni sono delle immagini fuori scala ed appaiono in esse dei dati numerici e dei calcoli che si ricavano dal compasso e raramente hanno i sedimi delle vie e dei fiumi, nello specifico in questa trattazione si prendono in esame proprio i rari disegni contenenti tutti gli elementi (cioè l'orografia, i dati fisici, i tessuti urbani e l'idrografia), che hanno il ruolo di bussola per il disegno.

I “disegni delle pratiche di confine” rispondono ai principi unici (Quaini, 1976) di memoria, selezione documentaria e indagine sul terreno³. L'ente della

¹ G. Rosati, *Gli elementi dell'agrimensura teoretica e pratica*, Napoli, 1787, p. iv, anche in S. Stefano, *La ragion pastorale*, 2 voll., Napoli, 1731, p. 211, nei quali testi si sottolinea come l'attività di misurazione al fine della pratica di confine viene ripetuta tante volte quante sono le variazioni e le modificazioni del letto fluviale; questa caratteristica ha generato una continua mutevolezza dei tracciamenti ed è stata associata dagli autori, per numerosità di ridefinizione dei margini doganali, a ciò che avveniva nell'antico Egitto, in cui l'annuale piena del Nilo, cancellando i confini dei campi, imponeva nuove e continue misure territoriali.

² Si spiega che seppur semplificazioni diagrammatiche del territorio rappresentato, queste raffigurazioni erano capaci di raggiungere i fini giuridici, amministrativi e finanziari richiesti dalla committenza, per mezzo delle relazioni, cui esse si accompagnavano.

³ Entrambe queste operazioni finalizzate alla confinazione vedono il perito incaricato nell'atto di

Regia Dogana di Foggia intraprese i lavori in Basilicata nei territori della Val Basento, del Melfese, della Valle Bradano e della fascia jonica. Codesta parte di territorio è interessata da tre secoli di compassate che hanno compreso il tempo dalla nascita al fiorire della cultura tradizionale agrimensoria. Gli oggetti cartografici molto di frequente sono riuniti in platee che permettono di studiare lo statuto agrario per le colture, le logiche viarie e la topografia nella storia comunale del territorio.

I segni agrimensori narrano lo spazio bidimensionale e sono avvalorati dai conti e i numeri del mondo agrario, come dimostrano gli studi di archeologia della misura⁴. Quest'ultimo nel territorio lucano traccia un fondamento per la costruzione e la misura della città. Infatti, secondo questo modo di vedere le cose, le misure dell'agricoltura si appoggiano oggi alle misure delle costruzioni degli insediamenti. Lo spazio della rappresentazione agrimensoria è quindi uno spazio ripartito, cioè un labirinto continuo⁵ di applicazioni matematiche che dividono infinitamente il territorio, fornendo ad esso una "architettonicità". Alla stregua delle rappresentazioni archeologiche insediative, i disegni agrimensori sono caratterizzati da un centro della figura.

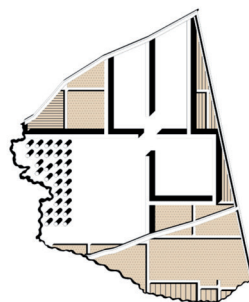
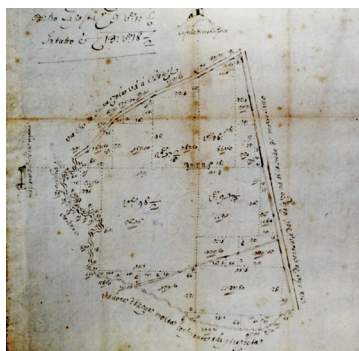
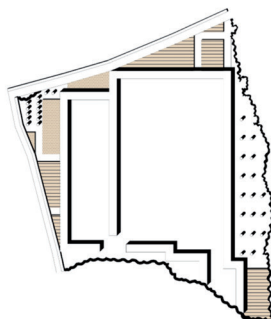
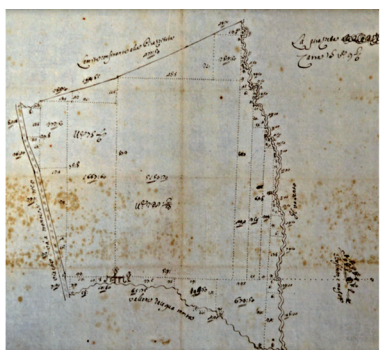
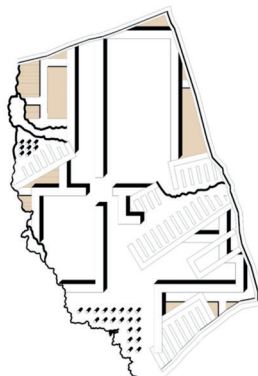
In ogni disegno degli agrimensori preso in analisi si è individuato un centro del disegno attraverso l'intersezione dei due assi (che nel documento si confi-

"ritrovamento" dei punti noti, delle stazioni (alberi segnati, titoli lapidei colture remote), che gli permettano di ridisegnare il territorio.

⁴ Le misure, in Angelini, 1988, p. 7 e in Pellicano, 2007, pp. 91 e 115, che trattano le connessioni esistenti tra l'unità di misura del tomolo e le «maglie rettangolari definite da stenopoi e plateiai» per luoghi di pianura come nel caso di Metaponto, in Fabiani, 2022, p. 21.

⁵ Mugnai, 2008. Gottfried Wilhelm von Leibniz, seguendo il paradosso di Zenone, afferma che un elemento può dividersi infinitamente arrivando alla teoria degli infinitesimali secondo la quale «posso continuare a dividere all'infinito dal punto di vista matematico, ma nella realtà questo non avviene, perciò ad un certo punto nella realtà devo fermarmi». In tale corrispondenza tra lo spazio degli agrimensori e quello di Leibniz siamo portati ad individuare due tipologie di piani di ragionamento, uno è quello ideale o della rappresentazione, che fa riferimento al nostro modo di vedere lo spazio, l'altro è quello dello spazio reale (cioè l'opposto di quanto aveva sostenuto Cartesio). Da quanto affermato si deve perciò riconoscere che vi è una grande differenza tra il continuo matematico e il continuo fisico. Cosa avviene se questi devono corrispondere? Qualora dovessi applicare il continuo matematico a quello fisico devo apportare delle approssimazioni. Le approssimazioni tra il disegno e la reale rappresentazione degli oggetti architetttonici risiedono della scelta del linguaggio e come scelgo di mettere in relazione le cose, le "isole" e/o i corpi tra loro.

Tre diagrammi semiotici volti al progetto



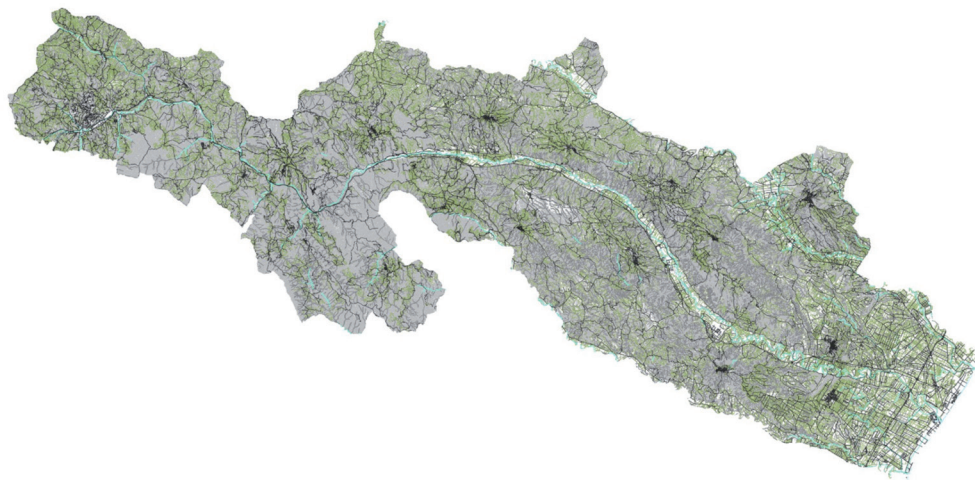
gurano come due linee tratteggiate) che sono il cardo e il decumano della rappresentazione.

Gli agrimensori progettano il luogo come se fosse diviso in “isole geometrizzate”, dove le linee sulla superficie del foglio hanno una misura, capace di tramandarci ed essere traducibile in un principio regolativo. Gli albori delle figure tratturali risalgono ai primi del Cinquecento e al tempo vi era una “proprietà della terra”, perciò agli agrimensori venne richiesto di descrivere l’agrario attraverso uno schema di lottizzazione, che fosse il più privo possibile dei caratteri geografici. In seguito, durante la metà del Cinquecento si inizia a produrre una cartografia destinata al pubblico e al privato e per garantire la tutela dei possessi, quindi per le esigenze fiscali ed amministrative, si svolsero sopralluoghi sui beni demaniali, con la necessità di misurare precisamente i lotti rispetto al tracciamento. Questi disegni, in quanto molto frastagliati e poco espliciti, non riescono a spiegare a pieno il sistema delle piste tratturali. Grazie a Ettore Capecelatro, governatore della Dogana e redattore della Reintegra del 1648-1656, si realizza un Atlante con sedimi viari di all’incirca 1500 passi, che equivalgono a 2,77 km.

Il focus sugli itinerari transumanti riveste grande rilievo per la nascita della “strada degli stranieri” o anche detto “tratturo regio degli stranieri” oppure “trazzera degli stranieri”; la quale strada ha origine dallo Jonio e solca la Basilicata da est ad ovest, finendo a Paestum da Metaponto. Domenico Sarracino, dai suoi studi, ci fornisce una ulteriore informazione riguardante la sua attuale essenza che consiste nella Strada Basentana. L’arteria antica di uso greco era detta degli “stranieri” perché trattasi dei coloni rispetto ai locali abitanti della valle fluviale del fiume Basento. Le reti tratturali⁶ alla scala italiana⁷ sono riconosciute nella lettura della “sintassi” della Val Basento, come strutturanti del luogo fatto di borghi. Codesta trama estesa di tracciati storici e percorsi interseca i luoghi di rilevanza architettonica e catalizza in questi lo snodo, l’approdo o la sosta tra un centro minore e l’altro.

⁶ A livello nazionale dall’11 dicembre 2019, le antiche vie della transumanza sono sotto la protezione dell’UNESCO, questo grazie anche all’accordo “Parchi, pastori, transumanze e grandi vie delle civiltà”, iniziativa nell’ambito di “Parcovie 2030”, inserito nel programma “Terre Rurali d’Europa della programmazione europea Agenda 2030”, dove sono inserite attualmente a partire dall’Abruzzo, anche Basilicata, Campania, Marche, Molise, Piemonte, Puglia e Veneto. In particolare, nelle ricerche connesse ai progetti di valorizzazione esistenti si evince una idea di grande rete che collega i grandi parchi d’Europa e del Mediterraneo.

⁷ Altri sono grandi tracciati storici riportati alla luce o mai morti nel tempo, si prende ad esempio il cammino di Santiago di Compostela



Le vie erbose sono un patrimonio collettivo delle regioni del Mezzogiorno e in questo caso della Basilicata, che attraverso le secolari battute aragonesi disegnano il progetto di queste terre⁸. Le percorrenze e i sistemi infrastrutturali sono in Val Basento a servizio degli oggetti architettonici (come chiese, monasteri, ruderi di masserie, soste, taverne, riposi, fontane stazzi e stalle, oltre ai piccoli totem lapidei con il grafema RT, che sta per regio tratturo), che hanno il ruolo di fissare il passo durante il cammino armentizio.

I sedimi tratturali e gli insediamenti con le conseguenti fortificazioni e i pascoli sono tutti insieme stati la struttura di sviluppo antropico in Abruzzo, Puglia e Basilicata in tre momenti:

- periodo compreso tra l'età del bronzo e l'epoca romana;
- periodo compreso tra il Medioevo e l'età Angioina;
- l'epoca aragonese fino alla pratica della transumanza del secondo dopoguerra del XX secolo.

La vita armentizia segna anche attualmente la quotidianità di questi luoghi essendo un elemento di identità storica permanente. Il fine di questo articolo

⁸ Queste possono essere viste come un volano per la riqualificazione e la rinascita finalizzata allo sviluppo del territorio che queste attraversano, costellate di testimonianze architettoniche e paesaggistiche legate al mondo pastorale. Il ruolo degli attuali progetti integrati per “le vie dei parchi” per il turismo culturale è quello di riconoscere il valore delle “vie verdi” in quanto fondative della nascita di nuovi insediamenti e di assetti territoriali.

è quello di trovare i caratteri delle strutture urbane che sono a servizio degli spostamenti tra la montagna e la pianura. La trama di strade erbose a macchia di leopardo (Foggia-Aquila, Celano-Foggia, Melfi-Castellaneta, Lucera- Castel di Sangro) copre una grande superficie tra l'Adriatico, le Marche, il Lazio e il Mezzogiorno, con l'Appennino Dauno, il Pollino e la Basilicata stessa, che, in particolare, ricopre uno spazio marginale per bordi amministrativi e geografici, che per lo più in Val Basento constano del tratto metapontino, quello del Golfo di Taranto e della risalita al Pollino. Le reti tratturali sono comprese con il bordo della murgia, caratterizzato da fenomeni carsici e superficiali (lame, doline, ipogei, gravine, pozzi e voragini). Tutto ciò cambiò con l'Ente Riforma che apportò una bonifica e una creazione di terrazzamenti che permette di far emergere come le vie della transumanza (nei disegni degli agrimensori) inghiottiscono il disegno della città e semplificano a soli confini le mura di cinta.

La durata del tracciato viario "degli stranieri" rientra nella sottocategoria della "transumanza orizzontale" e consta di 200 km (negli attuali comuni di Tito-Torre Satriano), invece da Metamento a Grottole il percorso va verso la zona delle Tavole Palatine, sul Bradano verso Ponte S. Giuliano, attaccandosi alla SS7 Appia (Grottole-Grassano). La percorrenza tra Metaponto, Bernalda, Pomarico e Grassano, ma anche verso ovest nord-ovest alla biforcazione Le Piane-Acqua Frisciana si sovrappone all'Appia e costeggia Serra del Cedro, tagliando Tricarico. Perciò l'oggetto d'interesse di questi disegni del territorio non sta tanto nel tratturo in quanto tale, ma in come esso si relazioni all'architettura della terra, cioè alle forme architettoniche già presenti nella geografia del luogo. Sin dall'età romana, le vie erbose sono segnate nell'Atlante del Regno di Napoli che ebbe sempre problemi di percorrenza, questo fece conseguire una costruzione di una rete di interconnessioni a diverse scale per meglio misurare il tragitto. Le vie si dividono infatti in tratturi principali, tratturelli e bracci che permettevano i passaggi da un sedime all'altro. I primi tracciati hanno geometrie semplici e rettilinee da nord a sud. Fatta eccezione per il tratturo principale, le traverse sono indicate con le linee puntinate che collegano i nuclei urbani. Nei disegni degli agrimensori l'idrografia è segnata da una linea doppia sinusoidale, invece, le soste e i ponti sono a servizio delle vie armentizie costellate durante i tragitti di masserie e taverne. Il disegno del territorio fa emergere un sistema diffuso di piccoli centri con dimore sparse.

L'inizio del '700 risulta essere il momento di svolta per la riproduzione in scala e la tematizzazione delle rappresentazioni del suolo e, più in generale, del paesaggio armentizio. Si riconosce in questo rinnovamento la prima stesura degli

Atlanti di Alfonso Crivelli 1712 (Agatangelo della Croce 1735-60), con colori e mappature del suolo; in secondo luogo, *Le Pianta delli Reggi Tratturi reintegrati dall'Ill.mo Sig. D. Alfonso Crivelli*, che sono 110 carte prive di contesto, fatte di percorsi e vie d'acqua messe in secondo piano rispetto al tratturo che è elemento principale; in terzo luogo, l'*Atlante di Della Croce*, con 86 tavole, con rappresentazioni planimetriche che diversificano il pattern delle aree destinate a pascolo da quelle sottoposte a culture (anche in queste sono indicati le acque e i canali con segni irregolari). Questi ultimi tre casi di raccolte di disegni fanno riferimento ad un modo di rappresentare il territorio maggiormente volto alla registrazione del territorio, consentendo la lettura del duplice registro di transumanza, cioè verticale ed orizzontale (il primo dalla montagna alle valli, il secondo tra regioni). Riscoprire questi tracciati ci fa rendere conto di come questi si relazionino alla corona di insediamenti che inanellano, ma anche di come nella storia si sia trattato ed affrontato il tema del camminamento come via di comunicazione a breve o lunga distanza e, inoltre, di come si siano risolti i problemi legati al superamento degli ostacoli naturali lungo i tragitti (Fabiani, 2022).

La stessa costruzione dell'Appia (312 a.C.) è un momento importante per lo sviluppo delle tecniche stradali regolari, che però siano capaci al contempo di superare gli ostacoli naturali. Diodoro Siculo, menzionando Appio Claudio Cieco, narra che «scavò le alture, pareggio le valli e i baratri con mirabili terrazzamenti»⁹. Questa romanizzazione rappresenta la manifestazione di una pluralità di forme insediative: i *fora*, cioè gli insediamenti collegati alle vie dei mercati; gli *oppidum*, quelli fortificati; i *conciliabulum* e i *castellum*, che legano i popoli rurali o nel secondo caso sono insediamenti spersi. Sull'asse del Basento con la presenza dei *vici* e *pagi* si ha un modello insediativo che si sviluppa con la municipalizzazione, infatti, i primi si affiancano all'ordine romano delle centuriazioni, con la differenza che le centurie sono romane i *pagi* no. Queste edificazioni portano alla mutazione delle strutture territoriali precedenti alla romanizzazione. Infatti, la prima logica di costruzione di una divisione agraria del suolo si presenta con delle similitudini con gli anteriori tracciamenti agrari greci in meridione (esso è chiamato *per stringas et per scamma*: Fabiani, 2022), *stringae* sono detti i luoghi rettangolari, sulla *tabula* del disegno, che si riferisce ai terreni disposti longitudinalmente, invece, le *scamma* sono sulla latitudine). Le suddette delimitazioni costruite per allineamenti (*rigores*) ebbero il ruolo d'esse-

⁹ *Biblioteca storica* XX, 36, 2.

re gli accessi ai campi. Le *limitatio* e *centuratio* (eseguite dagli *agrimensores*) come una pianificazione territoriale romana (su disegno a maglia di assi ortogonali¹⁰ di strade e canali), miravano alle azioni catastali, cioè di assegnazione di una pertinenza abitativa e di una agricola. Facendo discendere da queste rappresentazioni un principio di analisi si è riconosciuta una formazione urbana per isolati che costituiscono gli elementi di differenza ai quali attribuire un ruolo. Infatti, ogni brano di territorio, inteso come diagramma e nel ridisegno astratto possiede delle potenziali regole che spiegano come i tracciati dei confini agrari si configurino nello stretto legame esistente con le forme già presenti sul luogo, cioè quelle della natura. Per capire meglio quali sarebbero stati gli elementi di selezione nel disegno astratto e quali avrebbero giocato un ruolo, è stato necessario consultare un più ampio *plateau* di rappresentazioni degli agrimensori al fine di riscontrare la ridondanza di quelle componenti del contesto che potevano diventare il punto di partenza per la costruzione di una teoria di comprensione del paesaggio agrario e territoriale della Val Basento. Ognuna delle rappresentazioni astratte risulterà essere una base e una “legenda” schematica di progetto. Infatti, ogni disegno rappresenta una piccola porzione di territorio slegato dagli altri. Questi pezzi come una “legenda” sono un elenco di segni di ciò che deve esser letto quindi delle convenzioni che fanno riscontrare una incapacità di mostrare un disegno complessivo del luogo (fatto di lotti, strade e tracciati), mostrandosi come una rappresentazione costituita da un insieme frantumato di unità rotte di territorio. Questa modalità logica misura e costruisce lo spazio del disegno schematico del territorio.

I diagrammi semiotici, reinterprestando il disegno d’archivio, sono la logica di costruzione di un possibile disegno di progetto che può valorizzare il luogo nelle sue valenze storiche relative al mondo agrario. L’importanza geografica delle compassate agrimensorie è il risultato di un più ampio modo di estrarre il tema di progetto dal disegno agrario, facendone discendere un possibile princi-

¹⁰ La griglia degli appezzamenti di terreno di forma regolare e di modulo, per lo più fisso, le centurie, misura quasi sempre 20 x 20 actus, che rappresenta la base metrica agraria della centuria, di circa 710 x 710 m. Ogni *centuria* viene divisa in *limites intercisivis*, cioè lotti minori variabili, che sono i terreni dei coloni. Questi ultimi hanno la medesima direzione del decumano, con funzione di confine e sono configurati con muri, fossati, filari di alberi e sentieri. Infine, per concludere la trattazione inerente il tracciamento delle linee di confine degli agrimensori, si analizza come la centuriazione abbia avuto un rapporto con la città e con gli insediamenti minori della valle. Nella *Costituzione dei limiti* di C. Lachmann si ricorda la regola enunciata da Igino Gromatico: «il centro della città deve coincidere con quello della centuriazione».

prio generatore architettonico. Questo paesaggio agrario che abbiamo ereditato dalle cartografie storiche e archivistiche può ancora darci informazioni atte al progetto, perciò essere un'eredità per dare significato e valorizzare i luoghi rappresentati.

La metodologia che si è scelta di usare è stata quindi atta alle molteplici indagini sul paesaggio agrario che di volta in volta sono state viste con gli occhi di un diverso cartografo o archeologo o studioso del luogo; in questo modo la forma dei lotti di un dato centro minore della Val Basento dimostra di avere una lunga storia di proprietà agraria che nelle sue modificazioni catastali porta con sé la storia dell'evoluzione della vita sociale come un fenomeno progressivo che fonda le prime tracce nel mondo antico e arriva ai giorni nostri.

In conclusione, attraverso questa ricerca, che ha avuto come iniziale obiettivo quello di valorizzare le terre di lungofiume della Val Basento, si è tentato di riscoprire il valore progettuale di documenti che attualmente sono letti come a servizio del mondo agrario, ma che in realtà possono ancora essere a servizio dell'urbano, perciò, di quali siano le connessioni esistenti tra le componenti dell'agricoltura e del mondo armentizio e la costruzione del territorio. Da questa operazione di sperimentazione è discesa la lettura di un'impossibilità nella rappresentazione di un disegno univoco e spiegabile del luogo, che è stato meglio narrabile attraverso la scomposizione e il frammento. Questi disegni "rotti", quindi l'elenco della "legenda", rendono il territorio schematico e astratto, incompiuto, indecidibile, indeterminabile e frammentato, perché di volta in volta possono anche essere in contraddizione tra loro spiegando al meglio il complesso meccanismo di produzione del volto del luogo.

Riferimenti bibliografici

- Angelini G. (a cura di) (1988), *Il disegno del territorio. Istituzioni e cartografia in Basilicata. 1500-1800*, Bari, Laterza.
- Cocco P. (1988), *I compassatori della Regia Dogana delle pecore. La cartografia doganale nel Cinquecento*, in *Il disegno del territorio. Istituzioni e cartografia in Basilicata. 1500-1800*, Potenza, Laterza, p. 11.
- Fabiani F. (2022), *L'urbanistica: città e paesaggi*, Roma, Carocci.
- Mugnai M. (2008), *Introduzione alla filosofia di Leibniz*, Roma-Bari, Laterza (8ª ed.).
- Parsons T. (1968), *Il ruolo dell'identità nella teoria generale dell'azione*, in Sciolla L. (a cura di) (1983), *Identità. Percorsi di analisi in sociologia*, Torino, Rosenberg & Sellier.

- Pellicano A. (2007), *Geografia e storia dei tratturi del mezzogiorno. Ipotesi di recupero funzionale di una risorsa antica*, Roma, Aracne.
- Pouls H.C. (1983), *Dall'agrimensore al cartografo*, in *Arte e scienza per il disegno del mondo*, Milano, pp. 52-55.
- Quaini M. (1976), *L'Italia dei cartografi*, in *Storia d'Italia*, Torino.

CASE HISTORIES

SlowScience: scienza a km0, un'iniziativa per condividere il sapere in modalità lenta

Gabriela Carrara, Debora Mazza, Stefania Marzocchi, Silvana Mangiaracina

Biblioteca Dario Nobili, Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna

1. Introduzione

La Biblioteca Dario Nobili (BDN)¹ è una biblioteca scientifica altamente specializzata, digitale da più di 20 anni, posta all'interno dell'Area Territoriale della Ricerca del CNR di Bologna e, pur essendo utilizzata principalmente dagli addetti ai lavori, è una biblioteca aperta al pubblico. Durante la pandemia (2020-2021) la comunicazione della scienza ha avuto un ruolo centrale e la società è stata fortemente sollecitata da una enorme quantità di informazioni ad un ritmo molto elevato. Questo ha però generato grande confusione e senso di sfiducia e diffidenza rispetto al mondo scientifico in generale. Quindi, *in controtendenza* rispetto alla generale corsa verso la digitalizzazione, la BDN *ha deciso di dare vita ad uno scaffale di libri cartacei rivolti ai non specialisti e di creare uno spazio calmo al suo interno per spiegare, discutere e dialogare di scienza con il pubblico potenzialmente interessato.*

Due fattori sono stati propedeutici alla realizzazione dello scaffale: i) l'essere entrati in contatto con il collettivo eXtemporanea² formato da ricercatori che lavorano in gran parte oltre confine; ii) il conseguimento da parte della BDN di tre finanziamenti MIBACT in supporto all'editoria, dedicati alle biblioteche e finalizzati all'acquisto di libri a partire dal 2020.

L'idea della costruzione di uno scaffale dedicato alla divulgazione scientifica nasce attraverso la nostra partecipazione ai laboratori dello spazio Scienceground nell'ambito del Festivalletteratura di Mantova, gestito dal collettivo eXtemporanea, dedicato alla conversazione aperta su scienza, tecnologia e società e gestito in modo non convenzionale.

Lo staff della BDN ha avuto così modo di conoscere un ambiente stimolante per promuovere la scienza anche al di fuori degli ambiti accademici o di ricerca.

¹ <http://biblioteca.bo.cnr.it/index.php/it/>.

² <https://www.extemporanea.eu/en/>.

È iniziata quindi una collaborazione con il collettivo eXtemporanea, condotta a distanza per questioni contingenti, e finalizzata alla creazione di uno scaffale di libri di divulgazione, composto esplorando vari generi, molto diversi tra loro, ma uniti dal tema scientifico. Lo scaffale, inizialmente virtuale e alimentato tramite la piattaforma software Zotero³. La libreria collaborativa è consultabile liberamente su Zotero a questo link: <https://www.zotero.org/groups/2536502/scienceground-cnr>, ed è divenuta uno scaffale fisico e reale che contiene ad oggi più di 700 libri tra saggi, romanzi, fumetti e biografie. I libri attualmente inventariati, catalogati nel Sistema Bibliotecario Nazionale (SBN), presenti in OPAC sono consultabili e a disposizione del pubblico per essere presi in prestito⁴.

La collezione di libri così creata è divenuta il nucleo su cui basare una serie di iniziative capaci di valicare alcune delle barriere esistenti tra scienza e società e, il fatto che all'interno dello scaffale siano presenti libri di divulgazione scritti da alcuni ricercatori afferenti all'Area della Ricerca CNR di Bologna, ci ha suggerito l'opportunità di coinvolgere gli autori per presentare alcune loro opere al pubblico: da qui nasce l'iniziativa "SlowScience: scienza a km0".

2. *SlowScience: riprendiamoci il tempo*

Uno degli aspetti su cui ci siamo soffermati in particolare è stato il tempo o meglio la giusta quantità di tempo necessaria per comunicare e assimilare i concetti scientifici.

Nel 2010 il movimento degli scienziati tedeschi lancia il proprio manifesto (Stengers, 2018) inneggiante ad una "slow science" in risposta all'imperativo "publish or perish" imposto dall'editoria scientifica, con la conseguenza di fare scienza in modo rapido per pubblicare ad ogni costo (The Slow Science Academy, 2010). L'equazione *fastscience=badscience*, secondo "The Slow Science Manifesto", invoca la necessità da parte degli esperti di riprendersi il tempo necessario alla verifica, al confronto ed alla costruzione di una buona scienza.

Slow science was pretty much the only science conceivable for hundreds of years; today, we argue, it deserves revival and needs protection.

³ <https://www.zotero.org>.

⁴ Il catalogo dei libri è consultabile qui: <https://sol.unibo.it/SebinaOpac/.do?pb=UBOCR>.

Society should give scientists the time they need, but more importantly, scientists must take their time.

We do need time to think.

We do need time to digest.

We do need time to misunderstand each other, especially when fostering lost dialogue between humanities and natural sciences.

We cannot continuously tell you what our science means;

what it will be good for;

because we simply don't know yet.

Science needs time.

(“The Slow Science Manifesto”, Berlin, 2010)

E se gli esperti evidenziano questo loro bisogno a maggior ragione i non esperti possono necessitare di tempo per assimilare le informazioni fornite dai primi.

È stato quindi naturale declinare verso il pubblico dei non specialisti il sentimento degli scienziati tedeschi: riappropriarsi del tempo necessario alla ricezione ed alla metabolizzazione delle informazioni, attraverso la creazione di uno spazio neutro e lento all'interno della BDN, in cui ospitare una serie di incontri informali tra specialisti e non specialisti finalizzata al dialogo tra differenti discipline, tra vari livelli di sapere e diverse individualità con l'obiettivo di mostrare quanto la scienza sia pervasiva nel quotidiano e come possano coesistere dubbi e certezze.

Con SlowScience, la BDN apre al pubblico in modo periodico e regolare l'Area della Ricerca del CNR, un luogo normalmente inaccessibile, se non per motivi specifici, gettando le basi per un ponte tra il mondo interno e quello esterno alla ricerca.

3. Costruzione dell'iniziativa

L'iniziativa è stata costruita tenendo conto di vari aspetti (target, modalità, tempistica, logo) ed è stata organizzata una campagna di comunicazione.

a) Target

SlowScience cerca di intercettare un target costituito dai giovani adulti di età compresa tra i 17 ed i 35 anni per fornire spunti per la scelta di percorsi di studio post secondari o per stimolare l'interdisciplinarietà ed aprire gli orizzonti a chi

sta già percorrendo un percorso universitario, indipendentemente dall'indirizzo scelto. L'obiettivo non è decisamente semplice da realizzare soprattutto nel suscitare l'interesse di tale fascia di popolazione. Attualmente l'utenza che ha partecipato alle prime due serie di incontri a Bologna e a Roma (Nanoinnovation, 2022)⁵, è costituita da un pubblico di età variabile tra quelle indicate.

b) Modalità

Gli incontri si svolgono nella sala lettura della Biblioteca. Questa, completamente circolare e frutto del genio architettonico dell'architetto Zacchirolì (Signorini, 2000), permette la modalità degli incontri senza barriere, non esiste un palco o una separazione tra relatore/i e pubblico come illustrato dalla figura 1.

L'esperto mostra il suo lato umano o il percorso effettuato per ottenere dei risultati e/o i risultati stessi, ne consegue la narrazione di un ragionamento, un racconto che accompagna l'uditorio. Gli argomenti affrontati sono interdisciplinari e multidisciplinari e possono essere illustrati nella forma che più è congeniale al relatore. Non esiste un vero e proprio "format" né un protocollo rigido.

Unico imperativo è l'accessibilità del linguaggio.



Figura 1
Sala centrale della Biblioteca Dario Nobile che ospita SlowScience (Area Territoriale della Ricerca del CNR di Bologna)

⁵ <https://www.nanoinnovation2022.eu/home/>.



Figura 2
Momenti SlowScience

c) Tempistica

Gli incontri vengono realizzati presso la Biblioteca nelle giornate in cui questa non è aperta al pubblico, al duplice scopo di poter continuare a fornire un servizio agli utenti e mostrare i nostri spazi ad un pubblico sempre diverso. La scelta dell'orario, nel tardo pomeriggio tra le 18 e le 20, è frutto di una mediazione tra l'accessibilità del luogo (all'interno dell'Area della Ricerca) e la disponibilità del pubblico.

d) Logo

L'ideazione di un logo che rappresentasse SlowScience è stato un passo necessario dettato dalla volontà di essere riconoscibili e facilmente individuabili.

I principi dello *slow* sono ampiamente diffusi, soprattutto in ambito culinario⁶, e l'identità grafica di questi movimenti si affida frequentemente alla chiocciola per indicare la "lentezza". Ma oltre la chiocciola, nella cultura popolare esistono altri animali considerati "lenti".

Nella favola de *La lepre e la tartaruga* di Esopo, la lepre sfida la tartaruga in una gara di corsa. La lepre ovviamente, sottovalutando le capacità del suo avversario, durante la competizione, essendo in vantaggio, decide di riposarsi. Tuttavia, al risveglio la tartaruga è ormai vicina al traguardo e la lepre può solamente disperarsi: la tartaruga taglia il traguardo prima di lei.

E dunque quale animale meglio della tartaruga può rappresentare il concetto di "slow"? Abbiamo quindi combinato una tartaruga che simboleggia l'avanzamento lento ma continuo, la calma, il tempo necessario per apprezzare i concetti e le esperienze, ed una foglia che dà il senso della vita che scorre, mutevole ad ogni stagione ma in continua evoluzione così come la scienza, creando la "tartafoglia" (figura 3).



Figura 3
Tartafoglia nelle sue varianti di colore

Per mantenere coerenza con l'identità grafica della BDN, per il logo è stato deciso di mantenere il font Geosans Light Regular, lo stesso utilizzato nel logo della biblioteca, ricorrendo tuttavia ad una manipolazione del font. Difatti è

⁶<https://www.slowfood.it/chi-siamo/che-cose-slow-food/>.

stata aumentata la distanza tra i caratteri in modo tale da accentuare gli spazi bianchi tra le lettere per trasmettere i concetti di lentezza e calma.

e) Promozione

La promozione dell'iniziativa si è diretta sia verso un pubblico interno all'A-rella della Ricerca (tirocinanti, laureandi, dottorandi, giovani ricercatori) sia verso un pubblico esterno formato da studenti, cittadini, studiosi appassionati. A tale proposito abbiamo aderito ad una iniziativa locale denominata "Patto per la lettura"⁷ ideata dal Comune di Bologna dedicata alla promozione, a livello cittadino, della lettura e della conoscenza in tutte le loro forme (libri, letture, attività, servizi, voci, progetti, luoghi, occasioni, incontri).

Lo scopo della nostra adesione è stato quello di intercettare le persone, con vario background, ma che nutrano curiosità o interessi verso il mondo scientifico e la scienza in genere.

I prodotti grafici realizzati per ogni palinsesto sono di due tipologie. La locandina è il prodotto principale che illustra il calendario del palinsesto della stagione (vedi figg. 4 e 5). Viene distribuita online e diffusa cartacea in formato A4 e A3. Ad ogni incontro è associata un'icona e le informazioni che vengono date sono le seguenti: nome e cognome del relatore, la sua affiliazione, il titolo dell'incontro e un breve abstract di circa 500 caratteri. Il secondo prodotto grafico è un pieghevole A4 che viene realizzato per ogni singolo evento e viene distribuito al pubblico il giorno stesso dell'incontro. La parte esterna riporta le informazioni sull'evento mentre la parte interna viene realizzata con i contenuti forniti o suggeriti dal relatore.

Per promuovere l'iniziativa è stato realizzato un piano di comunicazione che coinvolge i nostri canali social Facebook⁸ e Instagram⁹. Questa parte è stata molto attiva, soprattutto a partire dal palinsesto autunnale. I palinsesti sono sponsorizzati prima di tutto con un carosello, composto da un massimo di quattro o cinque immagini, in cui si descrivono tutti gli eventi in programma, e con una storia. Il carosello e la storia sono pubblicati in contemporanea su Instagram e Facebook, per mezzo di Meta Business Suite¹⁰, un servizio di Meta che permette con un unico account di programmare e caricare, anche simultaneamente, i

⁷ <https://pattolletturabo.comune.bologna.it/>.

⁸ <https://www.facebook.com/bibliotecaCNRbologna/>.

⁹ <https://www.instagram.com/bibliocnrbo/>

¹⁰ Meta Business Suite <https://business.facebook.com/>.



Slow Science

Dalle ore 17.30 alle 19.00 presso la sala lettura della
Biblioteca Dario Nobili CNR di Bologna, via Gobetti 101.

Una serie di incontri aperti a tutti coloro che
vogliono prendersi del tempo per ascoltare, pensare,
condividere e confrontarsi.



9 maggio 2022

LA MUSICA COME ALGEBRA DELL'ANIMA

Mauro Orlandini
OAS INAF

La musica ha un grande potere sulla nostra vita: è in grado di modificare i nostri stati emotivi. Ma perché ci piace la musica? Ed in ultima analisi: cos'è la musica? Per rispondere a queste domande intraprenderemo un percorso che inquadrerà il fenomeno musicale da un punto di vista multidisciplinare: matematica, fisica, sociologia, scienze cognitive ed ovviamente arte ci faranno da guida per comprenderne appieno il significato.



30 maggio 2022

PATTERNLAND. LA DISUGUAGLIANZA NELL'ARTE

Pier Francesco Sciuto
Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia Romagna

Dal mondo greco e romano, al nostro Medioevo e alle splendide tassellazioni islamiche, le formule di Sciuto (che utilizza solo le conoscenze matematiche e trigonometriche del tempo, invariate dal II secolo a.C. per oltre 1600 anni) si spingono oltre, andando a toccare l'arte e gli artisti del primo Novecento, con effetti geometrici a volte rigorosi a volte psichedelici, ma sempre sorprendenti. Siete pronti per un viaggio immersivo nel tassellato mondo dei pattern?



20 giugno 2022

UMANITÀ IN MOVIMENTO TRA DESIDERI E NECESSITÀ

Francesca Alvisi - Gabriela Carrara - Rebecca Rossetti
ISMAR CNR - IMM CNR - UNIBO

Un incontro con le autrici di un e-book che analizza in maniera il più possibile oggettiva le cause e gli effetti del fenomeno della migrazione umana in relazione a quelle che, dall'alba dei tempi, sono le motivazioni alla base di tale fenomeno: la ricerca di spazi vitali e risorse naturali, il miglioramento delle condizioni di vita e i cambiamenti ambientali.



1 luglio 2022

L'UNIVERSO TRA LE DITA

STORIE DI SCIENZIATI IPOVEDENTI O NON VEDENTI

Michele Mele - Università degli Studi del Sannio

Dialoga di equilibrio di genere e inclusione delle diversità con **Silvia Giuliani** (ISMAR CNR) e **Alberto Zanelli** (ISOF CNR)

È ora di liberarci dai pregiudizi che allontanano, sovente in precoce età, le persone con patologie della vista dalle discipline scientifiche, troppo spesso considerate ancora oggi a loro inaccessibili. Per farlo intraprenderemo un viaggio nella storia della scienza, sulle orme dei grandi che, osservando il mondo dal buio o dalla penombra, hanno rivoluzionato la nostra concezione dell'universo, salvato vite e contribuito al benessere dell'umanità attraverso le loro scoperte ed invenzioni.



11 luglio 2022

LA SCIENZA A SPASSO TRA LE NUVOLE

Vincenzo Levizzani
ISAC CNR

Lo studioso osserva le nuvole, ma lo fa con occhi diversi da quelli di poeti e sognatori, cioè quelli della scienza, e da punti di vista inusuali come il laboratorio, l'aereo, il radar, il satellite. Tra goccioline, cristalli, Graupel e chicchi di grandine penetriamo l'interno delle nuvole per spiarne i segreti più intimi e nascosti. Il viaggio è appassionante per imparare a leggere il cielo e capire ciò che le nuvole hanno da dirci sul clima che cambia. Avere la testa fra le nuvole si trasforma in una delle occupazioni più concrete dell'uomo moderno che deve imparare a guardare il cielo con occhi attenti per scoprirne le influenze sulla vita di tutti i giorni.



Biblioteca Dario Nobili
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Area Territoriale di Ricerca di Bologna

Prenotazione obbligatoria

<https://book.cnr.it/bibliocnrb/events/slow-science/>

Scienze by Mediamanager



Figura 4
Locandina eventi ciclo maggio-luglio 2022



Slow Science

Dalle ore 17.30 alle 19.00 presso la sala lettura della Biblioteca Dario Nobili CNR di Bologna, via Gobetti 101.

Una serie di incontri aperti a tutti coloro che vogliono prendersi del tempo per ascoltare, pensare, condividere e confrontarsi.



Lunedì 7 novembre

CONOSCENZA APERTA, LIBERA, DAL BASSO: WIKIPEDIA E ALTRI PROGETTI COLLABORATIVI

Giuseppe Profiti - Volontario e socio Wikimedia Italia

La grande disponibilità di informazioni necessita di un maggiore impegno di analisi, collegamento e valutazione delle fonti. Usando come spunto Wikipedia, un progetto che ci accompagna ormai da oltre 20 anni, vedremo come dei progetti online di conoscenza creati dal basso da gruppi (spesso volontari) influiscano sul mondo e sulla vita di tutti i giorni. Come la partecipazione non sia limitata alla scrittura di una enciclopedia e come ogni contributo aiuti a creare qualcosa di più grande della somma delle parti.



Venerdì 25 novembre

ALIMENTAZIONE, SALUTE ED EQUILIBRIO

Carla Ferreri - ISOF CNR
Roberto Riva - Medico chirurgo specializzato in Neurofarmacologia

Un incontro sull'alimentazione in cui saranno esposte dapprima le basi della Medicina Tradizionale Cinese utili a comprendere il potere curativo dei cibi, le caratteristiche energetiche secondo i suoi paradigmi in cui l'alimentazione e la terapia sono strettamente interconnesse. Nella seconda parte si parlerà dei grassi, elementi indispensabili alla vita ed alla formazione di cellule per tutti gli organismi viventi, e del loro principio di equilibrio che si realizza nella formazione spontanea ed organizzata di membrane cellulari.



Venerdì 2 dicembre

PRESENTAZIONE "DIARIO DI GUERRA" DI DARIO NOBILI

Mirco Dondi - Docente Università di Bologna, DISCI
Alberto Preti - Professore Alma Mater, Università di Bologna
Federica Zanetti - Docente Università di Bologna, EDU

La vita di un bambino che diventa adolescente e annota nel suo diario segreto il tempo di una guerra che ha sconvolto il mondo. Ne discutono Mirco Dondi e Alberto Preti, storici dell'età contemporanea, con Federica Zanetti, specialista di didattica e pedagogia.

SARANNO SCIENZIATI



Lunedì 5 dicembre

SAPER VEDERE OLTRE: ATTRAVERSO LE IMMAGINI, NONOSTANTE LE IMMAGINI

Mario Rotta - Storico dell'arte, e-learning manager ed esperto di cultura digitale

Le immagini valgono più di mille parole: ma questa volta la sintesi non c'entra nulla. Le mille parole nascoste in un'immagine aiutano a cogliere gli equivoci e i miti significati che spesso contengono, per infinite ragioni che non è facile decifrare. Attraverso la storia di tre immagini celebri si può così scoprire che la manipolazione delle immagini o dell'evidenza del loro significato sono fenomeni in atto da molto tempo che a volte è possibile scardinarli solo applicando una rigorosa scienza della visione sostenuta da una adeguata coscienza critica.



Lunedì 12 dicembre

**ALLE ESTREMITA' DEL MONDO FISICO
DAI QUARK ALLE GALASSIE PASSANDO PER LA TERRA**

Gianpaolo Bellini - Professore emerito UNIMI e ricercatore emerito INFN
Enrico Bonatti - Senior Special Scientist, Columbia University e Associato, ISMAR CNR

Il micromondo che sta al di sotto del macromondo, nel quale viviamo, mostra che niente è lasciato al caso ma che tutto è retto da una rete di leggi: questa rete è la stessa che ha guidato la formazione dell'universo con i suoi miliardi di sistemi stellari. Quello che è stato studiato finora del cielo è solo il 5%, perché tutto il resto è materia oscura e energia oscura. In tutto ciò compare anche la storia della Terra, la sua formazione, la sua evoluzione fino alla situazione attuale. Infine siamo riusciti a scoprire come e perché il Sole e le stelle brillano.



Biblioteca Dario Nobili
Consiglio Nazionale delle Ricerche
Area Territoriale di Ricerca di Bologna

Per partecipare in presenza
o per seguire lo streaming
<https://book.cnr.it/bibliocnrbo/eventi/slow-science/>



Figura 5
Locandina eventi ciclo novembre-dicembre 2022

Quaderni di Comunicazione Scientifica, 3, 2022

71

contenuti su entrambi i canali social. Ogni singolo evento viene promosso su Instagram come storia caricata almeno 24 ore prima dell'evento. Su Facebook invece vengono realizzati due post, uno il giorno prima dell'evento e il secondo la mattina stessa come *reminder*, tra le ore 10 e le 11.

Una selezione di quattro foto scattate durante l'evento è pubblicata come carosello il giorno seguente, mettendo in risalto la sala lettura della biblioteca con i partecipanti e il relatore mentre dialoga con il pubblico.

Slow Science

Una serie di incontri aperti a tutti coloro che vogliono prendersi del tempo per ascoltare, pensare, condividere e confrontarsi

PALINSESTO AUTUNNALE

GLI APPUNTAMENTI
Dalle ore 18.00 alle 20.00 presso la sala lettura della Biblioteca Dario Nobili CNR di Bologna, via Gobetti 101

7/11 CONOSCENZA APERTA, LIBERA, DAL BASSO WIKIPEDIA E ALTRI PROGETTI COLLABORATIVI

25/11 ALIMENTAZIONE, SALUTE ED EQUILIBRIO

2/12 "DIARIO DI GUERRA. 1941-1945" DI DARIO NOBILI

5/12 SAPER VEDERE OLTRE: ATTRAVERSO LE IMMAGINI, NONOSTANTE LE IMMAGINI

LUNEDÌ 7 NOVEMBRE
CONOSCENZA APERTA, LIBERA, DAL BASSO WIKIPEDIA E ALTRI PROGETTI COLLABORATIVI
GIUSEPPE PROFITI
VOLONTARIO E SOCIO WIKIMEDIA ITALIA

VENERDÌ 25 NOVEMBRE
ALIMENTAZIONE, SALUTE ED EQUILIBRIO
CARLA FERRERI
CNR ISOF

ROBERTO RIVA
MEDICO CHIRURGO

VENERDÌ 2 DICEMBRE
"DIARIO DI GUERRA 1941-1945" DI DARIO NOBILI
MIRCO DONDI
UNIBO DISCI

ALBERTO PRETI
UNIBO

FEDERICA ZANETTI
UNIBO EDU

LUNEDÌ 5 NOVEMBRE
SAPER VEDERE OLTRE: ATTRAVERSO LE IMMAGINI, NONOSTANTE LE IMMAGINI
MARIO ROTTA
STORICO DELL'ARTE, E-LEARNING MANAGER ED ESPERTO DI CULTURA DIGITALE

PER PARTECIPARE IN PRESENZA O SEGUIRE LO STREAMING

Visita il link in bio!
<https://book.cnr.it/bibliocnrbo/eventi/slow-science/>

Figura 6
Esempio di carosello pubblicato su Instagram

Un ulteriore mezzo di promozione adottato, a partire dal palinsesto autunnale, è la newsletter, che viene inviata almeno cinque giorni prima di ogni evento. I destinatari si possono dividere in due tipologie: i primi sono gli utenti interni all'Area CNR di Bologna (personale tecnico-amministrativo, ricercatori e dottorandi), per cui viene utilizzato un linguaggio formale e professionale, mentre i secondi sono gli esterni, ovvero il pubblico al di fuori dell'Area, composto principalmente da utenti e amici della biblioteca, studenti, colleghi bibliotecari, professori universitari, cittadini e partecipanti agli eventi SlowScience precedenti. Per questo target il linguaggio utilizzato è informale, semplice e talvolta ironico, come è d'uso tra amici. La newsletter si è dimostrata uno strumento efficace per la promozione degli eventi, in particolare quando rivolta al pubblico esterno: in media, secondo le statistiche, il 60% dei contatti apre la mail e circa il 50% interagisce con il contenuto. Il template grafico della newsletter segue la logica del logo SlowScience: si tinge di arancione durante i mesi autunnali, di azzurro d'inverno e di verde durante la primavera e l'estate.

f) Aperitivo light

A conclusione di ogni evento abbiamo deciso di offrire un piccolo aperitivo, non pubblicizzato sui volantini. Questo momento di convivialità inaspettato rompe definitivamente le barriere tra relatori e pubblico e trattandosi di numeri limitati favorisce il superamento di quei pudori reverenziali del pubblico (o di una certa parte) nei confronti degli argomenti scientifici o di chi fa scienza.

5. *Prospettive future*

L'iniziativa si propone di divenire un appuntamento ciclico per la cittadinanza che sta piano piano riscoprendo queste zone della città grazie anche all'inseadimento delle nuove sedi universitarie vicino all'Area della Ricerca del CNR.

I desiderata sono quelli di costruire un punto di riferimento per l'informazione scientifica utilizzabile sia da chi vuole divulgare la scienza sia da chi la scienza la vuole ascoltare, conoscere, apprezzare.

Essere una biblioteca scientifica altamente specializzata ma aperta al pubblico permette la creazione di un percorso virtuoso: stimolare la curiosità iniziale verso gli argomenti scientifici attraverso gli incontri informali con il pubblico, contribuire a soddisfare l'interesse attraverso il supporto dello scaffale divulgativo in primis e successivamente attraverso i testi specialistici fino alla consulta-

zione delle riviste scientifiche specializzate, di fatto precluse al comune cittadino o a chi è momentaneamente escluso dal mondo scientifico.

Costruire eventi con il pubblico in una biblioteca non rappresenta certo una novità; quello che contraddistingue questa iniziativa è che con SlowScience, la BDN apre al pubblico in modo periodico e regolare l'Area del CNR, un luogo normalmente inaccessibile, se non per motivi specifici, gettando le basi per un ponte tra il mondo interno e quello esterno alla ricerca. Permette che all'interno del loro luogo di lavoro astronomi vadano ad incontri sull'arte o che fisici si interessino all'alimentazione.

La biblioteca scientifica si configura, quindi, non solo come luogo di conservazione o luogo di studio ma come luogo di incontro tra mondi differenti, nuova piazza del sapere in cui stimolare spirito critico e voglia di conoscenza in pubblici di non specialisti.

Riferimenti bibliografici

Signorini S. (2000), *Enzo Zacchioli. Forma e spazio*, Milano, Electa.

Stengers I. (2018), *Another Science is Possible: A Manifesto for Slow Science*, Cambridge, Polity Press.

The Slow Science Academy (2010), "The Slow Science Manifesto", <http://slow-science.org/slow-science-manifesto.pdf>.

How I met Science!

Scoprire la scienza: dalle aule universitarie al territorio

Eleonora Polo

Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (CNR ISOF, UOS Ferrara)

Il progetto *How I met Science!* (HIMS!)¹ è nato nel 2013 per iniziativa degli “Scienziati Irriducibili”, un gruppo di studenti, dottorandi e giovani ricercatori appartenenti a diversi corsi di studio dell’Università di Ferrara, accomunati/e dalla passione per la scienza e l’interesse per la divulgazione. L’autrice dell’articolo è stata Tutor scientifico del progetto nell’AA 2017-18, dedicato interamente alla chimica.



Figura 1

18 maggio 2019. Foto di gruppo con gli “Scienziati Irriducibili”

¹ <https://howimet.science/>.

1. *Non solo lezioni*

La missione di HIMS! è avvicinare i/le ragazzi/e delle scuole di ogni ordine e grado e il grande pubblico alla scienza, in particolare alle cosiddette materie scientifiche *dure*, ancora ritenute da molti ostiche, distanti dalla quotidianità e nelle quali perdurano forti differenze di genere. Si tratta di un problema culturale, sociale ed economico allo stesso tempo. Il numero di laureati/e nelle discipline STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*) è costantemente insufficiente rispetto alla domanda nell'insegnamento e nell'industria, come lo è il forte divario di genere delle immatricolazioni nelle discipline scientifiche. Il *XXIV Rapporto*² del Consorzio Interuniversitario AlmaLaurea (AA 2021-22) riporta in questo settore un 22% di iscrizioni di donne contro il 70% di uomini. Nonostante le ragazze rappresentino il 59,4% dei laureati in Italia, nel 2021 solo il 19% si è laureato in una materia STEM contro il 37% dei ragazzi. È quindi necessario intervenire fin dalla scuola primaria e accompagnare il percorso di studio in tutte le fasi successive. E non si tratta solo della trasmissione di contenuti, ma anche della passione e del gusto di conoscere e sperimentare.

Per gli studenti universitari HIMS! è anche una scuola pratica e aggiornata sulle tecniche di didattica e divulgazione scientifica, un aspetto spesso trascurato nei corsi ordinari. Uno dei punti cruciali della pedagogia gentiliana, “Non s’insegna ad insegnare”, ha lasciato una pesante eredità nella nostra scuola. L’inconsistenza di questa affermazione e il fatto che conoscere una materia non garantisca automaticamente la capacità di saperla comunicare e farla amare, temo abbia fatto parte dell’esperienza scolastica di molti di noi.

Inoltre gli studenti sperimentano che «c’è un vantaggio reciproco, perché gli uomini, mentre insegnano, imparano»³ e che «nelle nostre scuole, generalmente parlando, si ride troppo poco. L’idea che l’educazione della mente debba essere una cosa tetra è tra le più difficili da combattere»⁴.

Vale la pena che un bambino impari piangendo quello che può imparare ridendo? Se si mettessero insieme le lacrime versate nei cinque continenti per colpa dell’orto-

² https://www.almaulaurea.it/sites/almaulaurea.it/files/convegni/Bologna2022/sintesi_rapportoal-malaurea2022.pdf.

³ L.A. Seneca, *Lettere a Lucilio*, Milano, Rizzoli, 1974.

⁴ G. Rodari, *Grammatica della fantasia*, Milano, Einaudi Ragazzi, 2013.

grafia, si otterrebbe una cascata da sfruttare per la produzione dell'energia elettrica. Ma io trovo che sarebbe un'energia troppo costosa.⁵

Anche sulle STEM sono state versate troppe lacrime e prodotti troppi sbadigli.

Non sono operazioni che si possono realizzare a costo zero e il progetto ha potuto beneficiare del finanziamento del Fondo Culturale dell'Università di Ferrara che, tra le varie forme di agevolazione economica agli studi, ogni anno sovvenziona iniziative di alto valore culturale e sociale, proposte e organizzate da associazioni o gruppi di studenti universitari. La valutazione dei progetti e la definizione delle priorità di finanziamento si basano sulla rilevanza culturale e organizzativa delle proposte e sulla capacità di coinvolgere un numero ampio di appartenenti alla comunità studentesca universitaria.

A partire dall'AA 2014-15 il progetto HIMS! ha sempre superato le selezioni annuali ed è stato uno dei progetti che hanno ricevuto maggiori finanziamenti dal Fondo per le Attività Culturali autogestite dell'Università di Ferrara.

2. *Il percorso*

Le varie edizioni, anno dopo anno, hanno affrontato una o più discipline STEM, partendo da quelle considerate *meno digeribili*: Matematica, Fisica, Informatica e robotica, Chimica, Scienze Naturali (Geologia e Biologia), Ingegneria. Dopo lo stop dovuto alla pandemia, dall'AA 2020-21 le attività sono riprese scegliendo tematiche multidisciplinari: "Arte e scienza", "La magia della scienza".

L'attività è aperta a tutti gli studenti dell'Ateneo (inclusi dottorandi e studenti di master). Su richiesta, possono assistere alle lezioni – ma non ai laboratori, per questioni di assicurazione – anche insegnanti delle scuole primarie e secondarie.

Ogni anno l'attività si articola in tre fasi, ciascuna gratuita e facoltativa.

1) Il *Training* (fig. 2) è la parte iniziale di formazione teorico-pratica. Il ciclo di seminari è di solito costituito da 18 ore di didattica suddivise in sei incontri. Dopo una lezione introduttiva di circa un'ora, gli studenti possono cimentarsi subito – e divertirsi – nell'esecuzione degli esperimenti (*learning by doing*), in

⁵Id., *Il libro degli errori*, Milano, Einaudi Ragazzi, 2011.

modo da consolidare le nozioni apprese nella parte teorica e ad apprendere le norme per maneggiare reattivi e apparecchiature in sicurezza.

2) La seconda fase del progetto, l'*Outreach*, prevede che gli studenti mettano in pratica quanto appreso nel training offrendosi come mentor in laboratori didattici nelle scuole primarie e secondarie di Ferrara e provincia. La filosofia di questi incontri è incuriosirsi, aiutarsi a vicenda, scoprire insieme e discutere.



Figura 2
Pagina web del Progetto HIMS!

L'attività è gratuita per le scuole che possono iscrivere le classi direttamente online.

Non si riesce quasi mai a soddisfare tutte le richieste, perché il numero degli interventi dipende da quanti studenti si rendono disponibili per queste attività, che devono gestire destreggiandosi fra lezioni e laboratori universitari o attività di ricerca.

3) L'attività si conclude con il Festival della Scienza, che si tiene ogni anno tra fine maggio e inizio giugno presso una struttura universitaria che mette a disposizione aule e spazi aperti per tutte le attività. Si tratta di laboratori ad accesso libero o su prenotazione, conferenze e lezioni spettacolo. Al mattino la maggior parte delle attività laboratoriali è riservata soprattutto alle scuole, mentre il pomeriggio è aperto a chiunque sia interessato.

3. Anno 2017-18. La chimica sotto i riflettori

La chimica è una materia che per sua natura si presta ad essere applicata ai contesti più disparati, quindi la scelta degli argomenti da trattare è pressoché infinita, ma ci sono limitazioni: facilità di trasmissione dei contenuti, reperimento e costo dei materiali, tempi e difficoltà di esecuzione degli esperimenti, possibili rischi per gli esecutori. Inoltre, nell'ottica di un impatto educativo significativo e duraturo, è importante che gli argomenti siano collegati alla vita quotidiana e all'educazione a una cittadinanza responsabile. Non è mai troppo presto!

Il rischio che si corre più facilmente è quello di cercare di rendere più interessante e accattivante la chimica puntando soprattutto alla spettacolarità che garantisce un successo immediato. Si tratta tuttavia di un'arma a doppio taglio perché, passato l'*effetto wow*, potrebbe restare molto poco o prodursi una saturazione emozionale che porta alla ricerca di effetti sempre più spettacolari ed estremi. La sfida è cercare sempre l'equilibrio fra accontentare l'occhio e fornire un insegnamento di buona qualità. Non sono attività che si improvvisano. La rete è piena di ricette più o meno praticabili in una scuola, più o meno rischiose o costose. È anche necessario essere sobri e contenersi nella narrazione per non incoraggiare comportamenti a rischio. Cronache recenti⁶ hanno confermato che non si tratta di una preoccupazione ingiustificata o eccessiva.

3.1. Fase 0 – Predisporre il piano di guerra (settembre 2017)

Prima della fase di training è stato necessario decidere con largo anticipo gli argomenti della parte teorico-sperimentale (fig. 3) e predisporre un piano di lavoro minuzioso stilando le schede operative dettagliate per ogni esperimento per procedere all'acquisto/reperimento di reagenti chimici, materiali di consumo ed eventualmente piccoli strumenti.

3.2. Fase 1 – Training (ottobre 2017-febbraio 2018)

Il filo conduttore dei lavori sono stati i polimeri naturali, artificiali e sintetici, più una puntata extra dedicata a un *evergreen* della divulgazione chimica, gioca-

⁶ <https://www.agi.it/cronaca/news/2020-07-03/esperimento-chimica-morto-ragazzino-collegno-9059644>; <https://www.sardegnaalive.net/news/nel-mondo/396319/esperimento-chimico-in-classe-finisce-male-undici-bambini-ustionati-finiscono-in-ospedale>

How I met Science!

1. Costruire i polimeri?
Si può anche senza laboratorio!
2. Ma che cos'è questa chimica?
Che cosa serve per insegnarla?
3. Indovina la plastica!
Sai dove buttarla?
4. Aiuto, c'è un polimero nel mio piatto!
Sorprese culinarie e cucina spaziale
5. La chimica fa spettacolo...
e non è magia! O forse sì?
6. Ritornare alle origini:
le bioplastiche

Didattica e divulgazione scientifica, come non l'avete mai vista.

Laboratori gratuiti per tutti gli studenti UniFE.
Novità 2017-2018

Chimica

ISCRIZIONI E INFO
info@howimet.science
www.howimet.science

Al termine del ciclo di incontri per chi lo desidera c'è la possibilità di mettere in pratica quanto appreso, con interventi nelle scuole della provincia.

Attività realizzata con il contributo del fondo culturale A.A. 2016-2017 stanziato dall'Università di Ferrara

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA

Figura 3
Locandina del programma 2017-18

re con i colori. I sei incontri hanno affrontato queste tematiche con gradualità, partendo dalle nozioni scientifiche di base e proponendo modalità didattiche adattate ai vari ordini scolastici.

1. Ma che cos'è questa chimica? Che cosa serve per insegnarla?⁷

Per operare in modo efficace occorre una fornita *cassetta virtuale degli attrezzi* e conoscere i trucchi del mestiere. In particolare, sono necessarie indicazioni per reperire in rete il materiale didattico e avere a disposizione un elenco di siti web utili e affidabili per la didattica della chimica e dei polimeri. È anche stato spiegato il funzionamento di programmi semplici, ma efficaci e gratuiti, per disegnare formule chimiche ed elaborare immagini e video.

⁷ in collaborazione con l'associazione Accatagliato di Padova e la rivista Planck

2. Costruire i polimeri? Si può anche senza laboratorio!

L'introduzione di base alla chimica e al mondo dei polimeri è stata seguita da un laboratorio in cui, attraverso mimi, animazioni e uso di materiale di cancelleria, si possono avvicinare i/le ragazzi/e in modo semplice e divertente a questo settore della chimica e della tecnologia. Sono stati creati modelli di molecole semplici con la plastilina o il didò appositamente preparato. Un esempio di modifica di un polimero è stata la produzione di uno Slime® casalingo con la colla vinilica e di uno più professionale con l'alcol polivinilico (fig. 4) scoprendo anche il funzionamento *miracoloso* di plastificanti come la glicerina.



Figura 4
Preparazione dello Slime®

3. Indovina la plastica! Sai dove buttarla?

Lo scopo della lezione è stato imparare a riconoscere i polimeri con cui si fabbricano imballaggi e oggetti della vita quotidiana e *giocare* con la raccolta differenziata della plastica usando oggetti di recupero e i kit didattici di Corepla realizzati per la scuola primaria. Sono stati visionati anche alcuni brevi filmati e animazioni utili per spiegare come gli impianti di riciclo separano e trasformano i vari materiali plastici.

4. Aiuto, c'è un polimero nel mio piatto! Sorprese culinarie e cucina spaziale

Un incontro per conoscere alcuni polimeri presenti negli alimenti e individuarli direttamente con semplici test di laboratorio (soluzione di Lugol per gli amidi e saggio di Biuret per le proteine, fig. 5). Per i più grandi sono state propo-

ste metodologie impiegate nella gastronomia molecolare come la sferificazione degli alginati, l'uso della lecitina di soia come compatibilizzante di fasi acquose e lipidiche e la denaturazione delle proteine dell'uovo per cuocerlo a freddo con il semplice alcol etilico.

5. La chimica fa spettacolo... e non è magia! O forse sì?

Uno degli aspetti più belli, ma anche utili, della chimica di molte molecole è la loro capacità di cambiare colore in seguito a reazioni acido-base o di ossido-riduzione. Semplici esperimenti possono far comparire *come per magia* la variegata tavolozza della chimica, che con i suoi colori ha reso più bello il mondo.



Figura 5
Individuazione di amidi e proteine in vari alimenti

6. Ritornare alle origini: le bioplastiche

Le nuove bioplastiche spesso non sono che un ritorno alle origini, perché tutte le prime materie plastiche sono state ottenute modificando polimeri già presenti in natura e biodegradabili. Si è quindi imparato come estrarre biopolimeri (caseina, amido) da comuni alimenti o scarti alimentari e trasformarli in bioplastiche o materiali per altre applicazioni come colle o pitture.

La fase di training è servita anche ad aggiustare il tiro e a quantificare meglio le attività da svolgere nelle scuole, tenendo conto delle conoscenze di chimica degli studenti che in quel particolare anno partecipavano al progetto. Per ogni materia STEM ogni anno costituisce sempre un caso a sé, perché la provenienza e la preparazione dei futuri mentor non è mai la stessa.

3.3. Fase 2 – Outreach (febbraio-maggio 2018)

Nella fase operativa circa una cinquantina di partecipanti si è impegnata nelle attività di divulgazione (mini lezioni + laboratori) presso scuole primarie (24 classi di 12 scuole), secondarie di primo (18 classi di 9 scuole) e secondo grado (Liceo Scientifico Roiti e IIS Carpeggiani, 8 classi in totale) di Ferrara e provincia. Non è stato possibile accontentare tutte le richieste, indice di quanto queste attività siano gradite, interessanti e formative.

3.4. Fase 3 – Festival (28 maggio 2018)

La IV edizione del Festival della Scienza ha avuto luogo presso il Polo Universitario degli Adelardi, una delle sedi del Dipartimento di Economia e Management di Ferrara (fig. 6). Sono stati proposti laboratori ad accesso libero o su prenotazione, conferenze e lezioni spettacolo. Le prenotazioni sono state in totale circa un migliaio. A completamento dell'attività di formazione, nel corso del Festival ho tenuto due lezioni con esperimenti dal vivo (una per le scuole al mattino e una ad accesso libero nel pomeriggio), dal titolo “Da Sherlock Holmes a NCIS: la chimica sul luogo del delitto”, dedicato alla chimica forense (fig. 7), e la conferenza dal titolo “Le isole di plastica negli oceani esistono davvero? Come sono fatte?” sul problema dell'inquinamento marino da plastica.



Figura 6
Ferrara, 28/05/2018 IV Festival della Scienza. Registrazione degli iscritti

In totale le prenotazioni dei tre eventi (111) hanno esaurito tutti i posti disponibili nella sala dedicata che poteva ospitare al massimo 35 persone a sedere.



Figura 7
Ferrara, 28 maggio 2018, IV Festival della Scienza.
Lezione spettacolo sulla chimica forense

4. Non finisce qui. Il dopo Festival

Per non disperdere il patrimonio di conoscenze e competenze acquisite, il nucleo fondatore degli “Scienziati Irriducibili” ha dato vita nel 2018 all’Associazione di Promozione Sociale (APS) Nova⁸, per proseguire ed espandere le attività di HIMS! che portano avanti dal 2015 a beneficio di tutta la cittadinanza e non solo.

La mia collaborazione con le due associazioni continua tuttora e il 18 maggio 2019 ho partecipato al V Festival della Scienza (fig. 8) insieme ai miei studenti del corso appena istituito di Didattica della Chimica per la LM in Scienze Chimiche.

⁸ <https://nova-aps.it/>.



Figura 8
Ferrara, 18 maggio 2019, V Festival della Scienza.
Locandina e allestimento di Ricicloca

È stata l'occasione – unica purtroppo per via dei lockdown successivi dovuti alla pandemia – per verificare sul campo quanto progettato nelle esercitazioni sulle tecniche di *gamestorming*⁹, pratiche sviluppate in ambito aziendale per facilitare l'innovazione che, con gli opportuni adattamenti, sono utili per organizzare in modo efficiente e rapido attività di formazione adattabili a vari contesti. In particolare, abbiamo lavorato alla realizzazione di una versione del gioco dell'oca “Ricicloca. Impariamo la differenziata giocando” sulla raccolta differenziata dei rifiuti urbani (fascia di età: 11-15 anni).

Il gioco, adattato e tradotto anche in lingua inglese (The Recycling Goose Game) e tedesca (Das Recycling Gänse-Spiel), è entrato a fare parte dei toolkit del progetto RM@Schools di ISOF¹⁰.

Al Festival della Scienza gli studenti del corso hanno partecipato attivamente alla conduzione del gioco, mentre io mi sono limitata curare i dettagli della logistica e a tenere una mini lezione iniziale sulla raccolta differenziata in modo che tutti i partecipanti potessero partire da una base di conoscenze comune. Anche se la sistemazione nelle aule non è stata ideale (all'esterno diluviava e i banchi di tutte le aule erano avvitati al pavimento, fig. 8), il risultato è stato comunque positivo e i partecipanti sono usciti soddisfatti.

Infine, nell'AA 2021-22 sono stata coinvolta, insieme ad altri esperti, come tutor alla formazione per una lezione+laboratorio per l'edizione di HIMS! che

⁹ E. Polo, *Gamestorming: dalla Silicon Valley alle aule scolastiche*, «CnS. La Chimica nella Scuola», 2022, vol. 2, pp. 15-20.

¹⁰ <https://rmschools.isof.cnr.it/about.html>.

aveva per tema “La magia della scienza. Lo scienziato sul palco diventa illusionista!” (fig. 9).

È stata l’occasione per insegnare agli 80 studenti che hanno seguito la lezione come sfruttare per la didattica l’immaginario dei libri di J.K. Rowling associando varie reazioni chimiche agli incantesimi che si trovano nella saga di Harry Potter e sfruttando anche i filmati che ho realizzato per le “Lezioni di scienza”¹¹ dell’allora Unità Comunicazione e Relazioni con il Pubblico del CNR durante il primo lockdown nel 2020¹².



Figura 9
Locandina della lezione “Magica chimica”

5. Conclusioni

Rendere gli studenti protagonisti della divulgazione – e non solo fruitori – è un elemento importante della loro formazione. HIMS! è un esempio del fatto che questo tipo di esperienza andrebbe sfruttato maggiormente anche negli

¹¹ https://www.youtube.com/playlist?list=PLajkmLXJqxoXWGDALgOBCnNZ4yvFw_pzN.

¹² E. Polo, *Magica Chimica: la chimica spiegata con gli incantesimi della saga di Harry Potter*, «Quaderni di comunicazione scientifica», n. 1, 2021, pp. 171-178.

How I met Science!

altri percorsi scolastici, perché porta a un maggiore approfondimento degli argomenti appresi e promuove la responsabilizzazione verso i più giovani. Un approccio di questo tipo è stato sperimentato con successo in occasione della Notte dei Ricercatori del 2019 quando gli studenti di vari licei di Bologna, istruiti nell'ambito del progetto RM@Schools, hanno condotto in prima persona¹³, con la supervisione di ricercatori del CNR, un evento satellite presso una scuola media con dimostrazioni ed esperimenti su materie prime, economia circolare e bioeconomia, e magnetismo.

Si ringraziano: il Fondo per le Attività Culturali autogestite dell'Università di Ferrara per gli AA 2017-18, 2018-19 e 2021-22. Gli Scienziati Irriducibili, l'Associazione Nova, gli studenti del corso di Didattica della Chimica AA 2017-18. Il progetto RM@Schools 4.0 – Raw Ambassadors at Schools (project agreement No. 20069) under the framework partnership Agreement No. FPA 2016/EIT/EIT Raw Materials, specific Agreement No. EIT/RAW MATERIALS/SGA 2019/.

¹³ Clip sull'evento: <https://www.youtube.com/watch?v=icLPB3cSEM4&list=PLjD8NWQ60GCVO23uZW-rH3EvUK5F-8zkM&index=13>.

Storytelling e metodologia *hands on*: avvicinare i bambini e le bambine alla ricerca ambientale e climatica

Sabrina Presto^a, Cristina Mangia^b

^a Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia (ICMATE) - CNR e Associazione donne e scienza

^b Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) - CNR e Associazione donne e scienza

1. Introduzione

Viviamo in un mondo sempre più segnato dalla conoscenza scientifica e dall'innovazione tecnologica tanto che, quella attuale, viene definita società della conoscenza. Secondo Pietro Greco (2017) la costruzione della cittadinanza scientifica è elemento essenziale per una società che sia anche democratica. Una cittadinanza, cioè, che non solo consenta alla società di effettuare scelte di natura tecnica e/o scientifica senza scadere in un populismo caotico e paralizzante, ma che, soprattutto, abbia la possibilità di cogliere tutte le opportunità offerte dallo sviluppo delle conoscenze e di minimizzare rischi ed effetti sociali indesiderati.

La complessa sfida della crisi ambientale e climatica è l'esempio calzante di quanto sia necessaria una cittadinanza coinvolta e consapevole. A nulla serve cercare di convincere le persone con dati e modelli allarmanti: la crisi climatica appare un problema enorme, con tempi e sviluppi lunghi e complessi; dà adito a sentimenti di inadeguatezza, incapacità e impotenza. L'intervento del singolo sembra insignificante di fronte ad una tale immensità e il sentimento che emerge è prevalentemente quello dello sconforto (Odou *et al.*, 2021). Occorre allora coinvolgere la cittadinanza in un processo partecipato e sentito (Presto *et al.*, 2023) e, laddove possibile, raccontare storie di successo in cui un impegno collettivo è riuscito ad incidere su azioni di politica ambientale.

Da qui, la necessità di avvicinare i bambini e le bambine fin da piccoli/e alle tematiche di ricerca su tali temi, con metodologie efficaci e adatte alla loro giovane età quali lo *storytelling* e l'*hands on*.

La narrazione, ascoltata e prodotta, è infatti una componente essenziale e spontanea della vita degli esseri umani a partire dall'infanzia ed è stata mantenuta nel percorso evolutivo dell'*Homo sapiens* e in tutte le culture (Gottschall,

2014), suggerendo che in qualche modo porti beneficio alle persone (Sugiyama, 2001). Uno studio collaborativo tra pedagogisti, psicologi e medici del 2021 (Brockington *et al.*, 2021) ha indagato gli effetti delle narrazioni sui bambini e le bambine a livello psico-fisiologico, evidenziando un aumento di ossitocina, l'ormone dell'empatia, associato anche allo sviluppo di comportamenti prosociali (Zack *et al.*, 2007) e all'aumento di atteggiamenti di fiducia tra le persone (Kosfeld *et al.*, 2005).

Ascoltare il racconto di storie vissute da altri sviluppa nelle persone la capacità di immaginarle, stimolando l'immedesimazione (Pulvermüller, 2005). Le storie, inoltre, facilitano l'apprendimento e la creatività e, toccando la sfera emozionale, rimangono indelebili nei ricordi dei più piccoli.

Attraverso lo *storytelling*, è anche possibile semplificare il contenuto scientifico senza banalizzarlo, contestualizzare il discorso scientifico nella società di oggi e, attraverso il confronto con le società del passato, è possibile riflettere sul progresso scientifico e comprendere come scienza, società ed economia si intrecciano. Infine, attraverso lo *storytelling*, è possibile “smuovere” gli animi e indurre cambiamenti nel pensiero e nel comportamento (Gouthier *et al.*, 2022).

D'altro canto, è proprio grazie ai nostri sensi che possiamo conoscere il mondo che ci circonda, riuscendo a distinguere il piacere dal dolore. Il processo di apprendimento e conoscenza nei primi anni di vita, infatti, è messo in atto grazie alle situazioni che lo soddisfano. I bambini e le bambine agiscono fin da subito con un approccio scientifico, esplorando con tutti i sensi la natura e i suoi fenomeni, le relazioni emotive e sociali tra le persone ed elaborando spontaneamente teorie e idee sulle esperienze che vivono. La sperimentazione attraverso le mani e i diversi sensi consente al bambino e alla bambina di mettersi alla prova, di esprimersi in tutte le sue potenzialità, di riflettere e apprendere ciò che sta osservando e facendo (Compagnoni *et al.*, 2006; Eshach, Fried, 2005).

La metodologia *hands on* è quindi uno strumento didattico fondamentale per un apprendimento partecipato (Flick, 1993/2017).

Sperimentare direttamente, inoltre, ha un duplice effetto: acquisire fiducia nelle proprie capacità, evitando il blocco derivante da stereotipi e luoghi comuni, nella direzione del superamento del *gender gap* nelle discipline e nelle professioni scientifiche e sviluppare senso critico per orientarsi in un mondo di *fake news*.

Questo contributo presenta il laboratorio/teatro “Ti racconto di un mondo pulito”, un'esperienza di didattica informale per la scuola primaria, nata dalla collaborazione tra il CNR e l'Università di Genova, con il patrocinio dell'Associazione Donne e Scienza e il supporto della Fondazione Compagnia di San

Paolo attraverso il progetto “Coelus”. Il laboratorio è stato inserito nel programma del Festival della Scienza di Genova, Edizione 2022, e verrà riproposto in altri eventi di divulgazione scientifica.

1. *Svolgimento del laboratorio*

Il laboratorio è articolato in tre tappe: la prima mostra gli effetti dei gas serra sull'ambiente, con *exhibit* dedicati all'effetto serra e all'acidificazione dei mari, attraverso i quali i/le partecipanti possono misurare direttamente l'aumento della temperatura od osservare il cambiamento del colore delle acque; la seconda è dedicata al funzionamento delle energie rinnovabili e all'uso sostenibile delle alghe in grado di purificare l'acqua, assorbendo il diossido di carbonio (CO_2); la terza tappa rappresenta un momento di rielaborazione, attraverso un gioco di ruolo, sul riuso di CO_2 per produrre e-metano, cioè un combustibile che non inquina.

Il valore aggiunto del laboratorio, però, è legato al fatto che il giovane pubblico è accompagnato in questo percorso da due animatrici che interpretano due scienziate, Eunice Newton Foote e Susan Solomon, che, pur vivendo in epoche molto differenti, hanno dato, entrambe, un contributo ai temi dell'effetto serra, del buco dell'ozono e del clima (fig. 1).



Fig. 1
Le animatrici e i pannelli di allestimento

Le animatrici vestono i panni delle due donne nel vero senso della parola: oltre a spiegare il funzionamento degli *exhibit*, raccontano episodi della loro vita immedesimandosi completamente nei personaggi. Attraverso un dialogo immaginario tra loro e coinvolgendo, ove possibile, il giovane pubblico, si confrontano durante tutto il laboratorio su cosa voglia dire fare un esperimento, e sui progressi nel campo dei diritti delle donne sia nella scienza sia nella vita quotidiana, portando esempi della propria vita personale e professionale. Il messaggio che vogliono lasciare ai bambini e alle bambine è che si può uscire dalla crisi climatica e si può costruire un futuro equo e sostenibile, dove i diritti di tutti, persone e ambiente, sono rispettati. Per farlo è necessario però uno sforzo collettivo, come racconta Susan Solomon attraverso la sua esperienza del protocollo di Montreal sul buco dell'ozono.

I dialoghi tra le due scienziate sono liberamente tratti dal libro *Ragazze per l'ambiente*, di Vichi Demarchi e Roberta Fulci (2021), edito da Editoriale Scienza. Dal libro sono prese anche alcune illustrazioni di Giulia Sagramola, utilizzate nei pannelli dell'allestimento del laboratorio.

Perché questa scelta in un laboratorio sulla crisi climatica? La scarsa presenza delle donne in alcuni settori della scienza e nelle posizioni apicali è da alcuni decenni oggetto di molta letteratura scientifica che si interroga sulle ragioni del fenomeno (Avveduto, Pisacane, 2014), oltre ad essere al centro di molte politiche europee sulle possibili strategie per superare un tale gap¹. Gap che non è solo un problema di pari opportunità, ma una questione strutturale che investe il mondo della conoscenza scientifica e della sua relazione con la società e che rischia di privare la comunità di talenti e punti di vista importanti per la ricerca scientifica e ambientale (Tannenbaum, 2019; Mangia *et al.* 2020). Tra i tanti aspetti ritenuti rilevanti, c'è anche quello del superare gli stereotipi riguardanti il genere e la scienza, tra i quali quello dominante della scarsa attitudine delle donne nei confronti della scienza. Il recupero di biografie di scienziate più o meno eccezionali, oltre a fornire possibili modelli di ruolo, aiuta a rivelare i contributi delle donne nella scienza, nonostante un contesto storico-sociale che, oltre a non consentire loro una formazione accademica specifica, tendeva a sminuirne i contributi, alcuni dei quali spesso si sono rivelati fondamentali in tempi successivi (Mangia, 2015; Mangia, Presto, 2022). Il dialogo immaginario

¹ https://research-and-innovation.ec.europa.eu/news/all-research-and-innovation-news/international-womens-day-eu-support-women-research-science-and-education-2022-03-08_en.

tra le due animatrici, prova ad unire la curiosità dei bambini e delle bambine verso la vita delle due donne a messaggi sulla rilevanza del contesto storico in cui si sviluppano le scoperte scientifiche, evidenziando l'influenza che questo può avere sulle biografie di chi fa ricerca e come anche gli scienziati e le scienziate possano influire su scelte politiche su temi ambientali.

3. *Contenuti scientifici*

3.1. In compagnia di due scienziate

Per comprendere il valore aggiunto dalla testimonianza delle scienziate citate, si riportano alcune brevi note biografiche.

Eunice Newton Foote. Eunice Newton Foote (1819-1888, Stati Uniti) è la prima scienziata ad ipotizzare la capacità della CO₂ di influenzare la temperatura dell'atmosfera, fenomeno che è alla base dell'effetto serra e dei cambiamenti climatici.

Senza una formazione specifica, scienziata non professionista e non accademica, essendo tutti percorsi formativi preclusi alle donne, Eunice utilizza per i suoi esperimenti cilindri di vetro, termometri, una pompa pneumatica e la luce del sole. Con una semplice attrezzatura e tanta creatività scopre che l'azione del sole si rivela maggiormente attraverso l'aria umida rispetto a quella secca e che una maggiore concentrazione di CO₂ nell'aria provoca un aumento di temperatura. “Un'atmosfera di questo gas darebbe alla nostra terra una temperatura elevata” conclude così il suo lavoro dal titolo *Circostanze che influenzano il calore dei raggi del sole* (Foote, 2022) presentato alla conferenza dell'American Association for the Advancement of Science del 1856 dal collega fisico Joseph Henry. “La scienza non è di nessun paese e di nessun sesso”. Questa è invece la premessa al lavoro di Eunice da parte del fisico, una premessa che sembra necessaria per poter dare credito al lavoro di una donna che, se non fosse stato raccontato da un uomo, non ne avrebbe avuto molto. Eppure, nonostante venga riconosciuta la rilevanza del suo lavoro per la scienza del clima, il contributo di Eunice rimane per lo più ignorato. La scoperta dell'effetto serra viene attribuita nel 1861 al fisico John Tyndal, che arriva alla scoperta con attrezzature molto più sofisticate. Ben inserito nell'ambiente scientifico accademico dell'epoca, Tyndal ha maggiori possibilità di condividere i risultati, interpretarli e diffonderli nell'ambiente scientifico. E sebbene sembra non sia mai stato interessato alle implicazioni climatiche delle sue scoperte, è considerato il padre della scienza

climatica. Bisogna aspettare il 2011 e il geologo Raymond Sorenson per vedere riscoperto e riconosciuto il lavoro di Eunice e il suo contributo della climatologia. Oltre a occuparsi di scienza, Eunice è una grande attivista per i diritti delle donne. È tra le organizzatrici del Congresso di Seneca Falls nel 1848 e tra le prime firmatarie della “Dichiarazione dei sentimenti” il documento che, riassumendo i risultati dell’incontro, è ritenuto l’atto fondamentale del movimento di rivendicazione dei diritti delle donne in condizioni di uguaglianza.

Susan Solomon. Considerata una delle scienziate dell’atmosfera più autorevoli, Susan Solomon nasce a Chicago nel 1956, si specializza in chimica dell’atmosfera e svolge le sue attività di ricerca prima presso il National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) e successivamente al Massachusetts Institute of Technology (MIT). Dal 2002 al 2008 è copresidente del Working Group I dell’International Panel on Climate Change (IPCC)². Rilevanti sono i suoi studi sul buco dell’ozono e sui suoi effetti sul clima.

A metà degli anni ’70 cominciano a diffondersi i primi studi sull’assottigliamento dello strato dell’ozono stratosferico e sul possibile ruolo svolto da alcune sostanze di sintesi chiamate CFC (clorofluorocarburi). A capire perché il buco di ozono si formasse proprio sopra l’Antartide e perché procedesse così rapidamente è proprio lei. Leader del gruppo di ricerca e prima donna a farlo, guida, nel 1986 e nel 1987, due spedizioni in Antartide grazie alle quali raccoglie dati sufficienti a spiegare il meccanismo: il buco dell’ozono antartico si crea da una reazione eterogenea di radicali liberi di ozono e CFC sulla superficie delle particelle di ghiaccio nelle nubi d’alta quota che si formano sopra l’Antartide. Il risultato fornisce la prova definitiva del ruolo di tali sostanze nella dinamica della riduzione dell’ozono.

In risposta a queste ricerche alla fine degli anni ’80 è adottata la Convenzione di Vienna e sviluppato il protocollo di Montreal, un trattato internazionale delle Nazioni Unite con cui gli Stati si impegnano a prendere i provvedimenti necessari per ridurre la produzione e l’utilizzo di CFC e arrestare l’estensione del buco nell’ozono. Entrato in vigore nel gennaio 1989, ad oggi è l’unico accordo ambientale delle Nazioni Unite ad essere stato ratificato da 198 Paesi del mondo e che ha permesso di ottenere progressi dimostrabili, con l’eliminazione di circa il 98% delle sostanze dannose per l’ozono (Solomon *et al.*, 2020). Secondo la

² <https://www.ipcc.ch/>

scienziata, è il primo trattato ad aver avuto un tale successo sia per la sua flessibilità sia per la disponibilità delle Parti ad adattarsi ai cambiamenti del clima politico e alle nuove conoscenze fornite dai gruppi tecnici del Protocollo. È il primo trattato, in sostanza, a raccontare una storia di impegno collettivo da parte del pubblico, di azione da parte dei politici e di impegno da parte delle imprese. Attualmente Solomon e il suo team si occupano della comprensione dell'accoppiamento chimica/clima, del riscaldamento globale legato alle emissioni antropogeniche di CO₂ e dell'influenza del buco dell'ozono sul clima dell'emisfero meridionale. Esponente di diverse società scientifiche internazionali, ha ricevuto molti premi, tra cui l'ultimo il Future of Life Award nel 2021.

3.2. Esperimenti/giochi

Gli esperimenti/giochi, condotti con l'aiuto delle animatrici/, illustrano gli effetti della crisi climatica, la chimica della produzione di energia e le possibili soluzioni tecnologiche per produrre energia pulita.

a) La biosfera e l'effetto serra

Il primo esperimento sottolinea l'importanza della temperatura per la nostra vita e spiega i rischi che si corrono con un aumento eccessivo dell'effetto serra.

Il percorso parte dalla biosfera (figg. 2 e 3), un sistema chiuso e autosufficiente in cui la vita esiste senza input esterni se non la luce del sole e, di conseguenza, una adeguata temperatura. Questo esempio permette di riflettere sul nostro pianeta e sull'azione umana, introducendo anche al concetto di temperatura adatta alla sopravvivenza.

L'*exhibit* prosegue confrontando due mondi identici, nei quali però l'atmosfera ha una diversa concentrazione di CO₂, che comporta una differenza di temperatura (fig. 4). Il gas viene immesso attraverso un foro alla base di uno dei due mondi. Un cartoncino nero alla base dei mondi simula l'assorbimento terrestre dei raggi solari, una lampadina, e dell'acqua posta sopra i mondi simula l'effetto delle nuvole. La temperatura può essere misurata alla base di ciascuno dei due pianeti.

Fig. 2

La biosfera, un sistema chiuso e autosufficiente



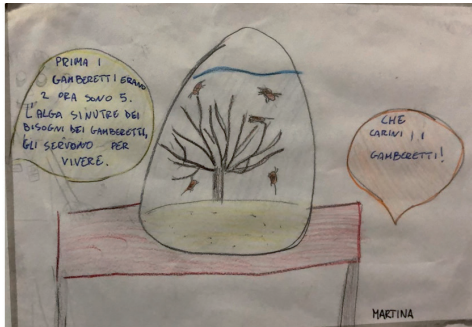


Fig. 3
La biosfera,
disegnata dei
bambini e delle
bambine della classe
IV B, della Scuola
Primaria Fermi,
dell'IC Quinto/
Nervi di Genova

b) Casa sostenibile ed energia solare

La casa sostenibile (figg. 5 e 6) è un esempio di abitazione in cui le uniche fonti di energia sono rinnovabili: i bambini e le bambine si divertono ad accendere un orologio con la frutta e la verdura (si costruisce una pila); le lampadine con una pala eolica (messa in moto dal vento prodotto da qualche volontario/a); si mette in moto il cestello della lavatrice con l'energia solare attraverso due pannelli solari sul tetto. In giardino, infine, si trova un elettrolizzatore anch'esso alimentato da un pannello solare, che fornisce l'idrogeno per alimentare una macchina elettrica radiocomandata.

I bambini e le bambine inoltre possono giocare con la “potenza” del sole, misurare quanto scalda l'effetto del solare concentrato e divertirsi a giocare con gli specchi ustori. In questo caso all'energia solare si aggiunge anche la sperimentazione di tutti gli effetti degli specchi parabolici.



Fig. 4
Effetto serra: a sinistra dei dettagli dell'esperimento
e a destra un momento del racconto al FdS22

c) Biorisanamento

Questa parte del laboratorio riguarda il biorisanamento con microalghe. L'habitat più favorevole di questi organismi fotosintetici unicellulari è rappresentato da specchi d'acqua dove costituiscono il fitoplancton, ricoprendo il ruolo di anello primario della catena alimentare.

La capacità delle microalghe di crescere per via fotosintetica è utilizzata come sistema "bio" di cattura di CO_2 proveniente da diverse fonti, fumi industriali, biogas, ecc.

L'esperimento (figg. 7 e 8) permette di visualizzare cosa succede se la CO_2 viene sciolta nell'acqua contenente o meno le alghe. In generale se il gas viene disciolto in acqua ne cambia il pH verso valori più acidi (acidificazione dei mari), cosa che accade nel giro di qualche secondo nel liquido senza alghe. Per visualizzare questa variazione è sufficiente sciogliere un indicatore nell'acqua che ne



Fig. 5

Casa sostenibile e specchi ustori: vari dettagli dell'esperimento durante il FdS22



Fig. 6

Disegni dei bambini e delle bambine della classe IV B, della Scuola Primaria Fermi, dell'IC Quinto/Nervi di Genova che rappresentano nell'ordine da sinistra: gli specchi ustori e la casa sostenibile

cambia il colore al variare di pH. In presenza delle alghe, l'acqua cambia colore molto più lentamente perché il gas viene via via consumato per fotosintesi.

L'esperimento è anche collegato ad un sistema di misura della concentrazione di CO_2 che sottolinea la differenza nei due casi attraverso dei led colorati comandati da una scheda arduino.

Infine, i bambini e le bambine possono osservare le alghe, invisibili ad occhio nudo, attraverso un microscopio e vedere un sistema di crescita per microalghe che riproduce in scala ridotta (il reattore) utilizzato a livello industriale.



Fig. 7

Biorisanamento: diversi dettagli dello spazio dedicato al biorisanamento; dal fotobioreattore di crescita delle alghe alla loro osservazione al microscopio



Fig. 8

Disegni dei bambini e delle bambine della classe IV B, della Scuola Primaria Fermi, dell'IC Quinto/Nervi di Genova, che rappresentano nell'ordine da sinistra: l'impianto di crescita delle alghe e il microscopio ottico

d) La chimica dell'energia e del riuso del diossido di carbonio: il gioco

La chimica sembra una cosa astratta e complicata da capire. In questa sezione sono presentati due giochi (fig. 9) per avvicinare il pubblico alla chimica in maniera semplice e divertente: attraverso un puzzle i bambini e le bambi-



Fig. 9

La chimica giocata: a sinistra il puzzle per riprodurre le reazioni chimiche coinvolte nella produzione di energia e a destra i cartellini per identificare i bambini e le bambine come specie chimiche nel gioco della co-elettrolisi

ne possono divertirsi a formare nuove molecole e a visualizzare le reazioni di combustione.

Inoltre, attraverso un gioco di ruolo, si calano essi stessi nei panni delle molecole e sperimentano come si può riutilizzare la CO_2 , catturata dall'atmosfera, per produrre un e-combustibile, cioè un combustibile che non inquina. In particolare, divisi in due squadre, i bambini e le bambine sono identificati attraverso delle pettorine e seguendo percorsi ginnici riproducono la reazione chimica che trasforma le molecole di acqua e di diossido di carbonio in metano e ossigeno (fig. 10). Vince la squadra che, a parità di tempo, effettua più percorsi, cioè reazioni.

Il gioco è un metodo immediato per sperimentare anche il concetto di economia circolare: nessuna nuova molecola di CO_2 è estratta dal suolo o liberata in atmosfera.

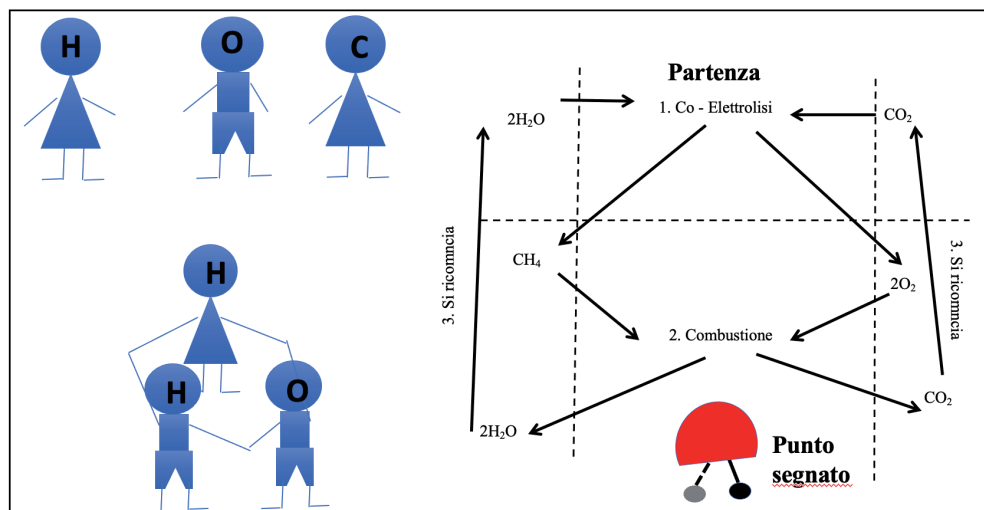


Fig. 10

Schema che riproduce le reazioni chimiche e i movimenti dei bambini e delle bambine nello spazio di gioco

4. Conclusioni

Il laboratorio/teatro attraverso l'unione di *storytelling* ed esperimenti risponde, a nostro avviso, alle sfide tipiche della comunicazione sulla crisi climatica (Gouthier *et al.*, 2022):

1. ne fa emergere la complessità ma allo stesso tempo fa sentire il problema vicino e risolvibile;
2. collega dati e fatti scientifici alle persone, coinvolgendo le emozioni, facendoci sentire più rilevanti di fronte alla crisi e aiutando la costruzione della cittadinanza scientifica;
3. fornisce modelli e spunti per mettere in dubbio il nostro sistema di valori e di comportamenti;
4. non da ultimo, racconta storie di scienziate, fornendo modelli di ruolo, fondamentali per il superamento degli stereotipi di genere che allontanano apriori talenti dalla ricerca scientifica.

L'attività ha avuto un ottimo riscontro in termini di visitatori e di gradimento durante tutta la durata del festival.

Una nota particolare va dedicata alla location in cui è stata ospitata, l'auditorium dell'Istituto Comprensivo Garaventa Gallo, ex Oratorio di Nostra Signora del Suffragio del periodo settecentesco, nel pieno centro storico genovese. La scelta è stata molto suggestiva sotto diversi punti di vista: da una parte ha reso naturale l'integrazione delle conoscenze secondo un approccio multidisciplinare alla base dell'esperienza progettata, sia avvicinando il linguaggio scientifico a quello umanistico sia amplificando il messaggio di una scienza aperta alla società, al servizio della conoscenza e della popolazione, sottolineando anche la collaborazione necessaria tra mondo della scuola e ricerca; dall'altra ha permesso di rendere al meglio una rappresentazione teatrale del progresso scientifico dal passato fino ad oggi.

Riproponendo il laboratorio, in altre occasioni, non sarà sempre possibile ricreare questa ambientazione, tuttavia si reputa che l'esperienza è già di per sé molto significativa e in grado di rimanere impressa nelle menti dei bambini e delle bambine, proprio grazie all'intreccio tra *storytelling* e metodo *hands on*.

Ringraziamenti

Si ringraziano: Fondazione Compagnia di San Paolo per aver supportato il laboratorio attraverso il progetto "Coelus – Produzione di combustibile rinnovabile mediante CO-Elettrolisi e riUSo del diossido di carbonio"; l'Istituto per la BioEconomia – CNR, l'Istituto di Chimica dei Composti OrganoMetallici, – CNR, l'Unità Comunicazione – CNR e il laboratorio di Biotecnologie Ambientali del Dipartimento di Ingegneria Civile Chimica e Ambientale dell'Università degli Studi di Genova per la collaborazione nella progettazione del laboratorio; l'Associazione Donne e Scienza per aver patrocinato l'iniziativa; Editoriale Scienza srl: per aver fornito le illustrazioni di G. Sagramola, e i testi tratti da "Ragazze per l'ambiente" di V. de Marchi e R. Fulci @ 2021 Editoriale Scienza srl; M. E. D'Aquino di PACTA . dei Teatri – Milano per aver vestito Eunice Newton Foote; G. Bruzzone dell'Istituto di Ingegneria del Mare del CNR per aver vestito Susan Solomon; TAOS – The Art Of Science, Albenga (SV), www.theartofscience.eu, per aver fornito la biosfera Beachworld; la classe IV B, della Scuola Primaria Fermi, dell'IC Quinto/Nervi di Genova a.s. 2022/23, per aver realizzato i disegni; V. Osella e M. Bolcato per le riflessioni sul tema *storytelling* e crisi climatica.

Bibliografia

- Avveduto A., Pisacane L. (2015) (a cura di), *Portrait of a Lady: Women in Science: Participation Issues and Perspectives in a Globalized Research System*, Roma, Gangemi.
- Brockington G., Moreira A., Buso M., Silva S., Altszyler E., Fischer R., Moll J. (2021), *Storytelling increases oxytocin and positive emotions and decreases cortisol and pain in hospitalized children*, «PNAS», 118 (22), e2018409118, <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2018409118>.
- Compagnoni E., Ghio G., Malpeli G. (2006), *Nuovi contesti di apprendimento nella scuola dell'infanzia. La didattica laboratoriale nell'educazione del pensiero infantile*, Città di Castello PG, Edizioni Junior, Sograte.
- De Marchi V., Fulci R. (2021), *Ragazze per l'ambiente*, Trieste, Editoriale Scienza.
- Eshach H., Fried M.N. (2005), *Should science be taught in early childhood?*, «Journal of Science Education and Technology», 14(3), pp. 315-336, <https://doi.org/10.1007/s10956-005-7198-9>.
- Flick L.B. (1993/2017), *The meanings of hands-on science*, «Journal of Science Teacher Education», 4(1), <https://doi.org/10.1007/BF02628851>.
- Foote E. (2022), *Circostanze che influiscono sul calore dei raggi del sole*, trad. e cura di B. Bianchi, in «DEP. Deportate, Esuli, Profughe. Rivista telematica di studi sulla memoria femminile» (Università Ca' Foscari, Venezia), 48, 141, https://www.unive.it/pag/fileadmin/user_upload/dipartimenti/DSLCC/documenti/DEP/numeri/n48/01_file_unico.pdf.
- Gottschall J. (2014), *L'istinto di narrare. Come le storie ci hanno resi umani*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Gouthier D., Collà Ruvolo C., Fruguglietti S. (2022), *Lo storytelling nei percorsi didattici sulla crisi climatica*, «Quaderni di Comunicazione Scientifica», 2, pp. 25-38.
- Greco P. (2017), *Comunicazione e cittadinanza scientifica*, in *Le parole della scienza*, Milano, Egea.
- Kosfeld M., Heinrichs M., Zack P., Fischbacher U., Fehr E. (2005), *Oxytocin increases trust in humans*, «Nature Publishing Group», 435, pp. 673-676, <https://doi.org/10.1038/nature03701>.
- Mangia C. (2015), *On the representation of women scientists: from theory to good practices*, in Avveduto A., Pisacane L. (a cura di), *Portrait of a Lady: Women in Science: Participation Issues and Perspectives in a Globalized Research System*, Roma, Gangemi, pp. 85-88.
- Mangia C., Rubbia G., Ravaioli M., Avveduto S. (2020) (a cura di), *Ambiente e clima. Il presente per il futuro*, IRPPS Monografie, DOI: 10.14600/978-88-98822-21-8.
- Mangia C., Presto S. (2022). *Comunicare la ricerca ambientale e climatica attraverso*

- le biografie di "scienziate visionarie"*, «Quaderni di Comunicazione Scientifica», 2, pp. 25-38.
- Odou P., Schill M., Navarro M. (2021), *How can we communicate effectively about climate change?*, in Dekhili S. (a cura di), *Marketing for Sustainable Development: Rethinking Consumption Models*, 1st ed., Hoboken NJ, Wiley & Sons, pp. 137-154.
- Presto S., Bolcato M., Osella V. (2023), *Lo storytelling nella comunicazione scientifica sul cambiamento climatico*, ISBN 978 88 8080 557 1, CNR Edizioni, in press.
- Pulvermüller F. (2005), *Brain mechanisms linking language and action*, «Nature Reviews Neuroscience», 6, pp. 576-582, <https://doi.org/10.1038/nrn1706>.
- Solomon S., Alcamo J., Ravishankara A.R. (2020), *Unfinished business after five decades of ozone-layer science and policy*, «Nat Commun», 11, 4272, <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18052-0>.
- Sugiyama M. (2001), *Food, foragers, and folklore: the role of narrative in human subsistence*, «Evolution and Human Behavior», 22, pp. 221-240, [https://doi.org/10.1016/S1090-5138\(01\)00063-0](https://doi.org/10.1016/S1090-5138(01)00063-0).
- Tannenbaum C., Ellis R.P., Eyssel F., Zou J., Schiebinger, L. (2019), *Sex and gender analysis improves science and engineering*, «Nature», 575(7781), pp. 137-146.
- Zak P., Stanton A., Ahmadi S. (2007), *Oxytocin Increases Generosity in Humans*, «PLOS», ONE, 2 (11), e1128, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001128>.

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni
ed emozioni “tra scienza, arte, comunicazione”:

un viaggio per conoscere il mare

Esperienze e contaminazioni scientifiche in una Scuola primaria

*Mariangela Ravaioli^{a, b}, Adele Arianni^c, Alan Borsari^d, Lucilla Capotondi^a,
Mila D'Angelantonio^{e, b}, Michele Ferrari^d, Federico Giglio^f, Lorenzo Libe-
ratore^d, Gabriele Marozzi^a, Roberta Mecozzi^c, Maria Parisi^g, Paola Riva-
ro^h, Giuliana Rubbia^{i, b}, Elisa Sangiunetti^g, Vanessa Fabbri^g*

^a Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR), Bologna

^b Associazione Donne e Scienza, Roma

^c Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico
Sostenibile (ENEA) - Unità Tecnica Antartide, Roma

^d Associazione RadioImmaginaria Media Hub, Castel Guelfo di Bologna

^e Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (ISOFCNR), Bologna

^f Istituto di Scienze Polari (ISP-CNR), Bologna

^g Scuola primaria “Aurelio Saffi”, IC6 Silvio Zavatti, Forlì

^h Università di Genova, Dipartimento di Chimica Industriale

ⁱ Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Milano

Introduzione

Vengono presentati i risultati e le riflessioni in merito al percorso didattico – sperimentale effettuato da ricercatrici/ricercatori dell'Istituto di Scienze Marine e Istituto di Scienze Polari del Consiglio nazionale delle ricerche (di seguito ISMAR-CNR e ISP-CNR) nella Scuola primaria “Aurelio Saffi” di Forlì (di seguito Scuola Saffi), su tematiche inerenti il mare e l'oceano. Grazie alla sinergia tra ricercatrici/ori, insegnanti e bambine/i della scuola primaria è stato attivato un percorso di conoscenza del mare, di educazione STEAM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria, Arti e Matematica), di equità di genere e di creatività, con particolare riferimento ai temi del cambiamento climatico e della biodiversità. I contenuti del percorso didattico provengono dagli studi scientifici condotti nell'ambito delle infrastrutture osservative italiane ed europee (Infrastruttura ILTER, Progetto-EU-JERICO3, Progetto Antartico) collegati agli obiettivi dell'Agenda 2030 dell'ONU.

L'iniziativa rientra nelle azioni di divulgazione scientifica di ISMAR-CNR, ISP-CNR e ISOF di Bologna (Istituto per la sintesi-organica e la fotoreattività di seguito ISOF-CNR), in collaborazione con il progetto “Adotta Una Scuola dall’Antartide” (Ausda) di ENEA-UTA (Unità Tecnica Antartide) nell’ambito del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA) e con altri progetti scientifici sulla sostenibilità ambientale condotti anche in Antartide.

Nell’arco di tempo di svolgimento del progetto (2019-2023), che ha visto l’insorgenza della pandemia Covid-19 con sensibile impatto anche sul mondo della scuola, è emersa la necessità di creare nuove strategie di comunicazione didattica. Durante lo svolgimento del percorso sperimentale, iniziato in periodo pre-pandemico e proseguito nel periodo di pandemia e post-pandemia, insegnanti, alunne/i, esperti di audio-video hanno collaborato allo sviluppo di nuovi linguaggi artistici e multimediali. Si sono coinvolti per questo degli esperti in comunicazione di RadioImmaginaria Media Hub APS, radio degli adolescenti che dal 2012 è network europeo ideato, diretto e condotto da giovani di una età compresa tra gli 11 e i 17 anni. Tra i temi di RadioImmaginaria si affronta la “sostenibilità ambientale” che ha permesso di raccontare la scienza e le relative connessioni utilizzando anche modalità multimediali.

I risultati e l’esperienza di tale percorso sono stati presentati a Festival scientifici e a eventi internazionali (come Notte dei ricercatori), oltre che a educatori e associazioni (come l’Associazione Donne e Scienza – ADS).

1. Premessa

La sperimentazione di percorsi educativi nelle scuole primarie volta a favorire la conoscenza scientifica e focalizzata sugli obiettivi dello sviluppo sostenibile, approvati nel settembre 2015 dalle Nazioni Unite, tramite i 17 punti della Agenda 2030 dell’ONU, è oggetto di insegnamento nelle scuole nella ambito della materia “educazione civica” (<https://unric.org/it/agenda-2030/>). In questo percorso è fondamentale utilizzare linguaggi semplici ma autorevoli che coinvolgono insegnanti e alunni/alunne e ricercatrici/ricercatori.

Tali percorsi sperimentali sono orientati a fornire competenze per la creazione di risorse educative sugli obiettivi sopra riportati grazie ad approfondimenti specifici dell’Agenda ONU 2030 e alla sperimentazione in cui sono integrati aspetti pedagogici, approcci metodologici ed inclusivi per la conoscenza delle materie STEM (D’Angelantonio *et al.*, 2022; Ravaoli *et al.*, 2022), temi ambientali e della parità di genere.

Obiettivo principale è sostenere la conoscenza e le competenze didattiche per l'educazione alla cittadinanza globale, favorire l'avvicinamento a metodologie didattiche attive volte alla declinazione delle tematiche dell'Agenda 2030 ONU all'interno delle varie discipline.

Realizzare esperienze di contaminazioni, volte a favorire percorsi come "Adotta una scuola dall'Antartide" (Ausda-PNRA), nelle scuole primarie è di fondamentale importanza ai fini della conoscenza e dell'orientamento alle materie STEAM (Merlo *et al.*, 2019).

2. Descrizione del progetto

Il progetto dal titolo "L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni tra scienza, arte, comunicazione: un viaggio per conoscere il mare" è stato promosso da scienziati/e, Istituto di Scienze Marine (ISMAR) del CNR (resp. M. Ravaioli e L. Capotondi) e dalle insegnanti della Scuola Saffi di Forlì (AA.SS. 2019-2023) (V. Fabbri e E. Sangiunetti), partendo dalla classe 2A primaria, arrivando fino alla 5A. La progettualità iniziata nel 2019, in periodo pre-pandemico, si è svolta su "Esperienze e contaminazioni scientifiche per favorire la conoscenza dei processi biogeochimici in mare". Il percorso didattico sperimentale è poi continuato nel periodo pandemico e post-pandemico. (Ravaioli *et al.*, 2019, 2020).

I contenuti scientifici sono frutto dei risultati di progetti di ricerca nazionali e internazionali, condotti in area mediterranea e polare, con l'obiettivo di far conoscere l'ambiente marino, i processi che lo regolano, il ruolo degli oceani e le problematiche ambientali.

Il percorso progettuale, che ha visto la sinergia tra ricercatrici/ricercatori e docenti, si è articolato in diverse modalità didattiche tra cui lezioni frontali corredate da video, confronti tra alunne/i e ricercatrici/ricercatori e video-collegamenti. È stato inoltre organizzato, nell'ambito delle azioni di Ausda ENEA/PNRA, un collegamento in diretta dall'Antartide, nel gennaio del 2020, con la XXXV spedizione scientifica Oceanografica del PNRA, dalla nave da ricerca (N/R) Laura Bassi nel Mare di Ross (in Antartide). I partecipanti alla Spedizione, coordinata dalla Prof.ssa P. Rivaro (Rivaro *et al.*, 2020), hanno potuto spiegare le finalità della spedizione oceanografica interagendo con le insegnanti, gli alunni/e della classe 2A – Scuola Saffi di Forlì – e i ricercatori/ricercatrici ISMAR-CNR.

Per far conoscere e formare alunni/e della classe 2A della Saffi, sono state tenute lezioni in presenza su eutrofia e processi biogeochimici, approfondendo

i temi della fotosintesi, l'innescò della catena alimentare antartica, connessioni con biodiversità e i cambiamenti climatici. Sono state presentate le ricerche svolte nei mari polari con particolare attenzione al Mare di Ross in Antartide e accenni in Artide. Questo grazie alla progettualità iniziata nel 1991 del team di M. Ravaoli, tra le prime responsabili e protagoniste delle ricerche sui cicli biogeochimici in aree polari antartiche (Ravaoli *et al.*, 2019a, 2019b, 2020).

Durante le prime lezioni è stata data agli alunni una piccola busta dove sono stati realizzati i primi disegni di pesci nati dalla creatività di alunne/i. Successivamente nelle buste preparate e personalizzate sono stati inseriti piccoli doni della fauna e flora dell'Ambiente Antartico. A ognuno di loro è stato poi donato "Il quaderno della conoscenza e delle emozioni" e applicato nel frontespizio la fotografia del disegno realizzato da ogni alunna/o (figure 1 e 2).



Figura1
Disegni degli alunni e foto delle buste

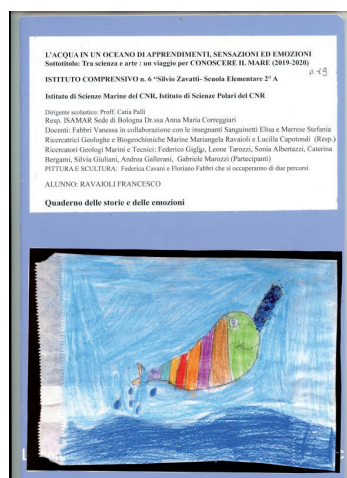


Figura 2
Frontespizio di un quaderno

A seguito dell'iscrizione della Scuola Saffi di Forlì, classe 2A, al progetto Ausda-ENEA/PNRA, l'ENEA ha inviato materiali, libri, loghi, ecc, proprio sulle attività del PNRA, al fine di favorire la conoscenza delle attività logistiche e di ricerca in Antartide.

Di notevole interesse è stato il video collegamento con la nave oceanografica

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni

N/O Laura Bassi (figura 3) in Antartide, nel Mare di Ross. Durante il collegamento bambini/e della classe 2A hanno potuto rivolgere domande alla coordinatrice P. Rivarolo e ai ricercatori e tecnici presenti sulla nave. Una magnifica esperienza in cui si è potuto vedere l'ambiente Antartico, l'attività nei laboratori e la ricerca nei mari polari. L'aula di sperimentazione didattica della scuola Saffi, all'interno della quale è stato realizzato il collegamento, è stata allestita per l'occasione come un laboratorio antartico.

Lo scheletro dell'aula didattica di tecnologia era stato allestito con il vestiario in dotazione al personale antartico (figura 4). Presenti al collegamento le due coordinatrici scientifiche delle spedizioni del PNRA, M. Ravaoli che ha coordinato la XX spedizione oceanografica nel 2004/2005 sulla N/R Italica (Ravaoli *et al.*, 2005/1; Ravaoli *et al.*, 2005/2) e P. Rivarolo che ha coordinato la XXXV spedizione oceanografica sulla nave da ricerca N/R Laura Bassi (Rivarolo *et al.*, 2020; Falco *et al.*, 2020).



Figura 3

Collegamento video tra l'aula di sperimentazione didattica della Scuola Saffi di Forlì e la nave da ricerca Laura Bassi nel Mare di Ross in Antartide



Figura 4
Scheletro dell'aula di sperimentazione
didattica vestito con abiti antartici

Di seguito i nominativi degli alunne/i della classe 2A – Scuola primaria “Aurelio Saffi” di Forlì che sono stati protagonisti di questo percorso, partecipando con entusiasmo e competenza: Carlotta Alfieri, Tommaso Aprile, Aurora Bargossi, Luca Bertaccini, Raimondo Boattini, Melissa Venea Boicu, Viola Celli, Giuseppe Di Roberto, Ascanio Dimilta, Alessio Disha, Amedeo Falco Sirotti, Luziana Gioni, Isabel Imolesi Casadei, Diana Kandiba, Martina Liotta, Gaia Marzocchi, Sofia Montanari, Federico Proli, Francesco Ravaoli, Giacomo Rossi, Lucia Sbarzaglia, Tommaso Sintoni, Ephraim Yabre Wossonawan, Cesare Zattoni, Lucia Zhang, Martina Zondini, Diouf Khalifa Ababacar (al riguardo è stata rilasciata liberatoria).

Le insegnanti che hanno guidato con attenzione e anche creatività il percorso didattico sono Vanessa Fabbri, Elisa Sangiunetti, Paola Mambelli. Ha cooperato la dirigente scolastica prof.ssa Catia Palli (Ravaoli *et al.*, 2019; Ravaoli *et al.*, 2020).

Fin da subito gli alunni hanno partecipato con grande entusiasmo. Era il periodo pre-pandemico e nulla faceva presagire quanto sarebbe accaduto a fine febbraio del 2020.

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni

3. *Percorso tra pre-pandemia, pandemia e post-pandemia*

Nella seconda metà di febbraio 2020 vengono resi noti i primi casi ufficiali italiani di Covid-19. A scuola iniziano le lezioni a distanza e lunedì 9 marzo 2020 inizia il lockdown in Italia. Vengono chiusi i confini nazionali e quelli regionali. Il contesto socio-culturale ha un impatto notevole sulle relazioni scolastiche. La progettualità esterna in presenza e in remoto naturalmente si ferma.

In questa fase inizia, durante il periodo pandemico, anche il rapporto con RadioImmaginaria attraverso i primi passi della azioni rete STEM (Scienza, Tecnologia, Ingegneria e Matematica) (D'Angelantonio *et al.*, 2021, 2022; Ravaioli *et al.*, 2021 e 2022), tramite la collaborazione dei soggetti sotto descritti, tra cui la Città Metropolitana di Bologna, Associazione Nuova Civiltà delle Macchine di Forlì, Associazione Donne e Scienza, CNR Area Territoriale di Ricerca di Bologna, in particolare gli Istituti ISMAR-CNR, ISOF-CNR e ISP-CNR. È stato infatti possibile interagire da remoto in periodo di pandemia tramite RadioImmaginaria, che ha permesso di raccontare con prodotti video l'esperienza fatta. Video poi trasmessi attraverso i loro canali radio e diffusi sui medi e canali social.

4. *Attività e approfondimento nel periodo pandemico*

Da marzo 2020 si è quindi iniziato a ideare e costruire un percorso alternativo utilizzando i materiali disponibili nel periodo pre-pandemico: testi, lezioni, testimonianze, studi, interventi nelle scuole, nei social e in eventi pubblici. In particolare, i video sono stati realizzati (figura 5) grazie alle abilità creative e tecniche di RadioImmaginaria e al supporto progettuale e ideativo delle esperte dell'ADS, degli Istituti ISMAR-CNR, ISP-CNR, ISO-CNR, di Ausda-ENEA/PNRA e di altre realtà del territorio.

Il materiale prodotto è stato indirizzato al pubblico, ma soprattutto alle nuove generazioni di adolescenti, a partire dalle scuole primarie e si è rivelato particolarmente utile nel periodo pandemico. Infatti, malgrado il confinamento, è stato possibile garantire l'interazione tra i soggetti coinvolti, la realizzazione di prodotti video formativi e informativi anche da remoto. I video realizzati sono stati quindi utilizzati anche per La Notte Europea dei Ricercatori NextSociety 2020 e 2021, il Festival della Cultura Tecnica 2021 di Bologna, il Festival del Buon Vivere di Forlì, Plurale Femminile 2020 e 2021 (Camporesi *et al.*, 2020; Ravaioli *et al.*, 2020, 2021).



Figura 5

Lab Story 2 – Per mare fino in Antartide <https://vimeo.com/486874566>

Nella Lab Story 2 “Per mare fino all’Antartide”, video realizzato da Lorenzo Liberatore, Alan Borsari e Michele Ferrari di RadioImmaginaria e Società Justeentime, i protagonisti sono due adolescenti in isolamento, un ragazzo e una ragazza che “chattano” e commentano l’esperienza elettrizzante di una classe di 3^a elementare in collegamento con l’Antartide. Sono coinvolte le insegnanti e le ricercatrici intervistate, che rispondono a domande mirate sulle loro esperienze di vita e professionali. E poi, tra un commento ed un altro sul “che sballo!” anche racconti di scienza ove, tra altro le bambine e i bambini hanno imparato il ciclo dell’acqua, la fotosintesi, le catene alimentari marine e già si immaginano da grandi, felici di fare ricerca o proseguire altri studi (figura 6).

Il video è stato pubblicato sulla piattaforma online Vimeo (<https://vimeo.com/486874566>) il 19 novembre 2020 e vede interventi di M. Ravaoli, P. Rivarolo, L. Capotondi, l’insegnante V. Fabbri e alcune/i alunne/i. È stato anche oggetto di un evento che si è tenuto il 10 dicembre 2020 quando, sempre da remoto, la classe ha partecipato al Festival della Cultura Tecnica 2020. Numerose anche le occasioni per la proiezione e l’utilizzo del video nell’ambito della Notte dei Ricercatori – Progettualità Europea 2020/2021, di eventi presso scuole su sostenibilità e Agenda 2030, di convegni e pubblicazioni (D’Angelantonio *et al.*, 2021/2022; Ravaoli *et al.*, 2021/2022).

RadioImmaginaria nel dicembre 2021 è stata insignita dal presidente della

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni



Figura 6
Immagini di Lab Story 2 “Per mare fino in Antartide”
e video della classe 2A – Scuola Saffi di Forlì

Repubblica dell’Onorificenza “Alfieri della Repubblica”, riconoscimento dovuto al lavoro svolto nel periodo della pandemia e del lockdown, promuovendo un linguaggio adatto a coinvolgere gli adolescenti e le realtà sociali. Tra i prodotti realizzati da RadioImmaginaria sono stati considerati i due video realizzati Lab Story 1 e 2 (Ravaioli *et al.*, 2020; D’Angelantonio *et al.*, 2021; ecc.).

RadioImmaginaria promuove questi prodotti video sul proprio sito web, sulla piattaforma online Vimeo e nell’ambito di vari eventi pubblici, tra cui citiamo il Festival Internazionale Giffoni 2022.

5. I prodotti di alunne/i e la loro creatività

Dopo aver partecipato al Lab story 2 “Per mare fino all’Antartide”, alunni e alunne hanno proseguito l’approfondimento dei contenuti e dell’esperienza che li ha portati lontano, fuori dai muri della loro classe, hanno viaggiato con la mente, visto ambienti sconosciuti, ascoltato temi appassionanti e sono diventati protagonisti per raccontare la scienza. Loro stessi hanno realizzato video e animazioni.

Hanno dunque vissuto in prima persona il contatto con la scienza, la sperimentazione scientifica, i grandi temi dell'ambiente, del cambiamento climatico, conosciuto avventure che quotidianamente avvengono nei nostri laboratori. Sono diventati piccoli/e scienziati/e, curiosi e creativi. Hanno realizzato disegni e origami, disegnato e costruito con cartoncino catene alimentari marine, realizzato piccoli eventi sulla fotosintesi clorofilliana.

Insieme agli alunni abbiamo realizzato piccole recite. Eravamo diventati molecole di ossigeno (O_2), di anidride carbonica (CO_2) e grazie al "sole" (l'insegnante) improvvisamente avveniva l'innescò della fotosintesi clorofilliana e l'inizio della catena alimentare marina: dall'alga, ai piccoli crostacei, ai pesci.

È fondamentale comprendere la fotosintesi clorofilliana in mare essendo le aree marine i 2/3 della superficie della terra e confrontarla con la fotosintesi clorofilliana della componente vegetale terrestre dove i nostri amici alberi sono basilari per il ciclo del carbonio.

Bambine e bambini hanno descritto questa esperienza e riempito i loro quaderni di disegni (figure 7 e 8), esperienze e pensieri. Esempi di alcune frasi:

L'Antartide è un posto speciale. Mariangela ci ha fatto capire quanto sia importante la Ricerca, cioè ci ha dato una mano per un cammino esaltante, ci ha illuminato la strada verso nuove scoperte facendoci così arrivare ad un nuovo traguardo. Abbiamo scoperto la catena alimentare antartica, che esiste il Krill, l'orca, la foca, e il Pinguino, ecc. Il ricordo più bello è stato quando abbiamo visto un video e siamo scesi con la mente fino a 200 metri di profondità delle acque antartiche. (Gaia Mazzocchi)

Il progetto Mare mi ha particolarmente affascinato. La nave utilizzata è una grande nave che sa navigare tra i ghiacci e all'interno ha spazi per ospitare gli scienziati per i loro studi. Nella sua stiva possono essere trasportati i materiali necessari alla spedizione scientifica, anche la strumentazione per effettuare le attività previste. Mi ha particolarmente colpito la raccolta dei campioni di ghiaccio e fondali marini chiamati "carote". (Raimondo Boattini)



Figura 7
Esempi di disegni creativi di fauna marina

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni



Figura 8

Insieme di origami che rappresentano una fantasia di pesci antartici



Figura 9

Origami di un esemplare di pesce antartico di fantasia

6. Il percorso continua in periodo post pandemico, un'altra occasione accolta, promossa da AUSDA- ENEA/PNRA: il grande concorso dei pinguini

Fra le classi partecipanti alle azioni Ausda-PNRA, la classe della Scuola primaria Saffi, ormai diventata 4A, è stata selezionata tra il 2021 ed il 2022, insieme ad altre 10 classi di scuole italiane, per partecipare all'Australian Penguin Festival delle Nazioni Antartiche (<http://www.mawsons-huts.org.au/festival-program>).

ENEA-UTA-PNRA ha iscritto la Scuola Saffi al Festival sopra detto e ha fornito il materiale su cui lavorare: pinguini di Adelia in formato reale in legno su cui effettuare decorazioni artistiche. Il progetto "L'acqua in un oceano di apprendimento, sensazioni e emozioni 'tra scienza e arte': un viaggio per conoscere il mare", è stato la base, ispirazione prevalente della classe 4A.

Vi è stata la collaborazione di altre 20 classi della Scuola Saffi, alle quali sono stati dati pinguini in legno da realizzare. A tal fine sono state adottate diverse tecniche d'arte tra cui citiamo, origami, argilla, pongo, mosaico, pittura, utilizzando anche vari materiali di riciclo. È stata così accolta questa bellissima inizia-

tiva e sono stati realizzati dagli alunni 50 pinguini, iniziativa guidata da V. Fabbri in collaborazione con le maestre delle classi che hanno aderito.

Oltre ai pinguini in legno, sono state realizzate foto e allegata la raccolta fotografica. È stato realizzato anche un video che illustra le fasi di realizzazione dei pinguini e la documentazione del progetto (figure 10 e 11). La realizzazione dei pinguini è stata un'avventura durata vari mesi nel corso del 2022, periodo post-pandemico. I pinguini realizzati si trovano attualmente presso il centro Ricerche ENEA Casaccia, sede di UTA (Unità Tecnica Antartide) del progetto Ausda, e sono conservati per essere utilizzati in mostre sull'Antartide, insieme ad altro materiale disponibile. Pinguini, foto, video sono stati già utilizzati e notevolmente apprezzati anche durante la Notte Europea dei Ricercatori 2022 (30 settembre 2022). Si è d'accordo che il materiale realizzato sia comunque disponibile per la realizzazione di eventi organizzati dagli Istituti ISMAR-CNR, ISP-CNR, ISOF-CNR e dalla Scuola Saffi di Forlì).



Figura 10

Al lavoro nella Saffi di Forlì per realizzare i pinguini (a sinistra).
A destra la base di legno di pinguino Adelia fornito da Ausda-PNRA



Figura 11

Esempi di pinguini realizzati, singoli e in gruppo

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni

7. Archivio fotografico e video del percorso progettuale

Nel percorso progettuale dall'inizio fino ad oggi (2019-2023) è stata posta molta attenzione a documentare i risultati per raccogliere quanto realizzato ed elaborato a cura di bambini/e, maestre, ricercatrici e ricercatori.

Nel corso delle varie fasi del progetto: lezioni, collegamenti, materiali, quaderni, approfondimenti, disegni, sono state realizzate foto e alcune riprese video.

Il fotografo Gabriele Marozzi (ISMAR-CNR) ha documentato i vari eventi. Sono state anche utilizzate le foto e il materiale che le maestre, gli alunni/e hanno realizzato e anche le elaborazioni dei video effettuate da RadioImmaginaria e dagli alunni stessi.

È stato così realizzato un archivio digitale che documenta le lezioni e le presentazioni fatte a scuola. Sono stati catalogati anche le immagini del video collegamento con l'Antartide, i disegni, gli origami, catene alimentari marine costruite con cartoncino, foto dei pinguini in legno e altri prodotti. Sono stati scannerizzati e digitalizzati i quaderni dedicati al progetto di ogni alunna/o.

Nel periodo del lockdown, durante l'anno 2020 e parte del 2021, purtroppo tutte le attività sono state sottoposte a limitazioni, necessariamente annullate le attività in presenza e imposto il distanziamento. Anche i disegni e il materiale del progetto sono stati tolti dalle classi.

L'archivio prodotto è patrimonio del progetto, della Scuola Saffi di Forlì e della collezione fotografica e video di ISMAR-CNR.

Questa esperienza ci ha fatto capire quanto sia importante documentare, archiviare e lasciare testimonianza. Le immagini sono state fotografate e memorizzate, trattate con programmi professionali di editing di immagini. Anche l'esperienza della realizzazione dei pinguini è stata documentata insieme alle procedure utilizzate e al lavoro di bambine/i.

Si intende promuovere e curare l'archivio fotografico come base per altre esperienze educative nelle scuole primarie, per dare visibilità e importanza all'entusiasmo e alla creatività sviluppati in questo percorso di contaminazione tra educazione scolastica e scienza. Archivi fotografici digitali a cui la scuola, la società, la scienza è utile che prestino attenzione e che potranno essere oggetto di studi per la testimonianza e la metodologia che lasciano a insegnanti, alunni/e, esperte/i scientifiche/i (figura 12), ma anche a famiglie e società civile. La realizzazione di siti web per rendere aperti e disponibili i percorsi e le metodiche utilizzate saranno di grande importanza.



Figura 12
Nuvole di parole del progetto in goccia realizzato da bambine, bambini e maestre della classe 2A – Scuola Saffi di Forlì (servizi di “tag cloud”)

8. *Principali soggetti coinvolti*

Ciascun soggetto ha partecipato con la sua specificità e progettualità, come di seguito riportato.

Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR) – sede di Bologna, che svolge attività di ricerca scientifica interdisciplinare nelle aree tematiche inerente gli oceani e i Mari Italiani (<http://www.ismar.cnr.it/>). Collocato presso l’Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna, l’Istituto afferisce al Dipartimento scienze del sistema terra e tecnologie per l’ambiente del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Associazione Donne e Scienza (ADS). Associazione culturale senza scopo di lucro e fondatrice della European Platform of Women Scientists, che si propone di promuovere la partecipazione e la carriera delle donne nella ricerca scientifica, equità di genere. Molteplici gli ambiti disciplinari, tra cui citiamo, le scienze umane, le scienze della terra e ambiente, le STEM e la statistica (<http://www.donnescienza.it>).

ENEA (Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l’energia e lo sviluppo economico sostenibile) – Unità Tecnica Antartide, (Ausda-ENEA/PNRA) che ha ideato e da 22 anni porta avanti il progetto Ausda (Adotta Una Scuola Dall’Antartide), impegnato nella divulgazione nelle scuole delle attività del Programma Nazionale di Ricerche in Antartide (PNRA).

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni

Associazione RadioImmaginaria Media Hub APS (<https://radioimmaginaria.it>): la radio degli adolescenti, dal 2012 network europeo fatto, diretto e condotto da giovani di età compresa tra gli 11 e i 17 anni.

Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (ISOF-CNR), che ha fra i suoi obiettivi di ricerca la scienza molecolare ed il manifatturiero sostenibile, la convergenza di scienze e tecnologie avanzate. Un istituto strategico del Dipartimento di scienze chimiche e tecnologie dei materiali del CNR.

Istituto di Scienze Polari (ISP-CNR) che opera per contribuire ad accrescere la qualità della ricerca scientifica e tecnologica dell'Italia nelle regioni polari e fornire un contributo alle conoscenze sui cambiamenti globali anche a sostegno delle politiche ambientali italiane ed europee. Sede presso Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna. L'Istituto afferisce al Dipartimento scienze del sistema terra e tecnologie per l'ambiente del CNR (Consiglio Nazionale delle Ricerche).

Scuola primaria "Aurelio Saffi", IC6 di Forlì, che vanta una grande sensibilità verso esperienze rivolte al mondo della scienza, dell'arte e coinvolge i propri alunni e genitori in un'avventura di conoscenza e crescita.

Università di Genova, Dipartimento di chimica e chimica industriale che coordina il corso di laurea in chimica e tecnologie chimiche e i corsi di laurea magistrale in scienze chimiche, chimica industriale e scienza e ingegneria dei materiali.

9. Conclusioni

Questa singolare e appassionante avventura ha accompagnato bambine e bambini di scuola primaria dalla 2a alla 5a classe nel periodo molto particolare e difficile attraversato dalla nostra società durante e dopo l'epidemia da Covid-19, in anni in cui tutto sembrava doversi fermare.

La progettualità ha previsto la condivisione tra educatori della scuola primaria, scienziati/e, tecnici, Associazioni, media, sui temi del mare e dell'ambiente, ma anche della scienza in *sensu lato*. Gli alunni/e sono entrati con entusiasmo nella realtà scientifica, hanno saputo essere presenti e comprendere le domande e i risultati e sono diventati capaci di porre quesiti e dare risposte pertinenti. Sono state basilari la cooperazione con RadioImmaginaria per una innovativa modalità di comunicazione e la partecipazione al Festival della cultura tecnica della Città metropolitana di Bologna, ed inoltre l'avvio di una rete di soggetti con distinte caratteristiche per la diffusione delle materie STEM con i quali sono

stati realizzati diversi eventi (D'Angelantonio *et al.*, 2022; Ravaoli *et al.*, 2022). RadioImmaginaria, la radio degli adolescenti, ha progettato e realizzato il racconto del progetto “Mare Oceano e Emozioni” in un video “Viaggio per mare fino in Antartide” (Ravaoli *et al.*, 2020). In precedenza RadioImmaginaria aveva realizzato un primo video Lab Story 1 “La Carta di Bologna” (Ravaoli *et al.*, 2020) sui temi della Agenda 2030. Anche grazie a questi prodotti RadioImmaginaria ha ricevuto dal presidente della Repubblica il premio sopra citato.

Il percorso della rete ampiamente descritta sopra (D'Angelantonio *et al.*, 2021, 2022; Ravaoli *et al.*, 2022) nata per diffondere le materie STEM nelle scuole primarie e di ogni ordine a grado è stato candidato, su suggerimento della coautrice Giuliana Rubbia, al premio “PA Sostenibile e Resiliente 2022”, promosso da ForumPA e ASVIS (Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile), ed è risultato finalista per la categoria “Fare rete per raggiungere obiettivi di sostenibilità” (D'Angelantonio *et al.*, 2022).

L'avventura con la Scuola Saffi di Forlì, iniziata nel 2019 con la classe 2A, è proseguita fino al 2023 con la medesima classe divenuta 5A, nell'ambito delle attività di Ismar CNR, Audsa-PNRA, con la creazione artistica di pinguini di Adelia, alla cui realizzazione hanno partecipato anche altre classi della Scuola Saffi. I pinguini realizzati sono oggetto di esposizioni e mostre nazionali ed internazionali. È stato anche realizzato un archivio fotografico e videografico digitale, presso l'ISMAR-CNR, Sede di Bologna, che possiamo definire “Archivio della conoscenza e della magia”. Si proseguirà con il progetto “Mare Oceano e Emozioni” anche nel 2023 per collegare i temi ai 17 obiettivi della agenda 2030 ONU e lasciare testimonianza di una progettualità davvero inclusiva.

Ci auguriamo che questo percorso costituisca un esempio e venga adottato in ambito curriculare scolastico. Abbiamo notato infatti che condividere e integrare metodologie, esperienze e competenze diverse, avvicina ragazze e ragazzi, adolescenti, bambine e bambini all'educazione tecnico/scientifica, abbate stereotipi di genere sulle abilità scientifiche e tecniche e porta a tutte/i il messaggio che “ogni cosa è possibile” se si scelgono le chiavi giuste per aprire una sola porta, quella della conoscenza.

L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni

Ringraziamenti

Si ringraziano: gli alunni/e della scuola primaria Saffi di Forlì, in particolare la classe 2-5A, già citate/i nell'articolo, i genitori della classe 5A che ci hanno dato fiducia con la liberatoria nell'uso delle immagini e del tempo dei loro figli; la dirigente scolastica Prof.ssa Catia Palli che ci ha seguito e partecipato ad alcuni eventi (la liberatoria presente dal 2019 è stata confermata poi al 2023; viene allegata la liberatoria inerente il progetto nel suo insieme e la partecipazione a questo lavoro, firmata dalla maestra Vanessa Fabbri e dalla dirigente scolastica prof.ssa Catia Palli a conferma della approvazione dei genitori); Andrea Gallerani di ISMAR-CNR e Pier Paolo Falco dell'Università Politecnica delle Marche, sede di Ancona, e i ricercatori e tecnici presenti e partecipanti alla XXXV spedizione di Antartide, il comandante e il personale navigante della N/R Laura Bassi che ci hanno permesso di conoscere la nave oceanografica; il personale di Ausda-PNRA del progetto "Adotta Una Scuola dall'Antartide"; la Città metropolitana di Bologna, in particolare Laura Venturi e Francesca Barone curatrici del Festival della Cultura Tecnica che dal 2021 hanno promosso il progetto pilota "Agenda 2030 delle bambine e dei bambini" rivolto alle scuole primarie; Roberto Camporesi, presidente della Associazione Nuova Civiltà delle Macchine di Forlì, per le azioni di promozione della rete STEM; l'Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna e gli istituti presenti nel progetto, tra cui ISMAR-CNR, ISP-CNR e ISOF-CNR, per la promozione e il supporto alle azioni di divulgazione, le relazioni con la Città metropolitana di Bologna e per i progetti connessi alle edizioni bolognesi della Notte dei Ricercatori coordinate dall'Area stessa, in particolare da Giorgio Lulli e Paola De Nuntiis; l'Associazione Donne e Scienza per il supporto costante durante il progetto, la concessione dell'uso del logo e la pubblicazione degli eventi nel proprio sito web; LepidaTv, in particolare Carmela Palazzolo (responsabile LepidaScpA), per aver dato spazio nel palinsesto delle loro trasmissioni ai video Lab Story 1 e 2; la ditta Safetech di Forlì per il supporto informatico nelle varie fasi del progetto, e in particolare il tecnico informatico Enrico Conficoni per i video-collegamenti con l'Antartide; le attività sono state supportate dai progetti Jerico3-Eu(<https://www.jerico-ri-eu>, 2020-2023), la Rete Esfri ILTER (Esfri MUR al 2027) e il macrosito 17 LTER Antartide (Esfri MUR al 2027) e il progetto Abioclear PNRA (2002 al 2015).

Riferimenti bibliografici

Camporesi R., Ravaioli M., Venturi M. (2021), *Discipline Stem - Declinazione al femminile dell'educazione scientifica e tecnica e della sua disseminazione*, Festival della Cultura Tecnica: Settimana del Buon Vivere 2021 di Forlì (incontro in presenza e diretta streaming; 13 settembre 2021, Chiesa San Giacomo, Forlì), <https://terra-delbuonvivere.it/festival>.

- D'Angelantonio M., Ravaoli M., Baroni F., Borsari A., Camporesi R., Ferrari M., Lulli G., De Nuntiis P., Palazzolo C., Venturi L., Venturi M. (2022), *Esperienza di rete creata tra Associazione Donne e Scienza, Città Metropolitana di Bologna, associazioni nel territorio, media, con la collaborazione di enti di ricerca e università*, abstract book (Convegno Annuale 2022, Associazione Donne e Scienza Donne, Ricerca, Trasformazioni, 21-22 gennaio 2022), p. 20, <https://donnaescienza2022.nano.cnr.it/book-of-abstract/>.
- D'Angelantonio M., Azzali L., Baroni F., Bianchi A.F., Borsari A., Camporesi R., Colella P., De Nuntiis P., Govoni P., Ferrari M., Levirini O., Lulli L., Mangia M., Palazzolo C., Avveduto S., Venturi L., Venturi M., Rubbia G., Ravaoli M. (2022), *Contributo al femminile all'educazione tecnica e scientifica per e materie STEM. Fare Rete tra scienziate/i, Enti, Università, associazioni, media e portatori d'interesse*, «Quaderni di comunicazione scientifica», 2, 2022, pp. 109-122, <https://www.rosenbergesellier.it/ita/riviste/quaderni-di-comunicazione-scientifica>.
- D'Angelantonio M., Avveduto S., Rubbia G., Ravaoli M., Azzali L., Baroni F., Bianchi A.F., Borsari A., Camporesi R., Colella P., De Nuntiis P., Govoni P., Ferrari M., Levirini O., Lulli L., Mangia M., Palazzolo C., Venturi L., Venturi M. (2022), *Una rete per la formazione di qualità e la parità di genere, e la formazione su temi dell'Agenda 2030, Educazione Stem, parità di genere, capitale umano*, finalista al premio "PA Sostenibile e Resiliente 2022" (FPA e ASvis – Alleanza Italiana per lo Sviluppo Sostenibile) per la categoria FARE RETE per raggiungere obiettivi di sostenibilità, www.forumpachallenge.it/news/premio-pa-sostenibile-e-resiliente.
- Falco P., De Alteris A., Zambardino G., Gallerani A., Canduci G. Giuliani G. (2020), *Prog. OSS-13 MORSea – Osservatorio Marino nel Mare di Ross (su N/R Laura Bassi e su nave sudafricana "Agulhas II") MORSea – Marine Observatory in the Ross Sea*, in *Antartide. Il Report della XXXV Spedizione*, a cura di V. Melchiori, ENEA, p. 61.
- Merlo D. (2019), *Educazione Steam: moda o qualcosa di più*, webinar Mondadori Education, <https://www.mondadorieducation.it/formazione-e-aggiornamento/appuntamenti/educazione-steam-una-nuova-moda-o-qualcosa-di-piu/> (16 aprile 2019).
- Ravaoli M., Aliani S., Giglio F., Grilli F., Lipparini E., Marozzi G. (2005a), *Progetto 2004/8.1 2005. Studio della Sedimentazione Biogenica*, PNRA, *Rapporto di Campagna Estate Australe XX spedizione 2004-2005*, pp. 209-216, <http://www.uta.enea.it/wp-content/uploads/2017/10/CA04-05.pdf>.
- Ravaoli M. (resp.), S. Aliani, F. Grilli, F. Giglio, E. Lipparini, G. Marozzi, G. Catalano e S. Cozzi, M. Azzaro, F. Azzaro, E. Malinverno (2005b), *Progetto ABIOCLEAR: Cicli Biogeochimici in Antartide: ricostruzioni climatiche e paleoclimatiche*; PNRA, *Rapporto sulla Campagna Antartica, Estate Australe XX spedizione 2004-2005*, pp. 209-224, <http://www.uta.enea.it/wp-content/uploads/2017/10/CA04-05.pdf>.
- Ravaoli M., Capotondi L. (2019a), *Esploriamo il Mare – Progetto "L'acqua in un oceano*

- di apprendimenti, sensazioni ed emozioni". Tra scienza e arte: un viaggio per conoscere il mare* (Seminario Scuola Saffi Forlì, 3^a elementare, 30 ottobre 2019), a cura di M. Ravaioli, L. Capotondi, V. Fabbri, <http://www.ismar.cnr.it/eventi-e-notizie/notizie/tra-scienza-e-arte-un-viaggio-per-conoscere-il-mare>.
- Ravaioli M., Capotondi L. (2019b), *Parliamo di Eutrofia, processi del mare e la catena alimentare marina. Progetto "L'acqua in un oceano di apprendimenti, sensazioni ed emozioni". Tra scienza e arte: un viaggio per conoscere il mare* (Seminario Scuola Saffi Forlì, 3^a elementare, 20 novembre 2019), a cura di M. Ravaioli, L. Capotondi, V. Fabbri, <http://www.ismar.cnr.it/eventi-e-notizie/notizie/tra-scienza-e-arte-un-viaggio-per-conoscere-il-mare>.
- Ravaioli M., Capotondi L., D'Angelantonio M., Vanessa F., Azzali L., Borsari A., Ferrari M., Liberatore L. (2020), *Lab Story 2 Viaggio per mare fino in Antartide* (video e intervista radio e TV RadioImmaginaria, 10 dicembre 2020), Festival della Cultura Tecnica 2020, <https://vimeo.com/486874566>, <http://www.ismar.cnr.it/eventi-e-notizie/notizie/lab-story-episodio-2-dal-mare-fino-all2019antartide>.
- Ravaioli M., D'Angelantonio M., Lazzaroni L., Azzali L., Borsari A., Ferrari M., Liberatore L. (2020), *Lab Story1 CNR e Agenda 2030 Bologna* (video e intervista radio e TV RadioImmaginaria, 3 dicembre 2020), Festival della Cultura Tecnica 2020, <https://vimeo.com/486874566>.
- Ravaioli M., D'Angelantonio M., Bianchi A.F., Camporesi R., Colella P., Govoni P., Levirini O., Lulli G., Mangia C., Palazzolo C., Venturi M. (2022), *Contributo al femminile all'educazione tecnica e scientifica per le materie STEM*, abstract book (Convegno Annuale 2022, Associazione Donne e Scienza Donne, Ricerca, Trasformazioni, 21-22 gennaio 2022), p. 17, <https://donnescienza2022.nano.cnr.it/book-of-abstract/>.
- Rivaro P. (2020), *Relazione Coordinamento Scientifico campagna oceanografica XXXV spedizione PNRA 2020. Comunicazione personale*, in *Report della XXXV Spedizione in Antartide*, a cura di V. Melchiori, ENEA, p. 36, <https://www.pubblicazioni.enea.it/le-pubblicazioni-enea/edizioni-enea/anno-2020/antartide-il-report-della-xxxv-spedizione.html>.

TEDxCNR: il primo evento TED indipendente organizzato da un Ente Pubblico di Ricerca italiano

Michele Muccini, Roberta Ribera

Introduzione

TED (www.ted.com) è un format di conferenze, chiamate TED Talks celebri in tutto il mondo e la sua missione è riassunta in «ideas worth spreading», idee che val la pena diffondere. I TED Talks abbracciano una vasta gamma di argomenti che comprendono scienza, arte, politica, temi globali, architettura, musica e altro.

I TEDx sono conferenze organizzate in maniera indipendente ma su approvazione di TED.com, nel rispetto di determinate condizioni, come ad esempio che gli eventi siano registrati e che tutto il materiale venga pubblicato secondo la licenza.

In base al protocollo d'Intesa tra il MIUR e TED (siglato nel 2016 dall'allora ministro dell'Istruzione, dell'Università e della Ricerca, Stefania Giannini, e dal coordinatore di TEDGlobal, Bruno Giussani, atto a migliorare le competenze argomentative e la capacità di parlare in pubblico, di sapersi esprimere con chiarezza ed efficacia in lingua italiana e in lingua inglese, sia nell'ambito delle attività scolastiche, sia nell'ambito di future occasioni professionali), il più grande Ente Pubblico di Ricerca italiano, il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), nel 2016 ha utilizzato per la prima volta il format TED.

TEDxCNR è stato il primo TED indipendente organizzato da un Ente Pubblico di Ricerca. Per la prima volta in Italia TED ha concesso la licenza ad una Istituzione di livello nazionale e non locale.

Fino allo svolgimento del TEDxCNR i TED si sono sempre svolti a livello locale in Italia, prendendo il nome dalla città che li ospita. Ad esempio il TEDxRoma, TEDxBologna, TEDxNapoli, TEDxVerona, ecc. che hanno avuto luogo lungo tutta la nostra penisola, da nord a sud.

Il TEDxCNR, dal titolo "Beyond the Known", si è svolto in un'unica giornata, 8 ottobre 2016, all'Auditorium Parco della Musica di Roma di fronte a circa 1200 spettatori.

Molteplici sono state le azioni di comunicazione per promuovere l'evento:

partnership mediatiche con la RAI e il «Corriere della Sera», promozione sui canali social Facebook, Twitter, YouTube attraverso il contributo di personaggi dello spettacolo e molto altro.

Tra gli speaker più celebri, TED ha ospitato l'ex presidente degli USA Bill Clinton, il fondatore di Microsoft Bill Gates e nel 2017 papa Francesco. I TED Talks sono messi a disposizione gratuitamente sul web e le visualizzazioni sul canale YouTube sono sette miliardi.

Sito web di riferimento: <https://www.cnr.it/it/tedxcnr>



Figura 1
Logo TEDx

Il rational creativo per la scelta dell'immagine del TEDxCNR

La proposta grafica scelta per promuovere il TEDxCNR è rappresentata con il viso di una donna e mostra un gioco di luci e ombre su temi relativi a scoperte nel corso dell'ultimo decennio come quelle legate all'intelligenza artificiale, ad una nuova coscienza climatica, a trattamenti preventivi per la cura di malattie degenerative. Il senso di sconosciuto del tema proposto "Beyond the Known" è reso attraverso l'uso di uno sfondo di colore scuro ed è direttamente collegato al senso di ignoto che il ricercatore prova quando inizia un percorso/studio alla base di una nuova scoperta scientifica. Le immagini legate alla scienza e alle diverse tematiche affrontate durante l'evento, sono riprodotte nei rettangoli e compongono la figura umana.

Questa scelta, oltre a connotare il carattere di multidisciplinarietà tipico del CNR, tende a mostrare il legame forte che unisce umanità e scienza, tradotto poi

nel concetto di utilità generata dalle innovazioni che sono integrate nella vita quotidiana di ognuno di noi.

La luce è l'elemento positivo con cui si cerca di rendere il senso dell'ignoto. La ricerca è un cammino che viene illuminato dall'uomo, dalla sua mente, dalle sue scoperte.

La scelta della figura di donna ha un duplice significato: da un lato rafforza ancora di più il senso di umanità, avendo la donna facoltà di procreare, e dall'altro cerca di sfatare il mito che la scienza sia prerogativa principalmente maschile.



Figura 2
L'immagine del TEDxCNR "Beyond the Known"

Descrizione dell'evento

Il TEDxCNR, dal titolo "Beyond the Known", si è svolto in un'unica giornata l'8 ottobre 2016 all'Auditorium Parco della Musica di Roma. La sua organizzazione è durata all'incirca nove mesi con successivo lavoro di post-produzione video dei singoli talk e di materiale fotografico per la pubblicazione sul canale YouTube TED ufficiale e sui social TEDxCNR.

Il TEDxCNR è stato il primo evento mondiale organizzato da un Ente Pubblico di Ricerca pubblicato sulla piattaforma. La forma della pubblicazione e fruizione on line sul canale YouTube rappresenta il vero punto di forza dell'i-

niziativa che continua a vivere e a crescere, in termini di visualizzazioni, anche dopo il suo effettivo svolgimento nella giornata dedicata. Infatti, i numeri del canale YouTube di TEDx sono ancora in continua crescita; i nuovi utenti di TED aumentano in maniera esponenziale e crescono quindi anche le visualizzazioni dei contenuti della piattaforma, disponibili on line.

Il TEDxCNR è stato curato e organizzato, su incarico del presidente del CNR, da Michele Muccini, licenziatario TEDxCNR (persona incaricata dall'organizzazione di TED di confezionare l'intero evento secondo le linee guida ufficiali) e direttore dell'Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN-CNR), con l'obiettivo primario di condividere nuove visioni e nuovi modelli nei diversi ambiti delle attività di frontiera dell'ente.

I relatori si sono esibiti in un TED Talk sul palco di fronte a circa 1200 spettatori, raccontando idee di valore in un tempo massimo di diciotto minuti.

L'evento è stato presentato da Natascha Lusenti (giornalista e conduttrice RAI) e dai ricercatori CNR Valerio Rossi Albertini e Mario Tozzi.

18 sono stati i personaggi protagonisti della giornata che si sono alternati sul palco del TEDxCNR, non solo afferenti al CNR, ma anche ad altri ambiti. Di seguito l'elenco dei relatori e interventi:

- Piero Angela (giornalista e divulgatore scientifico RAI), *Perché l'innovazione è più importante della politica*
- Giampaolo Zambonini (Polizia Scientifica di Stato), *Come la Polizia Scientifica è diventata davvero "scientifica"*
- Corrado Giustozzi (Cybersecurity Unione Europea e pubblica amministrazione), *Cybersecurity: il lato oscuro dell'internet delle cose*
- John M. Sankovic (NASA), *Mars Technologies*
- Frederic Farina (CALTECH), *Can we make the world a better place by basic research?*
- Ennio Tasciotti (Houston Methodist University), *Per vincere il cancro bisogna pensare come una cellula*
- Franca Tecchio (CNR), *Per curare il cervello parliamogli in frattale*
- Gianmarco Veruggio (CNR), *Internet of Robots: alieni tra di noi*
- Fausto Guzzetti (CNR), *Perché le frane sono così poco "sexy"?*
- Michela Matteoli (CNR), *La prevenzione delle malattie del cervello inizia sempre troppo tardi*
- Costanza Milani (CNR), *Scienza per l'arte on the road*

- Giampietro Casasanta e Lorenzo Moggio (CNR), *Cosa abbiamo imparato vivendo un anno alla fine del mondo*
- Mario Nicodemi (Università Federico II), *Perché il DNA non assomiglia a un piatto di spaghetti*
- Patrizia Tiberi Vipraio (Università di Udine), *I conflitti della globalizzazione*
- Giusi Nicolini (sindaco di Lampedusa), *Trecentomila nuovi lampedusani*
- Enrico Prati (Waseda University di Tokyo), *Che cosa chiederemo all'oracolo quantistico*
- Roberto Defez (CNR), *Gli scienziati italiani non vengono ascoltati perché non hanno una voce*



Figura 3
Piero Angela sul palco del TEDxCNR

La risonanza mediatica di TEDxCNR

L'evento ha catturato l'attenzione di giornalisti della carta stampata, della radio e della tv che hanno dato spazio all'iniziativa con numerosi servizi, collegamenti in diretta dall'Auditorium, interviste agli speaker della giornata, dando

vita a una rassegna stampa e video ampiamente corposa. I due media partner di rilievo dell'evento sono stati: la RAI (Radio 2 e RAInews 24 presenti all'evento con corner dedicati) e il «Corriere della Sera» che ha trasmesso in streaming sul suo portale tutti i talk del TEDxCNR.

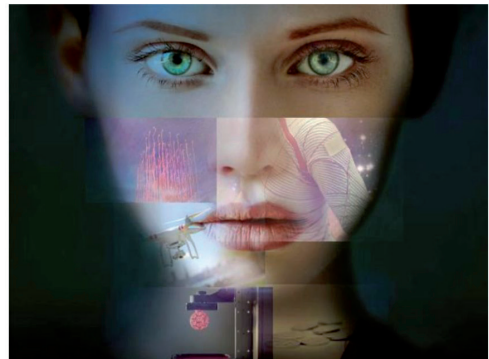
All'organizzazione dell'evento ha contribuito uno staff di 80 persone, di cui circa la metà personale interno al CNR, e il restante composto da professionisti esterni e studenti dell'Università Luiss Guido Carli. Nella fase di progettazione dell'evento, si è lavorato allo studio dell'immagine e della comunicazione con sviluppo di un sito internet e canali social dedicati, realizzazione di un "merchandising ufficiale", media partner, progettazione spazi sponsor, ricerca sponsor, individuazione e affitto location, sviluppo di una app dedicata all'evento, progettazione tecnica (audio, collegamenti, ecc.), gestione rapporti con gli sponsor, cura rapporti con la stampa di settore e generalista, individuazione *mental coach* per gli speaker, contributo autorale allo sviluppo dei talk (costruzione di un racconto, scandito da tempi ben precisi e che potesse catturare l'attenzione dello spettatore), gestione organizzativa della giornata, studio e vendita biglietti, sopralluoghi location, sviluppo di video racconti durante i mesi di preparazione, *call to action* all'interno del CNR per selezionare storie e ricerche di impatto, fino ad arrivare allo svolgimento della giornata evento.

L'intera comunicazione dell'evento è stata curata da Roberta Ribera (Ufficio comunicazione dell'ISMN-CNR).

L'ufficio stampa CNR ha contribuito alla promozione dell'evento sia nella fase di lancio sia in quella di divulgazione dei contenuti dei talk, con diffusione di comunicati stampa, mentre la Webtv del CNR ha realizzato riprese, servizi video e interviste a relatori e partecipanti alla manifestazione, tutti visibili al link di seguito: <https://www.cnrweb.tv/tedxcnr2016/>

di
di
di

CORRIERE DELLA SERA CRONACHE



ROMA

Milano, 7 ottobre 2016 - 15:34

TedxCnr: 18 minuti per la scienza La ricerca incontra il pubblico

Ricercatori e divulgatori provenienti dal mondo scientifico e non sfidano se stessi per trasmettere, in un linguaggio semplice ma rigoroso, le idee che rispondono alla missione «ideas worth spreading» (idee che vale la pena diffondere)

La comunicazione social di TEDxCNR

L'evento ha avuto una risonanza sui social network, anche grazie all'intervento dei testimonial dell'iniziativa: Piero Angela, Fiorello, Luca Argentero e Luca Vecchi dei The Pills.

Per l'occasione i genitori di Giulio Regeni – dottorando italiano dell'Università di Cambridge rapito a Il Cairo il 25 gennaio 2016, giorno del quinto anniversario delle proteste di piazza Tahrir, e ritrovato senza vita il 3 febbraio successivo nelle vicinanze di una prigione dei servizi segreti egiziani – hanno partecipato con un video che è stato proiettato in esclusiva durante la giornata.

Il CNR ha sperimentato una modalità comunicativa innovativa, realizzando video pillole di massimo 2 minuti con la presenza di testimonial per lanciare l'evento.

L'evento è stato diffuso anche in diretta streaming sui canali social dedicati: pagina Facebook, YouTube, Twitter.

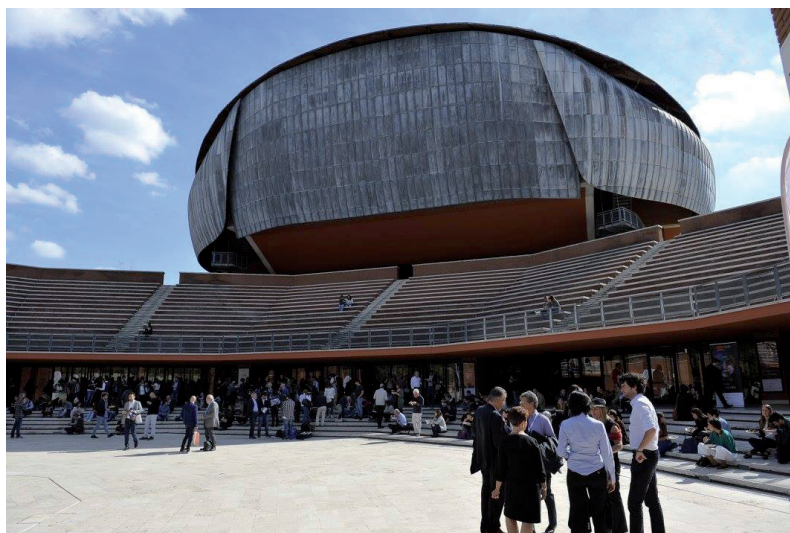


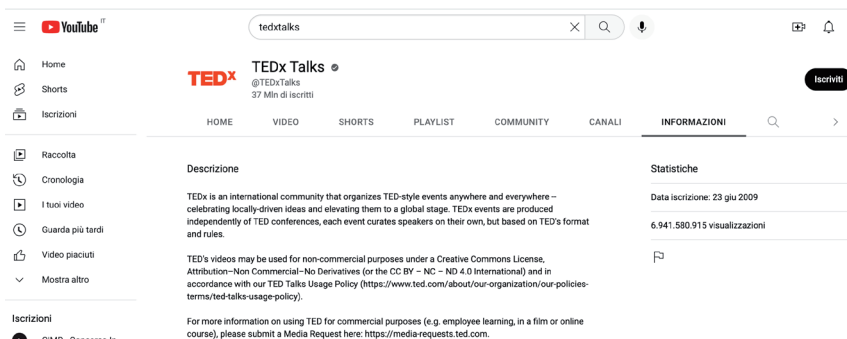
Figura 4
Location TEDxCNR Auditorium Parco della Musica di Roma

I numeri del TEDxCNR

Tutti i video del TEDxCNR sono stati pubblicati sul canale YouTube di TEDxTalks e i video promozionali dell'evento sul canale YouTube dedicato TEDxCNR.

I video relativi ai talk del TEDxCNR sul canale YouTube di TEDxTalks hanno collezionato ad oggi oltre 3 milioni di visualizzazioni. Circa 80 mila le visualizzazioni su 15 video di materiale promozionale pubblicato prima dell'evento stesso. Su Twitter, l'hashtag TEDxCNR è stato primo in tendenza in Italia e *in topic* per tutta la giornata dell'evento, mentre su Facebook i video diffusi in poche ore hanno raggiunto numeri davvero significativi. La pagina Facebook dedicata all'evento ha raccolto quasi 5.000 like in soli nove mesi e ancora oggi li detiene, nonostante il lungo periodo di inattività di TEDxCNR, in attesa dell'annuncio di un eventuale nuovo evento TEDxCNR. E in ultimo, l'attenzione mediatica riservata all'evento con circa 50 uscite tra dirette tv, servizi radio, agenzie di stampa, quotidiani on line, cartacei e streaming sui portali dei quotidiani. Senza contare gli articoli e le interviste successive, rilasciate dai singoli speaker del TEDxCNR. I partner dell'evento, grazie a una serie di iniziative parallele che si sono svolte sempre all'interno dell'Auditorium nella stessa giornata, in uno spazio dedicato, hanno potuto sviluppare un network e sostenere un progetto innovativo con risonanza internazionale, di divulgazione scientifica. La disponibilità di testimonial quali Piero Angela (anche speaker), Fiorello, Luca Argentero e Luca Vecchi dei The Pills ha fatto da volano per il coinvolgimento del pubblico, in particolare giovane, aumentando la *reach* dell'evento.

L'evento ha avuto circa 1200 spettatori dal vivo.



The screenshot displays the YouTube channel page for TEDx Talks. The header includes the YouTube logo, a search bar with 'tedxtalks' entered, and navigation icons. The channel name 'TEDx Talks' is prominently displayed, along with a '37 Min di iscritti' badge and a 'Iscriviti' button. Below the header, there are tabs for 'HOME', 'VIDEO', 'SHORTS', 'PLAYLIST', 'COMMUNITY', 'CANALI', and 'INFORMAZIONI'. The 'INFORMAZIONI' tab is selected, showing the channel's description and statistics. The description explains that TEDx is an international community organizing TED-style events and mentions the Creative Commons License for non-commercial use. The statistics section shows a date of 23 July 2009 and 6,941,580,915 views.

Figura 5
Youtube TEDxTalks

Testimonial evento

Personaggi influenti dello spettacolo e del web hanno partecipato a titolo gratuito alla promozione dell'evento. Fiorello, Luca Argentero, Piero Angela, Luca Vecchi dei The Pills hanno realizzato dei video *ad hoc* da far circolare sul web e in particolare sui social, per invitare il pubblico a partecipare all'evento TEDxCNR, contribuendo così ad far conoscere le attività del CNR.

È stato anche fatto un tentativo di unire la divulgazione scientifica a momenti di intrattenimento di natura comica sia attraverso video pillole diffuse sui social, sia il giorno dell'evento con Luca Vecchi dei The Pills sul palco del TEDxCNR che ha intrattenuto il pubblico, accompagnandolo nelle diverse fasi della giornata con un format più vicino all'infotainment, un linguaggio tipicamente televisivo con pause, momenti comici alternati ad altri di grande coinvolgimento, interesse e concentrazione.

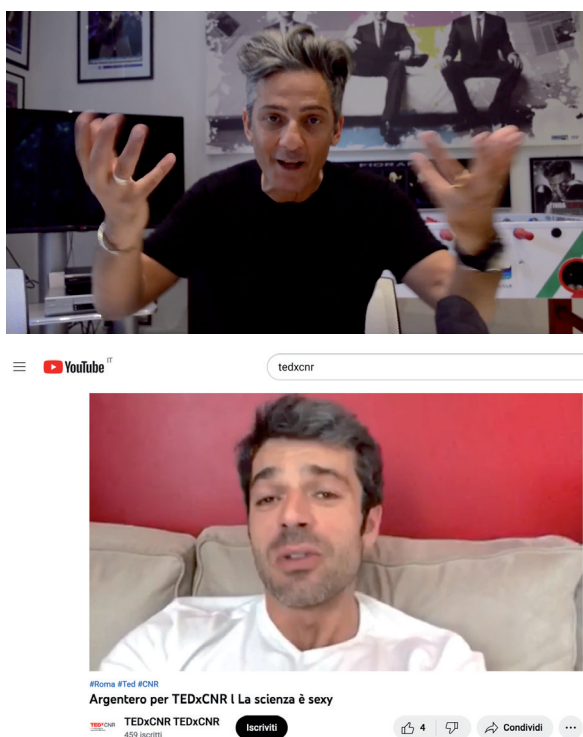


Figure 6 e 7
Screenshoot video Luca Argentero e Fiorello

Vendita biglietti

Il numero dei biglietti venduti rappresenta un'ulteriore testimonianza del successo di TEDxCNR. Già diversi giorni prima dell'evento, è stato raggiunto il tutto esaurito per la sala Sinopoli dell'Auditorium Parco della Musica di Roma, che conta ben 1200 posti.



Figure 8
Foyer Auditorium Parco della Musica di Roma

Rete di networking. Network e partner dell'evento

L'evento TEDxCNR, primo e unico evento di questo genere, non ha potuto contare su uno storico a cui far riferimento per la presentazione a potenziali partner e sponsor ma, nonostante ciò, fin dal suo stato embrionale ha ottenuto la fiducia di diverse organizzazioni, enti ed istituzioni che hanno voluto partecipare a vario titolo alla manifestazione divulgativa, contribuendo economicamente o supportando le attività di comunicazione e di visibilità dell'evento. Inoltre, grazie a uno spazio dedicato, gli attori hanno potuto interagire al fine di stringere possibili accordi di collaborazione. Questo a testimonianza di come l'evento

abbia rappresentato anche un'ottima occasione per costruire un network in divenire.

Conclusioni

Per le modalità di svolgimento, il format TED si avvicina molto al genere televisivo più che alla classica conferenza (il CNR svolge attività di divulgazione scientifica da molti anni rivolgendosi anche al grande pubblico). Nei congressi come nelle pubblicazioni, i ricercatori sono abituati a confrontarsi con addetti ai lavori e il linguaggio usato è spesso pieno di tecnicismi. La scienza, però, deve tener conto del fatto che esiste anche un pubblico di non addetti ai lavori che vuole conoscere il mondo della ricerca, le attività e i risultati raggiunti, nonché le ricadute dei risultati della ricerca nella vita quotidiana. La divulgazione scientifica deve saper, dunque, soddisfare sempre più i bisogni informativi dei cittadini anche attraverso eventi e iniziative dal carattere innovativo come il progetto del TEDxCNR.



Figura 9
Sala Sinopoli al TEDxCNR

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

Un racconto sull'esperienza condotta al Festival della Scienza di Genova, Edizione 2022

Valentina Gargiulo, Michela Alfè

Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili CNR-STEMS, Napoli, Italia

La questione energetica è centrale per il presente ed il futuro dell'essere umano e delle sue attività, e per affrontarla in modo efficace è necessario sviluppare un modo di pensare *out-of-the-box*. Per trovare nuove soluzioni e nuove strategie, è fondamentale una base culturale ampia che abbracci vari settori (tecnico-scientifico, civile, ambientale) e discipline (chimica, fisica, scienza dei materiali, ingegneria). Data la complessità e la trasversalità delle tematiche incorporate nell'ampio contenitore della questione energetica, una possibile opzione per rendere le persone consapevoli delle proprie conoscenze a riguardo è l'uso di un approccio di tipo ludico. L'attività "Si fa presto a dire 'Energia'!", gioco a quiz presentato dall'Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili (STEMS) del CNR al Festival della Scienza di Genova, Edizione 2022 (Linguaggi), è stata quindi sviluppata con l'intento di incuriosire ed avvicinare i partecipanti alle problematiche legate alla questione energetica attraverso il gioco, senza trascurare però la possibilità di fornire accenni sugli aspetti pratici riguardanti i processi di produzione, distribuzione, gestione ed utilizzazione dell'energia nelle sue diverse forme (fonti tradizionali, alternative e rinnovabili). Il gioco, che è stato principalmente proposto a studenti di scuole secondarie, ha visto contrapposte due squadre che, seguendo un percorso stabilito, sono state chiamate a sfidarsi, tra bonus e imprevisti, su domande a risposta multipla appartenenti a tre categorie (definizioni, fonti energetiche, attualità) e prove pratiche. Oltre agli aspetti ludici, l'attività ha cercato di far consolidare le conoscenze e la consapevolezza riguardo l'impatto ambientale dei sistemi energetici, l'uso razionale dell'energia e le tecnologie sostenibili e far sviluppare, attraverso l'uso corretto del linguaggio, una visione ampia e soprattutto critica su queste tematiche.

1. *Accenni alla questione energetica*

Protezione del clima, sicurezza ed affidabilità delle forniture di energia, competitività del mercato energetico sono i tre aspetti fondamentali di un'unica grande sfida a livello nazionale ed internazionale che va sotto il nome di «questione energetica». Senza un utilizzo razionale dell'energia e un'attenta tutela dell'ambiente, nessuna forma di civiltà può illudersi di avere un futuro sostenibile. Il tema della sicurezza energetica e quello del cambiamento climatico, infatti, sono due aspetti della stessa questione, che per essere affrontati in modo efficace non possono essere considerati separatamente. Serve, pertanto, delineare politiche internazionali e nazionali integrate, efficaci ed efficienti sul contenimento delle emissioni di gas serra, sullo sviluppo delle fonti rinnovabili e sull'efficienza energetica (efficienza nella conversione, nella distribuzione, negli usi finali).

Poiché le decisioni che vengono prese oggi avranno ricadute determinanti sulle future generazioni, una conoscenza più approfondita della questione energetica è essenziale per orientare in modo efficace le scelte da compiere e le azioni da intraprendere. Indirizzare l'umanità verso scelte energetiche meno dannose, e verso una maggiore efficienza negli utilizzi finali, è una sfida straordinariamente complessa, ma inderogabile. Il consumo di energia è ubiquitario, qualsiasi attività richiede l'impiego di energia. Una nuova strategia energetica di lungo termine, deve cominciare proprio dalla protezione del clima e dalla riduzione delle emissioni di gas a effetto serra. Bisogna ripensare e migliorare la generazione elettrica, favorendo lo sviluppo e la diffusione di nuove fonti e nuove tecnologie efficienti e con costi di generazione adeguati ed è necessario supportare la ricerca di tecnologie a basse emissioni inquinanti¹.

In Italia nel 2021, la produzione nazionale è stata coperta per il 59,0% dalla produzione termoelettrica non rinnovabile (in aumento del 5,5% rispetto al 2020), per il 16,4% dalla produzione idroelettrica (-4,1% rispetto al 2020) e per il restante 24,6% dalle fonti rinnovabili (eolica +11,5%, fotovoltaica +0,4%, geotermica -1,9% e bioenergie -2,9% rispetto al 2020). Nel 2021 il parco di generazione delle fonti rinnovabili è cresciuto con un incremento generale pari al 2,5% (il solo settore fotovoltaico ha registrato un incremento

¹ *Enciclopedia degli idrocarburi*, vol. III: *Nuovi sviluppi: energia, trasporti, sostenibilità*, Treccani 2005-2008.

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

di 80.245 impianti) mentre il parco di generazione termoelettrico ha registrato un lieve calo².

Il cambiamento climatico globale è una delle maggiori sfide per l'umanità ed è uno dei più importanti indicatori del fatto che stiamo vivendo al di là delle capacità ecologiche di cui disponiamo. Su scala mondiale l'impronta ecologica dell'essere umano è purtroppo troppo grande (WWF, 2022). La politica energetica delle singole nazioni non può prescindere dal contesto mondiale e dai vincoli e dagli obiettivi che vengono concordati a livello globale. Le istituzioni europee, infatti, ormai da tempo hanno posto la questione energetica fra le priorità del continente. La commissione europea negli ultimi anni ha adottato una serie di proposte in materia di clima, energia, trasporti e fiscalità per ridurre le emissioni nette di gas a effetto serra. In particolare, la realizzazione del Green Deal europeo³, attraverso investimenti orientati alla transizione ecologica mira a far sì che:

- nel 2050 non siano più generate emissioni nette di gas a effetto serra;
- la crescita economica sia dissociata dall'uso delle risorse;
- nessuna persona e nessun luogo siano trascurati.

In coerenza con il Green Deal europeo, l'Italia attraverso il Ministero dello Sviluppo Economico, ha varato un programma di interventi per l'aumento della sostenibilità ambientale, l'efficientamento energetico e l'innovazione tecnologica in una ottica di resilienza economica⁴.

L'informazione ambientale è uno degli elementi fondamentali per la realizzazione di uno sviluppo sostenibile ed eco-compatibile. Bisogna interrogarsi sui propri comportamenti e su come sia possibile ridurre l'impatto ambientale adottando nuovi stili di vita sostenibili. Fondamentali sono i continui appelli degli scienziati del clima, delle organizzazioni governative e non, e degli attivisti, al fine di tenere alta l'attenzione dei cittadini e spronare il mondo politico ad agire. Antonio Guterres, segretario generale delle Nazioni Unite, nel dicembre 2018 ha infatti ammesso: «La lotta contro i cambiamenti climatici è una questione di vita o di morte: non agire sarebbe un suicidio». Nel 2018 è anche cominciata l'azione di protesta di Greta Thunberg che tutti i giorni del mese

² www.terna.it/it/sistema-elettrico/statistiche/pubblicazioni-statistiche.

³ https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_it.

⁴ www.mise.gov.it/it/incentivi/green-new-deal.

di agosto si è seduta fuori al parlamento svedese con un cartello che recitava *Skolstrejk för klimatet* (“Sciopero scolastico per il clima”)⁵. L’impatto mediatico della battaglia per il clima avviata dall’attivista svedese è stato così forte che Greta Thunberg è diventata il punto di riferimento per la lotta contro il riscaldamento globale. Greta Thunberg è anche la fondatrice del movimento studentesco internazionale “Fridays for Future”, che organizza manifestazioni per chiedere e rivendicare azioni politiche per prevenire il riscaldamento globale e il cambiamento climatico⁶.

Greta Thunberg, in uno dei suoi discorsi, ha sottolineato come «l’azione individuale più potente che ciascuno di noi può fare è informarsi», ribadendo ancora una volta che non ci può essere sviluppo senza conoscenza, e questa deve essere disponibile per tutti indistintamente.

2. Alcune considerazioni sull’utilizzo dei quiz e della gamification

La formula del quiz consente di verificare in modo efficace conoscenze e abilità, che sono gli elementi costitutivi della competenza in un determinato ambito. Un quiz a risposta multipla risulta utile quando è necessario verificare se i membri di un gruppo abbiano compreso correttamente dei concetti e quindi prevedere, nel caso di risultato negativo, la riformulazione delle spiegazioni, utilizzando se possibile altri strumenti o altri esempi. L’uso di quiz può risultare utile anche per variare il ritmo di una lezione frontale e per tenere viva l’attenzione degli studenti durante le videolezioni.

I quiz, oltre ad essere usati come test diagnostici e sommativi, possono essere anche un utilissimo strumento formativo. L’analisi delle risposte e la spiegazione degli errori e della risposta corretta rappresentano uno strumento eccezionale a disposizione del docente. L’esito del quiz a risposta multipla può infatti essere sfruttato per creare un momento di riflessione, un’occasione di apprendimento e l’opportunità per eliminare o indirizzare conoscenze sommarie e/o errate.

L’uso di quiz a risposta multipla può essere anche declinato come strumento per un’attività di *peer-teaching* (educazione tra pari basata sull’interazione tra studenti più esperti – *tutor* – e studenti meno esperti – *tutee*: Grillini, 2018-19).

⁵ www.repubblica.it/green-and-blue/2021/08/20/news/greta_thunberg_cambiamento_climatico_fridays_for_future-314674470/

⁶ www.repubblica.it/esteri/2019/09/23/news/usa_clima_new_york_onu_vertice-236737501/; <https://fridaysforfutureitalia.it/>.

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

Dopo aver posto ai partecipanti una domanda e aver raccolto le diverse risposte, si formano gruppi eterogenei in cui siano presenti partecipanti che hanno fornito tutte risposte diverse. Nell'ambito del gruppo, ciascun membro dovrà argomentare in merito alla propria risposta e discutere criticamente le risposte fornite da altri. Il confronto tra i membri del gruppo spingerà chi ha fornito la risposta esatta a convincere gli altri membri attraverso le proprie argomentazioni della correttezza della soluzione, proprio come farebbe un docente (Knight, Brame, 2018).

I quiz consentono agli individui di utilizzare ed allenare il pensiero critico o la creatività, di sviluppare skills interpersonali, come la comunicazione e la collaborazione.

È utile somministrare quiz anche per far acquisire agli studenti maggiore consapevolezza del modo in cui si costruiscono le domande, e delle conseguenti "trappole" spesso tese dagli esaminatori. Lo studente deve imparare a rendersi conto di tutte le informazioni che spesso, inconsapevolmente, in una formulazione efficace e con una veste linguistica adatta sono nascoste nei testi, così come degli ostacoli. Questa abilità può diventare un vantaggio, in quanto non tutti gli studenti sono in grado di individuarle.

L'utilizzo di quiz è anche in linea con la pratica della *gamification* che prevede l'uso di elementi propri del *game design* in contesti non ludici come l'educazione, il marketing, la salute, la formazione aziendale e la politica⁷. Applicare elementi propri dei videogiochi nella didattica può essere infatti utile come training complementare per stimolare l'apprendimento delle materie tradizionali. L'efficacia della pratica della *gamification* sta nel fatto che l'errore non è più una definizione scoraggiante, ansiogena, ma è una spinta a riprovare. Infatti, non è importante quanto si sbaglia, ma come la fase negativa venga superata e come la competenza richiesta venga acquisita nel percorso di formazione. Attraverso la *gamification*, l'apprendimento diventa un continuo processo di conferme e aggiustamenti che si basa sul confronto tra l'output atteso (acquisizione del punto e possibilità di continuare la sfida) e quello effettivamente fornito (risposta corretta o sbagliata), cioè un qualcosa di immediatamente visibile che si può aggiustare durante il corso della partita. In aggiunta, il continuo monitoraggio del punteggio soddisfa la competitività e il bisogno di sfida tipico dell'essere umano, nonché la socialità derivante dalle attività e dai giochi cooperativi. Tutti

⁷ <https://www.agendadigitale.eu/scuola-digitale/gamification/>.

questi elementi contribuiscono a facilitare la collaborazione e il divertimento, motivando e spronando enormemente gli studenti⁸.

3. L'esperienza con il gioco a quiz "Si fa presto a dire 'Energia'!" presentato al Festival della Scienza di Genova, Edizione 2022 (Linguaggi)

3.1. Il gioco a quiz "Si fa presto a dire 'Energia'!"

3.1.1. Le domande. Il gioco a quiz era organizzato in domande a risposta multipla su tre categorie – Definizioni, Attualità, e Fonti Energetiche – e prove pratiche.

Ogni domanda a risposta multipla aveva 4 possibili risposte, di cui solo una corretta. Per ciascuna domanda era stata allestita una presentazione di quattro slide (figura 1): la prima slide conteneva la categoria di appartenenza della domanda e il simbolo ad essa associato, la domanda e le 4 risposte possibili, ciascuna di un colore diverso; la seconda slide, oltre alla categoria di appartenenza e il simbolo associato, e la domanda, conteneva solo 2 delle 4 risposte possibili, risultato dell'eliminazione di due risposte sicuramente sbagliate per effetto dell'aiuto 50:50; la terza slide conteneva la risposta esatta oltre la categoria di appartenenza e il simbolo associato, e la domanda; la quarta slide conteneva, oltre alla categoria di appartenenza e il simbolo associato, la spiegazione a supporto della risposta esatta e la fonte utilizzata per redigerla.

Ogni prova pratica prevedeva invece un'azione da realizzare (risoluzione di un rebus, individuazione dell'elemento estraneo ad un gruppo omogeneo, completamento di descrizioni di figure, esecuzione di calcoli, ordinamento temporale di eventi). Per ciascuna prova pratica è stata allestita una presentazione di due slide (domanda di partenza e soluzione, figura 2).

Per ogni categoria sono state predisposte più domande suddivise in 6 sottocategorie, così come riportato in tabella 1. Nella tabella sono riportati anche degli esempi di domande somministrate durante l'attività per ciascuna sottocategoria.

Le domande proposte, oltre a riguardare gli aspetti classici dell'argomento «Energia» (e.g. definizione fisica, nozioni di meccanica classica, fonti energetiche tradizionali), erano relative anche ad aspetti della vita di tutti i giorni (e.g. consumo delle lampadine) o ad argomenti oggetto di dibattito sia politico che culturale (e.g. uso dell'idrogeno, fusione nucleare, rigassificatori), con lo scopo di saggiare quanto gli studenti fossero attenti anche a ciò li circonda nel quotidiano.

⁸ <https://www.agendadigitale.eu/scuola-digitale/gamification/>.

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

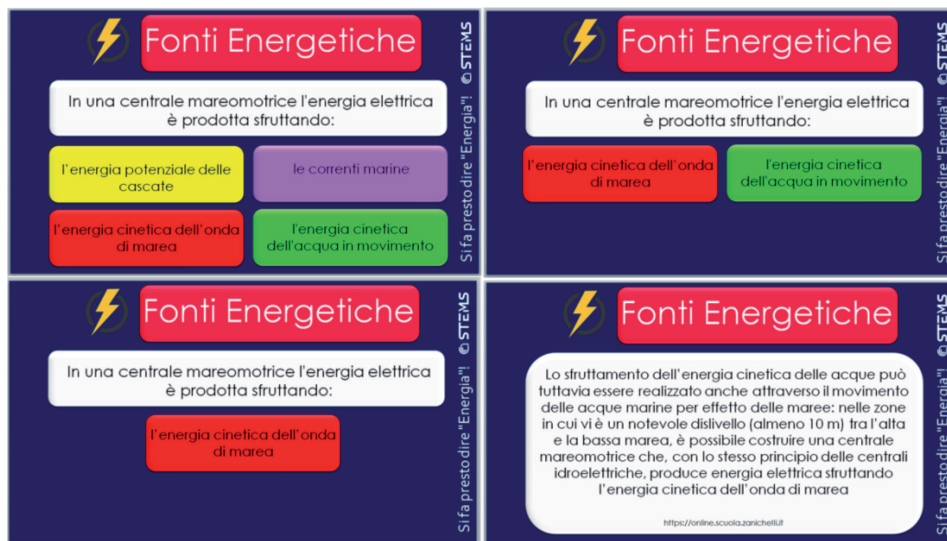


Figura 1
Esempio di domanda a risposta multipla

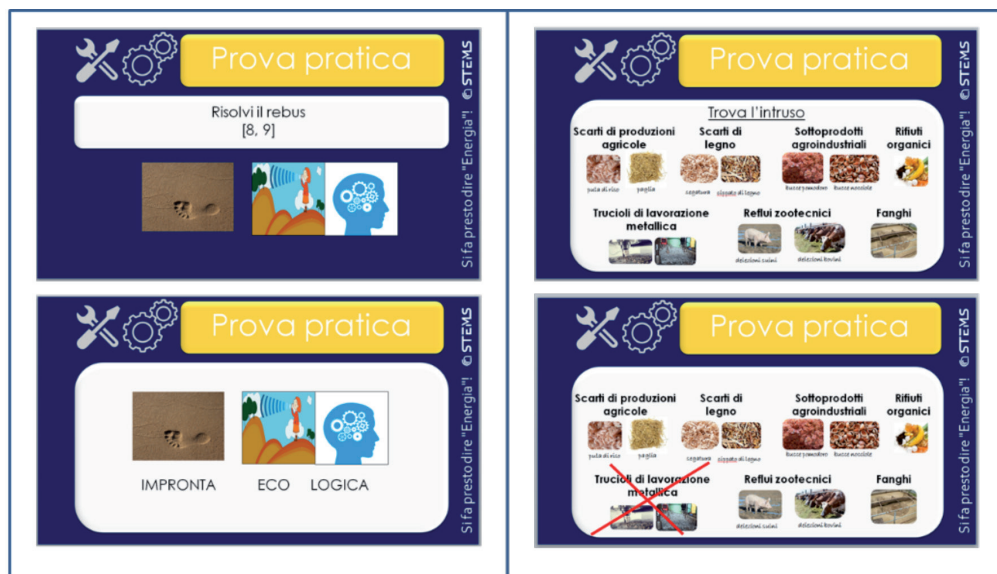

























Figura 2
Esempi di prova pratica

Tabella 1. Categorie e sottocategorie delle domande ed esempi

Categoria domanda	Sottocategorie	Esempio di domanda somministrata
Attualità	Manifestazioni	In che anno Greta Thunberg ha fatto il suo discorso al summit ONU sul clima?
	Indicatori di sostenibilità	Quanti sono gli obiettivi di sviluppo sostenibile?
	Disastri ambientali	In che anno si è verificato il disastro nucleare di Chernobyl?
	Enti vigilanti	Qual è l'agenzia che garantisce la promozione della concorrenza e dell'efficienza nei settori energetici in Italia?
	Statistiche	Qual è stata la percentuale di energia elettrica che l'Italia ha importato nel 2021?
	Obiettivi futuri	Il Green Deal europeo mira a ridurre entro il 2030 di quale percentuale le emissioni nette di gas a effetto serra rispetto ai livelli del 1990?
Definizioni	Fisica	Nella famosa formula di Einstein $E=mc^2$, m cosa è?
	Chimica	Nel Sole che tipo di reazione ha luogo?
	Miscellanea	La sigla TEP, utilizzata per indicare l'unità di misura energetica, è l'acronimo di?
	Combustibili fossili	Che si intende per decarbonizzazione?
	Biocombustibili	Come si chiama l'impianto per la produzione di biogas?
	Idrogeno	L'idrogeno viene prodotto dall' H_2O attraverso quale processo?
Fonti Energetiche	Combustibili fossili	Qual è il maggior produttore di carbone al mondo?
	Termoelettrico e nucleare	Come avviene la produzione di energia in una centrale termoelettrica?
	Geotermia e moto ondoso	In quale regione italiana c'è il maggiore sfruttamento dell'energia geotermica?
	Idroelettrico e eolico	Quando è stata costruita la prima centrale idroelettrica in Italia?
	Solare e fotovoltaico	Nei pannelli solari termici la radiazione solare per cosa viene utilizzata?
	Batterie e celle a combustibile	Qual è il combustibile più utilizzato nelle celle a combustibile?

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

		<div><p>Risolvi il rebus [8, 9]</p><div></div></div>															
	Ordinamento cronologico	<div><p>Disponi in ordine cronologico i seguenti eventi:</p><p>1) PROTOCOLLO DI KYOTO 2) ACCORDO DI PARIGI SUL CLIMA 3) BALI ROAD MAP 4) PATTO DI GLASGOW 5) ACCORDO DI COPENAGHEN</p></div>															
Prova pratica	Individuazione dell'elemento estraneo ad un gruppo	<div><p>Trova l'intruso</p><div><div><p>Scarti di produzioni agricole</p><div></div><p>Trucoli di lavorazione metallica</p><div></div></div><div><p>Scarti di legno</p><div></div><p>Refui zootecnici</p><div></div></div><div><p>Sottoprodotti agroindustriali</p><div></div><p>Fanghi</p><div></div></div><p>Rifiuti organici</p><div></div></div></div>															
	Esecuzione di calcoli	<div><p>Completa la tabella</p><p>Sapendo che il lavoro di una forza costante F durante uno spostamento s è uguale al prodotto scalare tra i due vettori e che il prodotto scalare è pari al prodotto tra i moduli dei due vettori per il coseno dell'angolo compreso, deriva che</p><p style="text-align: center;">$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$</p><table><thead><tr><th>Caso</th><th>α</th><th>Scop.</th><th>Formula per calcolare il lavoro $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$</th></tr></thead><tbody><tr><td>Vettori F e s paralleli</td><td>0°</td><td>$+1$</td><td>$W = F \cdot s$</td></tr><tr><td>Vettori F e s antiparalleli</td><td>180°</td><td></td><td>$W = -F \cdot s$</td></tr><tr><td>Vettori F e s perpendicolari</td><td>90°</td><td></td><td>$W = 0$</td></tr></tbody></table></div>	Caso	α	Scop.	Formula per calcolare il lavoro $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$	Vettori F e s paralleli	0°	$+1$	$W = F \cdot s$	Vettori F e s antiparalleli	180°		$W = -F \cdot s$	Vettori F e s perpendicolari	90°	
Caso	α	Scop.	Formula per calcolare il lavoro $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$														
Vettori F e s paralleli	0°	$+1$	$W = F \cdot s$														
Vettori F e s antiparalleli	180°		$W = -F \cdot s$														
Vettori F e s perpendicolari	90°		$W = 0$														
	Completamento di descrizioni	<div><p>Completa la figura con le descrizioni mancanti</p><div></div><p>Rete Cavidotto Pale Trasformatore Rotore</p></div>															
	Miscellanea	<div><p>Ordina le lampadine in funzione del consumo</p><div><div><p>LAMPADINA A INCANDESCENZA</p></div><div><p>LAMPADINA A LED</p></div><div><p>LAMPADINA A CFL</p></div><div><p>LAMPADINA A INCANDESCENZA</p></div></div></div>															

3.1.2. *Lo svolgimento.* Lo svolgimento dell'attività prevedeva varie fasi: fase preparatoria, sfida e fase conclusiva.

- *Fase preparatoria:* dopo aver accolto i ragazzi, uno degli animatori descriveva brevemente il regolamento del gioco a quiz e predisponendo le squadre, per esempio 2 classi diverse o due gruppi originati dalla stessa classe. Successivamente, ogni squadra eleggeva un portavoce, sceglieva un segnaposto e il lato dell'aula dove disporsi e lanciava il dado, per stabilire l'ordine di gioco durante la sfida.
- *La sfida:* a turno, ciascuna squadra lanciava il dado e muoveva il proprio segnaposto di tante caselle quante indicate sul dado lungo un tabellone (figura 3) costituito da 35 caselle: 10 caselle bianche (5 bonus + 5 imprevisti), 5 caselle multicolore e 5x4 caselle colorate (rosso per Fonti Energetiche, azzurro per Attualità, verde per Definizioni e giallo per le Prove pratiche).



Figura 3
Il tabellone allestito per lo svolgimento del quiz

Ogni volta che il segnaposto si fermava su una casella colorata, la squadra era chiamata a rispondere ad una domanda della categoria indicata sulla stessa casella. Se invece il segnaposto si fermava su una casella non colorata, la squadra acquisiva un bonus o fronteggiava un imprevisto. I possibili bonus erano: a) diritto a scegliere la categoria della domanda; b) diritto ad avanzare di 3 posizioni; c) diritto di scegliere la categoria della propria domanda e di quella dell'avversario al turno successivo; d) diritto all'immunità per il primo imprevisto in cui ci si imbatteva; e) diritto a scegliere la categoria della domanda e acquisizione di un aiuto in più. I possibili imprevisti erano: a) stare fermi un turno; b) perdere 3 posizioni; c) dare all'avversario la possibilità di avanzare di 3 posizioni; d) dare all'avversario la possibilità di scegliere di quante posizioni dover indietreggiare (al massimo 6); e) perdere tutti i punti guadagnati (tutte le risposte giuste conseguite venivano annullate) e ritornare alla casella di partenza. Quando il segnaposto si fermava su una casella multicolore, la squadra acquisiva il diritto di scegliere la categoria della domanda a cui rispondere tra le quattro possibili.

Per individuare il gruppo di domande della categoria interessata da cui l'animatore poteva scegliere quella da sottomettere alla squadra di turno, si tirava nuovamente il dado. Individuato il gruppo, la domanda veniva casualmente sorteggiata dall'animatore e proposta alla squadra. La squadra aveva 2 minuti di tempo per rispondere alla domanda selezionata. Una volta che la squadra aveva indicato la risposta tra le quattro proposte, l'animatore verificava la sua correttezza e leggeva una breve spiegazione. Se la risposta fornita dalla squadra era corretta, la squadra acquisiva il diritto a ritirare, in caso contrario il turno passava all'avversario. Per rendere più dinamica la sfida si è scelto di cedere in ogni caso il turno all'avversario anche dopo due risposte corrette consecutive.

In qualsiasi momento della partita e per qualsiasi domanda diversa dalla prova pratica potevano essere utilizzati al massimo 2 aiuti: 50:50 (2 delle 4 risposte erano eliminate lasciando solo quella corretta e una errata) e possibilità di cambio (*switch*: la domanda veniva sostituita con un'altra della stessa categoria e di uguale difficoltà). Nel caso della prova pratica l'unico aiuto utilizzabile, per un massimo di una volta, era lo *switch*.

- *Fase conclusiva*: Si accedeva alla fase finale, che portava una delle due squadre a vincere una volta risposto correttamente alla domanda finale, arrivando alla casella 35. Se passati 50 minuti, nessuna delle due squadre aveva raggiunto

la casella 35, la squadra che aveva totalizzato più risposte esatte acquisiva il diritto alla domanda finale. Nel caso non si rispondeva correttamente alla domanda finale, il diritto alla domanda finale passava all'altra squadra. La domanda finale poteva essere proposta per un massimo di 2 volte a ciascuna squadra, dopodiché la partita era dichiarata conclusa e pari. Nel caso in cui le squadre erano pari merito (stesso numero di domande esatte), entrambe le squadre acquisivano il diritto alla domanda finale e si sfidavano contemporaneamente sulla stessa domanda, e vinceva chi forniva la risposta esatta. Se entrambe le squadre rispondevano correttamente, si poneva un'altra domanda, e si procedeva ad oltranza fino ad un massimo di 3 domande. Se non si riusciva ad individuare un vincitore, la partita veniva dichiarata conclusa e con 2 vincitori.

Gli animatori durante ciascuna sfida avevano una scheda su cui man mano annotavano l'acquisizione dei punti, l'uso di aiuti, l'acquisizione di eventuali bonus e di penalità in modo da poter facilmente individuare quando una squadra acquisiva il diritto alla domanda finale.

3.2. Considerazioni e statistiche post-evento

Il gioco a quiz così strutturato, proposto principalmente a studenti di classi medie e superiori, ha consentito di raccogliere alcune indicazioni interessanti. I partecipanti tendevano a prediligere le prove pratiche, infatti quando veniva data loro la possibilità di scegliere la categoria della domanda, le prove pratiche erano quelle selezionate maggiormente, seguite dalle domande di Attualità. Si è stabilito, infatti, che su 78 sfide disputate e per un totale di 788 risposte esatte fornite, il 34,6% di risposte esatte riguardavano prove pratiche, il 23,1% domande relative alla categoria Definizioni, il 21,6% domande appartenenti alla categoria Attualità, e il 20,7% domande della categoria Fonti Energetiche.

Tra le diverse tipologie di prove pratiche, quelle che hanno destato minore interesse e anche minore collaborazione tra i membri delle squadre sono state quelle che prevedevano lo svolgimento di calcoli, mentre quelle che hanno riscontrato più successo sono state quelle che prevedevano la risoluzione di rebus, il completamento di descrizioni o l'individuazione dell'elemento estraneo ad un gruppo omogeneo. Particolarmente interessante è stato l'approccio alla risoluzione dei rebus e la prontezza dimostrata da alcuni ragazzi, infatti solo in rari casi la risposta fornita non è risultata corretta.

Per quanto riguarda la risposta alle domande di Attualità, gli studenti sono

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

risultati pronti sulle tematiche relative alle manifestazioni sul clima, e predisposti al ragionamento in merito alle domande sulle statistiche, sugli indicatori di sostenibilità e sugli obiettivi futuri imposti a livello nazionale ed internazionale in materia energetica e di emissioni.

Riguardo alle domande sulle Definizioni e sulle Fonti Energetiche, purtroppo un quadro chiaro non è emerso anche perché trattandosi di partecipanti di età e di formazione diversa, la preparazione non era sempre omogenea. Nonostante ciò, nel caso degli studenti, una buona tendenza al ragionamento, un confronto efficace tra i membri delle squadre e una certa conoscenza dei trucchi che si utilizzano nella preparazione dei quiz sono emersi.

Il fronteggiare domande appartenenti a diverse categorie e anche su argomenti di frontiera ha consentito inoltre di stabilire come alcune conoscenze mancassero nel bagaglio culturale degli studenti. Pur conoscendo le fonti energetiche classiche e quelle alternative, gli studenti hanno dimostrato di non essere molto ferrati sulle batterie, di non conoscere che cosa è un «vettore energetico» (il vettore energetico (dall'inglese *energy carrier*) è una forma di energia secondaria che si presta a essere trasportata fino al punto di utilizzo⁹) e di non sapere che l'idrogeno non è un combustibile presente in natura in una forma direttamente utilizzabile.

Tra le diverse fasce di età che hanno partecipato all'attività, i più attivi e i più coinvolti sono stati gli studenti di terza media e quelli delle prime classi delle scuole superiori; a volte, nel caso di studenti appartenenti alle quarte o alle quinte superiori si è riscontrato scarso coinvolgimento.

3.3. Il contesto del Festival della Scienza di Genova e i feedback ricevuti dai partecipanti e accompagnatori

Il Festival della Scienza di Genova è un evento giunto nel 2022 alla ventesima edizione, organizzato dall'Associazione Festival della Scienza che ha diversi partner, tra cui il CNR¹⁰. È un evento che raccoglie attività proposte da studiosi e ricercatori dell'intero panorama scientifico nazionale e che è rivolto a studenti, famiglie e cittadini. Il Festival fornisce supporto gestionale (piattaforma per le prenotazioni, referenti per partecipanti e allestitori), organizzativo (disponibili-

⁹ *Enciclopedia degli idrocarburi*, cap. 4, vol. III: *Nuovi sviluppi: energia, trasporti, sostenibilità*, Treccani 2005-2008.

¹⁰ www.festivalscienza.it/site/home.html.

tà di un'area adeguata allo svolgimento dell'attività e di attrezzatura per il suo allestimento e svolgimento, animatori scientifici, accompagnatori), comunicativo (canali social, revisori e addetti alla comunicazione). Tutti questi aspetti consentono a chi propone l'attività di svilupparla, allestirla e svolgerla al meglio, cosa che è si è verificata anche nel caso dell'attività "Si fa presto a dire 'Energia'!".

Il Festival è un evento conosciuto a livello regionale e nazionale, infatti hanno partecipato all'attività sia scuole medie e che scuole superiori di Genova e della Liguria, ma anche provenienti da altre regioni italiane (Piemonte, Emilia Romagna).

I feedback dell'attività sono stati per lo più positivi ed immediati. Un primo feedback è arrivato dai ragazzi e dal loro coinvolgimento ed entusiasmo nello svolgere il gioco. Un altro importante feedback è arrivato dagli insegnanti presenti come accompagnatori; molti hanno formulato complimenti al termine dell'attività sottolineando l'adeguatezza delle domande e dei contenuti, altri hanno addirittura chiesto le fonti del quiz e se il quiz fosse disponibile in rete per poterlo scaricare e riproporre in classe.

4. Conclusioni

Il gioco a quiz "Si fa presto a dire 'Energia'!" è stato presentato per la prima volta al Festival della Scienza di Genova, Edizione 2022 e ha riscontrato un notevole consenso da parte del pubblico scolastico (hanno prenotato ed effettuato l'attività oltre 50 classi provenienti da scuole medie e superiori). Il gioco a quiz ha visto i partecipanti sfidarsi in domande a risposta multipla e prove pratiche riguardanti diversi aspetti della tematica Energia. Il quiz ha permesso di saggiare le conoscenze in possesso degli studenti in merito al tema dell'Energia sia dal punto di vista delle nozioni di base sia riguardo argomenti di frontiera e di testare la loro predisposizione al lavoro di gruppo, al confronto e al ragionamento. In generale l'attività si è rivelata un momento di partecipazione collettiva molto gratificante. Anche gli insegnanti hanno dato feedback positivi, apprezzando la qualità delle domande proposte e la struttura dell'attività.

L'attività ha avuto un ottimo riscontro con le classi scolastiche, ed è risultato meno efficace quando proposto a famiglie con bimbi piccoli. Questo aspetto spinge in fase di promozione e presentazione sicuramente a ripensare alla descrizione dell'attività e alla necessità di sottolineare che si tratta di un gioco a squadre destinato a gruppi e non a singoli o pochi partecipanti.

Può un gioco veicolare consapevolezza sulla produzione e l'uso dell'energia?

Riferimenti bibliografici

- Grillini M. (2018-19), *Il Peer Tutoring come strumento per lo sviluppo del problem solving in matematica*, tesi di laurea in Didattica della Matematica, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna.
- Knight J.K., Brame C.J. (2018), *Peer Instruction*, «CBE – Life Sciences Education», 17: fe5, pp. 1-4.
- WWF (2022), *Living Planet Report 2022. Costruire una società naturepositive*, a cura di R.E.A. Almond, M. Grooten, D. Juffe Bignoli, T. Petersen, Gland.

Scienziate nell'ombra

Barbara Dragoni, Silvia Mattoni

Unità Relazioni con il Pubblico del CNR

Scienziate che sono riuscite a imporsi, sfidando pregiudizi e ostacoli frutto delle convenzioni e dei costumi del tempo. Tante le pagine della storia della scienza firmate da donne rimaste purtroppo nell'ombra. È il momento di farle uscire dall'angolo rendendole protagoniste come meritano.



Figura 1
Locandina evento “Scienziate nell’ombra”

Alcuni esempi nella storia, come quelli delle *mulieres salernitanae* – prime donne “mediche” nel Medioevo a studiare il corpo femminile – sono stati l’occasione per “mettere in luce” storie e curiosità di alcune brillanti, audaci e determinate scienziate. Ne abbiamo parlato durante l’incontro che si è tenuto il 22 novembre 2021, in occasione del Festival delle Scienze di Roma. All’iniziativa hanno inoltre partecipato Enrica Battifoglia, giornalista, responsabile canale Scienza & Tecnica ANSA.it, Valentina Giaccaglia, professore associato aggiun-

to per la Chirurgia generale, Mohamed Bin Rashid University of Medicine and Health Science di Dubai, Arianna Voto, giornalista, Giornale Radio 1 RAI, Marco Spagnoli, critico cinematografico, giornalista, regista e sceneggiatore.

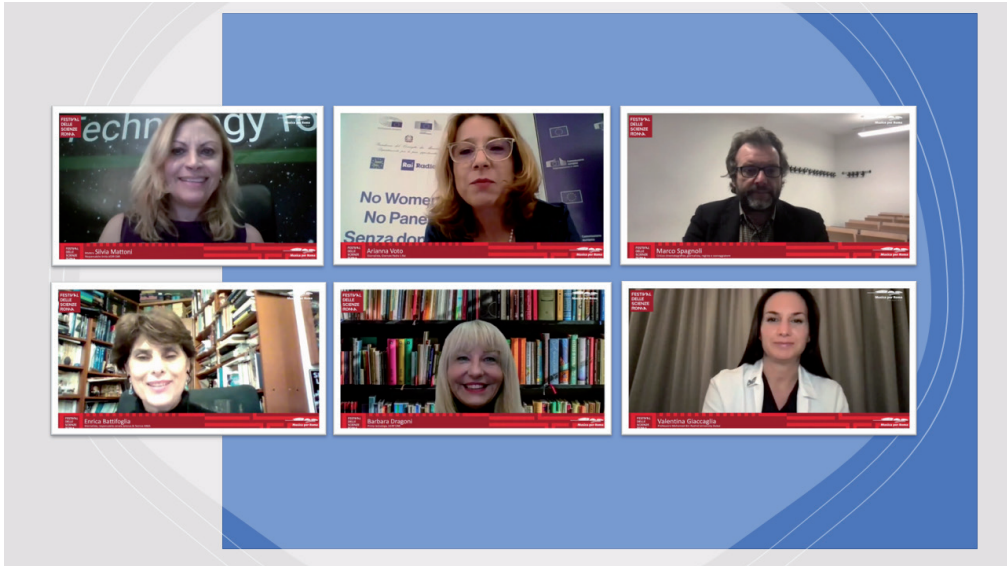


Figura 2
Relatori evento “Scienziate nell’ombra”

Non sono poche le donne che hanno contribuito, in modo significativo, al progresso dell’umanità, nonostante le mille difficoltà a cui far fronte. Celebri o quasi sconosciute, premiate o ingiustamente oscurate, molte donne hanno partecipato al progresso della Scienza e della Tecnica, combattendo aspre battaglie per ottenere gli stessi diritti e le stesse opportunità dei colleghi maschi.

Oggi il divario di genere è ancora attuale, tanto che temi come la promozione della parità di genere e le misure volte a favorire l’occupazione femminile, sono ancora al centro del dibattito culturale e politico.

Andando indietro nel tempo, tuttavia, in un medioevo molto diverso da quello che ci è stato tramandato, quello dei “secoli bui”, scopriamo alcune inaspettate eccezioni.

A Salerno, culla della prima Istituzione Medica e Università dell’Europa Medioevale aperta anche alle donne, tra XI e XV secolo d.C. troviamo, infatti, le prime donne medico in Europa, prime ad aver coltivato una “medicina di

genere” e ad aver considerato la salute non come mera assenza di malattia, ma stato di complessivo benessere psichico e fisico. Sono le *mulieres salernitanae*, donne che operavano all'interno della Scuola medica dedicandosi anche ad attività di ricerca scientifica e di trasmissione del sapere.

Certo, non si può affermare che all'epoca le donne godessero di pari diritti rispetto agli uomini, ma il loro margine d'azione era più ampio di quanto si possa immaginare.

La stessa declinazione al femminile della parola “medico”, fa pensare.

Le *mulieres salernitanae*, chiamate al tempo “mediche”, erano delle scienziate a tutti gli effetti, il cui contributo veniva conosciuto e rispettato dai colleghi uomini, non solo a Salerno, ma addirittura in tutta Europa.

La più famosa tra le “mediche” dell'antica e rinomata Scuola Medica di Salerno, tra le quali possiamo annoverare Mercuriade, Sabella Castellomata, Rebecca Guarna e Costanza Calenda, è senz'altro Trotula, chiamata anche Trota o Trotta.

La scienziata, oltre a studiare e insegnare, svolgeva attività medica pratica, curando e assistendo donne durante la gravidanza, il parto e il post parto.

Come afferma Pietro Greco nel suo libro *Trotula. La prima donna medico d'Europa*, la “medichessa” è anche la prima ginecologa della storia e la prima e unica “magistra” della Scuola medica di Salerno, che si è persino occupata di bellezza e benessere femminile a tutto tondo.

Le sue teorie hanno percorso i tempi in molti campi come quello della prevenzione e dell'igiene. Ma la sua eccezionalità è sicuramente dovuta al fatto di aver scritto, o molto probabilmente dettato agli studenti, la sua esperienza clinica (*Practica*), fondata sulla osservazione e sulla precisione dell'esame obiettivo, senza trascurare l'aspetto psicologico nei rapporti con il paziente.

Nel XIII secolo le idee e i trattamenti di Trotula erano già conosciuti in tutta Europa, tanto che i suoi scritti furono utilizzati fino al XVI secolo come testi classici presso le Scuole di medicina all'epoca più rinomate.

Eppure, il suo contributo e quello delle sue colleghe “mediche”, nel tempo è stato incomprensibilmente dimenticato. La storiografia successiva ha negato il loro operato, arrivando persino ad affermare, come riporta Pietro Greco nel suo libro, “che mai e poi mai una donna avrebbe potuto fare nel Medioevo le cose che ha fatto Trotula”.

Ma Trotula non è un caso isolato. Stessa sorte è accaduta ad altre donne di scienza.

Ad esempio, chi conosce Hildegard von Bingen? Vissuta nella Germania del

XII secolo e Badessa di un convento benedettino, Hildegard è la prima scienziata, le cui svariate opere in campo scientifico sono giunte fino a noi. I suoi scritti, tra i quali il trattato di medicina *Causae et Curae*, hanno influenzato il pensiero scientifico fino al Rinascimento. Nonostante la sua genialità, questa donna fu comunque esclusa dalla civiltà del sapere allora presente nelle scuole arcivescovili. Solo nel 2012 è stata dichiarata dottore della Chiesa, oltre che canonizzata Santa Ildegarda di Bingen, da papa Benedetto XVI. A dare particolare visibilità alla Badessa scienziata, mistica e teologa, esperta di scienze e di medicina, nonché poetessa e compositrice di inni musicali, la regista Margarethe von Trotta nel 2009 con il film *Vision*.

E cosa si conosce della tormentata carriera della matematica Sophie Germain? Nonostante avesse vinto nel 1816 il Prix Extraordinaire – prima donna a riceverlo – promosso dall'Accademia delle Scienze e probabilmente istituito da Napoleone, con il suo studio sulle modalità di vibrazione delle superfici elastiche, fu spesso costretta a utilizzare uno pseudonimo maschile. E così, per potersi iscrivere all'École Polytechnique di Parigi, Sophie Germain divenne Antoine-August Le Blanc, prendendo in prestito le generalità di uno studente che si era ritirato.

Tra queste poco note eppure meritevoli scienziate, emerge Hedy Lamarr, nota in tutto il mondo come diva hollywoodiana e, in particolare, come protagonista della prima scena di nudo nella storia del cinema. Sconosciuta ai più come geniale inventrice, nel 1942, Hedy Lamarr brevettò, insieme al musicista George Antheil, il Secret Communication System, un metodo antintercettazione dei siluri radiocomandati. Funzionava così: un sistema, simile ai rotoli di carta perforata usati allora per le pianole meccaniche, veniva utilizzato per cambiare di continuo la frequenza dei comandi radio al fine di impedire che i nemici intercettassero i segnali. La Marina degli Stati Uniti d'America, invece, lo giudicò non utilizzabile. Solo qualche decennio più tardi, la stessa tecnologia è stata riconosciuta quale base delle moderne telecomunicazioni, inclusa la telefonia mobile. Soltanto nel 1997, però, all'attrice e al musicista che avevano registrato il brevetto nel lontano 1942, fu conferito il Pioneer Award, il premio assegnato agli inventori che hanno rivoluzionato il mondo dell'elettronica e della comunicazione. A mettere in luce questo diverso profilo dell'attrice, ancora un'altra donna regista, Alexandra Dean, nel 2017 con il film *La storia di Hedy Lamarr*.

Questi sono solo pochi esempi di scienziate nell'ombra. Chissà quante altre nella storia rimarranno sconosciute e quante ancora oggi non sono messe in

condizione di esprimere le proprie potenzialità o di godere di pari opportunità nel mondo del lavoro.

Per rafforzare il ruolo delle donne nella scienza dobbiamo fare di più, come ad esempio continuare a contribuire fattivamente alle campagne di sensibilizzazione come “No Women No Panel – senza donne non se ne parla”, iniziativa della commissaria europea Mariya Gabriel – rilanciata da Radio1 RAI in collaborazione con la Rappresentanza in Italia della Commissione Europea – con il patrocinio della Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento per le pari opportunità e di Istituzioni, Università ed Enti di Ricerca – che ha come obiettivo quello di aumentare la consapevolezza riguardo la necessità di avere un equilibrio di genere nei panel, discussioni pubbliche, convegni, conferenze e dibattiti sui media, in modo da valorizzare il talento e le competenze di donne e uomini.

L'Unione Europea, proseguendo in questa direzione, ha attivato un piano d'azione interamente dedicato alla parità di genere e all'emancipazione femminile nell'azione esterna per il periodo 2021-2025.

È necessario, comunque, un impegno trasversale della comunità internazionale nel contrasto alle discriminazioni e agli stereotipi di genere. Basti ricordare che gli obiettivi di sviluppo sostenibile delle Nazioni Unite includono, tra le priorità trasversali dell'Agenda 2030 (Obiettivo 5)¹, il raggiungimento dell'uguaglianza di genere e l'autodeterminazione di tutte le donne e ragazze.

Per quanto riguarda l'Italia, tra le azioni più recenti messe in campo nell'ambito della Pubblica Amministrazione (PA), possiamo annoverare le ultime Linee Guida per favorire e incentivare la parità di genere nella PA. Il Vademecum mira a raggiungere gli obiettivi del PNRR sul superamento delle disparità e degli stereotipi culturali. Tra le principali novità, l'introduzione della *check list* per misurare la situazione e di nuovi sistemi di controllo mediante il PIAO (Piano Integrato di Attività e Organizzazione per le PA, introdotto dall'art. 6 D.L. 80/2021)² e altri strumenti di monitoraggio.

¹ L'Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile è un programma d'azione per le persone, il pianeta e la prosperità sottoscritto nel settembre 2015 dai governi dei 193 Paesi membri dell'ONU. Essa ingloba 17 Obiettivi per lo Sviluppo Sostenibile – Sustainable Development Goals, SDGs; Obiettivo 5: “Raggiungere l'uguaglianza di genere e l'autodeterminazione di tutte le donne e ragazze”.

² Decreto legge del 9 giugno 2021, n. 80 “Misure urgenti per il rafforzamento della capacità amministrativa delle pubbliche amministrazioni funzionale all'attuazione del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) e per l'efficienza della giustizia”, convertito con modificazioni dalla legge 6 agosto 2021, n. 113.

Nella stagione attuale, segnata dai faticosi percorsi di ripresa e resilienza, di certo la ricerca scientifica potrebbe rappresentare ancora di più una opportunità straordinaria di sviluppo sostenibile, solidale e inclusivo. Una grande sfida per promuovere e valorizzare la piena partecipazione delle donne nel mondo della scienza.

Bibliografia

- Commissione Europea (2020), *Piano d'azione dell'UE sulla parità di genere nell'azione esterna dell'UE 2021-2025 (GAP III)*, Bruxelles, 25 novembre 2020.
- Greco P. (2020), *Trotula. La prima donna medico d'Europa*, Roma, L'Asino d'oro Edizioni.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della Funzione Pubblica – Dipartimento per le pari opportunità (2022), *Linee guida sulla "Parità di genere nell'organizzazione e gestione del rapporto di lavoro con le pubbliche amministrazioni"*, Roma, 6 ottobre 2022.
- Segantini E. (2011), *Hedy Lamarr, la donna gatto*, Soveria Mannelli (CZ), Rubbettino Editore.

PROGETTO

Un modello del sistema immunitario

Giusto Nardi

scrittore e divulgatore scientifico, già docente di Sistemi Automatici

Introduzione

Il modello che si propone utilizza il linguaggio della teoria dei sistemi pur facendo riferimento a contenuti tipici della fisiologia. Ha la finalità di dare un contributo all'abbattimento delle barriere tra le discipline e rendere fruibile ad un vasto pubblico questioni scientifiche particolari.

Per sviluppare un tale lavoro è stato prioritario stabilire una efficace comunicazione tra soggetti aventi preparazione di base molto diversa: *biologi* e *ingegneri*, intesi come attori di ambiti culturali diversi e spesso non comunicanti. Alcuni contenuti, tra quelli proposti, risultano infatti totalmente ermetici per i primi, altri lo sono per i secondi.

Si può affermare che si è messo in atto una comunicazione scientifica tra due mondi diversi che assumono a turno il ruolo degli *esperti* e quello del *pubblico*.

In mancanza di questa comunicazione sarebbe stato prodotto un lavoro non leggibile, né da parte dei biologi né da parte degli ingegneri, così come veniva fatto notare da alcuni lettori in occasione della pubblicazione di *Covid, una lettura interdisciplinare* su altra rivista citata in bibliografia.

Il contesto nel quale si è operato, in sede progettuale, è stato quello della scuola secondaria e della università (corso di fisiologia e corso di elettronica biomedica).

Tale scelta è scaturita dalla disponibilità degli interlocutori: allievi della scuola secondaria di riferimento (Villaggio dei Ragazzi di Maddaloni), poi transitati alla università quali studenti di biologia e ingegneria, che hanno costituito un unico gruppo di lavoro.

La procedura seguita è stata molto semplice e immediata, centrata sul seguente metodo: il gruppo ha proceduto alla lettura di alcune pagine di testi di fisiologia (citati in bibliografia) e alla traduzione degli stessi in *linguaggio ingegneristico*, partendo da questioni molto attuali, quale può essere considerato il sistema immunitario in un momento di pandemia, e capace di destare interesse in un vasto pubblico.

Si è andati, in particolare, alla ricerca delle controreazioni, soffermandosi sui complessi meccanismi dell'omeostasi, ponendo quindi l'alterazione di questa all'origine delle patologie, e sui disturbi che portano all'autoimmunità. Per effetto di questa ricerca, il modello prodotto è risultato focalizzato sulla controreazione e sulla conseguente regolazione.

Il completamento e perfezionamento di una tale rappresentazione dipende dalla individuazione dei loop in retroazione, responsabili della efficacia della controreazione, impresa ardua se non si conoscono dettagliatamente i collegamenti funzionali tra le parti del sistema, a dimostrazione della necessità di una stretta interazione tra le discipline.

Vengono affrontati e *tradotti* i seguenti punti: omeostasi e sistemi di controllo; la comunicazione; la retroazione; il controllo della temperatura corporea; cenni di anatomia del sistema immunitario; l'infiammazione; i disturbi del sistema immunitario; l'immunoterapia.

Si procederà con una diffusa attività di comunicazione destinata agli allievi delle scuole secondarie, ad opera di *biologi*, che dovranno parlare come se fossero *ingegneri*, e viceversa, al fine di mostrare la utilità dell'approccio sistemico per la soluzione di problemi complessi e per una ricaduta in termini di interesse per la fisiologia in generale, nella convinzione che «niente di quello che l'uomo può immaginare non esista già in natura» (A. Einstein).

Questo lavoro è parte di un progetto che dovrà proseguire con lo studio dei sensori (sistema visivo, uditivo ecc.), degli attuatori (sistema muscolare e scheletrico), delle pompe (sistema circolatorio e linfatico), dell'energia (produzione ed accumulo), della comunicazione (locale e remota), dei materiali (quelli usati per l'uomo e quelli usati dall'uomo), della biomimetica.

1.1. *Omeostasi e sistemi di controllo*

Il corpo umano non è un sistema isolato in quanto comunica e ha scambi di energia e di informazioni con altri sistemi. È un sistema aperto e come tale interagisce con l'ambiente, così come illustrato nella fig.1 dove è riportato un modello energetico semplificato. Diventa pertanto rilevante il mantenimento, in presenza di disturbi, delle caratteristiche dell'ambiente interno al variare di quelle dell'ambiente esterno e dell'attività svolta.

L'*omeostasi* è la capacità del sistema interno di mantenere in stato di equilibrio le proprie caratteristiche al variare delle condizioni in cui opera. A tal fine, il sistema modula le attività dei vari organi per mantenere sia la composizione

materiale che i livelli di scambio di energia necessari per l'equilibrio e quindi ottimali per la vita.

Le variabili che devono essere tenute sotto controllo sono tante ed alcune di queste vanno *regolate*: devono mantenere lo stesso valore nel tempo, anche in presenza di disturbi, come, ad esempio, la temperatura corporea e la concentrazione ionica. La perdita del controllo di una sola di queste variabili condiziona il corretto funzionamento dell'organismo determinando variazioni in cascata: un virus che invade l'organismo, ad esempio, potrebbe danneggiare cellule e tessuti o semplicemente interdire la comunicazione tra le parti impedendo la corretta regolazione.

Alcune regolazioni

Si possono distinguere i seguenti principali ambiti di regolazione omeostatica, anche se le esigenze funzionali dell'organismo richiedono una stretta integrazione degli stessi: *omeostasi termica*; *omeostasi cardiocircolatoria*; *omeostasi idroelettrolitica*, *osmotica*, *acido-base*; *omeostasi respiratoria*; *omeostasi energetica e metabolica* (vedi schematizzazione riportata nella fig. 7).

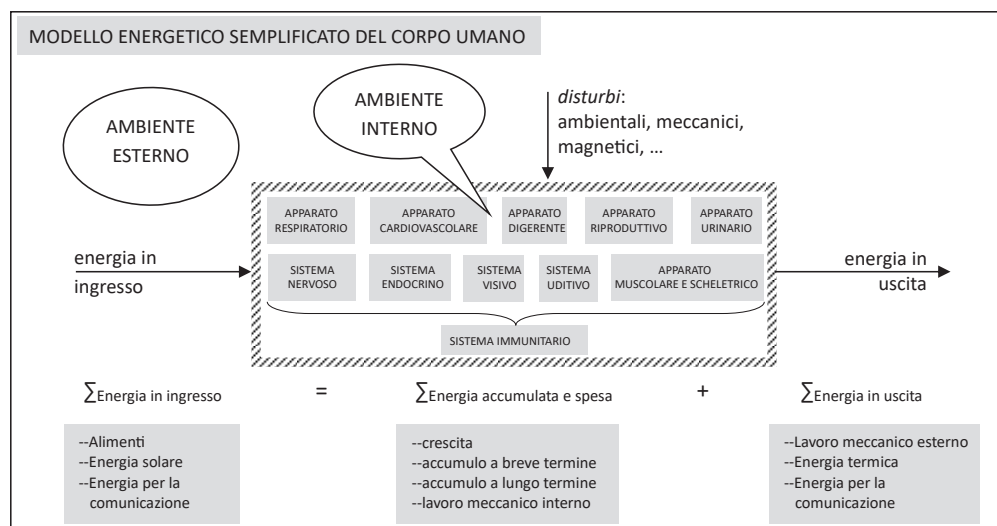


Fig. 1
Modello energetico semplificato del corpo umano

Il primo principio della termodinamica, o legge di conservazione dell'energia, afferma che la quantità totale di energia in un sistema isolato è costante. Il corpo umano non è un sistema isolato poiché scambia energia e materia con l'ambiente esterno e non potendo creare energia la importa alimentandosi. Dell'energia entrante per mezzo degli alimenti una parte viene trattenuta (crescita, accumulo e lavoro interno) e una parte viene riversata nell'ambiente sotto forma di calore e di lavoro. Il bilancio energetico complessivo può così sintetizzarsi: \sum Energia in ingresso = \sum Energia accumulata e spesa + \sum Energia in uscita.

1.2. La comunicazione

Il trasferimento di energia, sia all'interno del corpo umano che verso l'esterno, avviene in base ad informazioni che sono acquisite dai singoli organi o dai sistemi coinvolti. La comunicazione esterna avviene per mezzo dei sistemi sensoriali. La comunicazione interna interessa le cellule e può essere locale o a distanza. Il mantenimento dell'omeostasi, in particolare, regge su di una comunicazione locale, basata sul contatto tra cellule e tramite il sistema circolatorio, ed una comunicazione remota che avviene per mezzo del sistema nervoso centrale e periferico e il sistema endocrino o di entrambi.

Nell'ambito del sistema immunitario, la comunicazione è sia remota sia locale, affidata agli attori della risposta immunitaria, come s'illustrerà in seguito, e avviene tra cellule che si riconoscono: una possiede l'informazione e l'altra (detta bersaglio) la riceve solo se abilitata a farlo.

Per tutti i sistemi, qualunque sia la loro natura, la regolazione si ottiene per mezzo della retroazione (feedback) della quale nel seguito si sintetizzano le problematiche generali.

1.3. La retroazione (il feedback)

Il sistema rappresentato nella fig. 2 è retroazionato: l'uscita V_o è riportata in ingresso tramite la rete di retroazione e nel nodo di confronto \sum si somma o si sottrae al segnale di riferimento V_r ottenendo, per il sistema da controllare A, un ingresso pari a $V_i = V_r + V_o$ oppure $V_i = V_r - V_o$.

Nel primo caso si ha una reazione positiva: a un incremento dell'uscita V_o corrisponde un incremento dell'ingresso V_i ed un ulteriore incremento dell'uscita V_o sino a quando il sistema non si satura. Nel secondo caso si è in presenza di reazione negativa o controeazione: a un aumento dell'uscita corrisponde una diminuzione di V_i e quindi una diminuzione della V_o con effetto stabiliz-

zante (l'uscita si mantiene al valore fissato tramite l'ingresso V_r che è detto di riferimento).

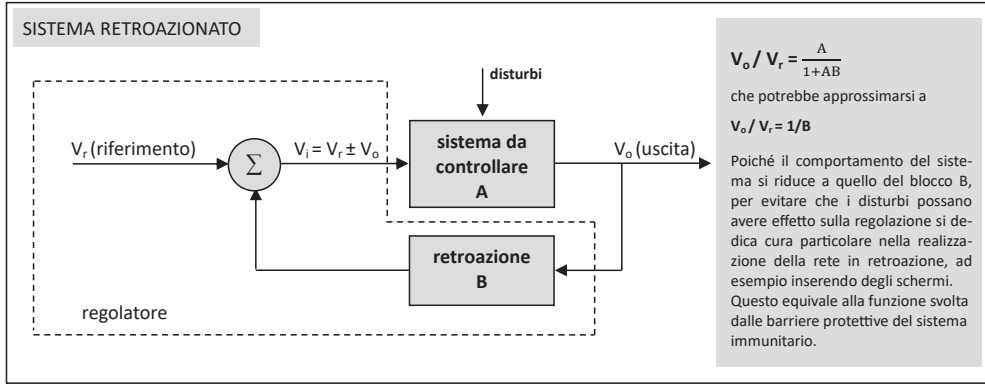


Fig. 2
Sistema retroazionato

Se nel nodo Σ è effettuata la differenza tra il segnale di riferimento e il segnale in retroazione, si è in presenza di reazione negativa o controeazione, nel caso nel nodo Σ viene effettuata la somma, si ha reazione positiva.

Può tuttavia accadere che un sistema in reazione negativa durante il funzionamento, per effetto dell'entità e della tipologia di particolari disturbi, smetta di essere in reazione negativa e assuma un funzionamento in reazione positiva.

È sufficiente, ad esempio, che l'uscita V_o cambi di segno durante il percorso che la riporta in ingresso.

È quello che più avanti si ipotizza possa accadere quando la risposta del sistema immunitario diventa eccessiva.

Poiché, come evidenziato nella figura, il comportamento complessivo del sistema dipende dalla rete in retroazione, essendo $V_o / V_r = 1/B$, lo studio dettagliato di questa rete potrebbe portare alla soluzione di problematiche specifiche del sistema immunitario.

1.4. Il controllo della temperatura corporea

Il centro nervoso responsabile della regolazione della temperatura è l'ipotalamo. Questo interviene attraverso il sistema nervoso autonomo: se viene rilevata dai sensori una temperatura superiore a quella di riferimento, pari a 37 °C, il sistema di regolazione risponde riducendo la termogenesi e incrementando la termodispersione; se viene rilevata una temperatura inferiore a quella di riferimento, il sistema risponde con l'incremento dei processi di termogenesi e la

riduzione di quelli termodispersivi (fig. 3). La presenza di pirogeni (tossine che provocano la febbre) innalza il valore della temperatura di riferimento conferendo al sistema caratteristiche adattative.

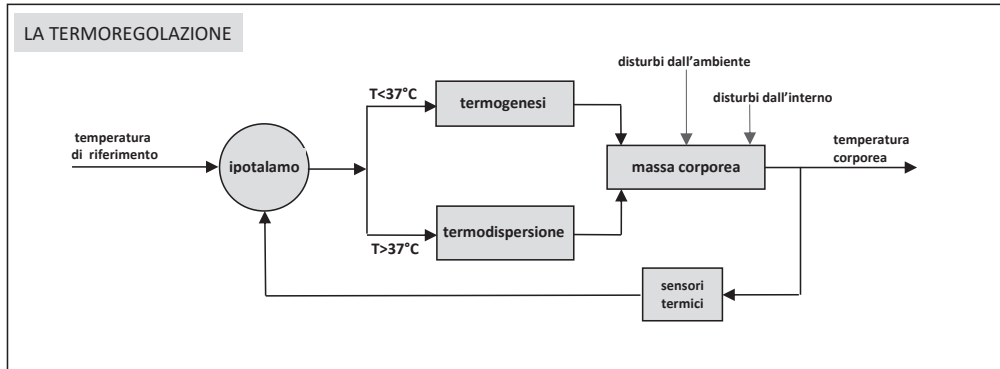


Fig. 3
La termoregolazione

La termoregolazione mantiene l'equilibrio tra la quantità di calore prodotta (termogenesi) e la quantità di calore perduto (termodispersione) annullando l'incidenza dei disturbi esterni (es. variazione della temperatura ambientale) ed interni (es. problemi connessi al metabolismo, attività fisica ecc.).

Ipotalamo: è il centro nervoso responsabile della regolazione della temperatura. Agisce come un termostato azionando il sistema di raffreddamento (termodispersione) o di riscaldamento (termogenesi).

I sensori termici sono ubicati sia al centro che in periferia. Dal centro trasmettono la temperatura del sangue circolante mentre dalla periferia trasmettono sia la temperatura superficiale che quella profonda.

1.5. Cenni di anatomia del sistema immunitario

Il sistema immunitario è una complessa rete di strutture e di processi, sviluppatosi e perfezionatosi nel corso dell'evoluzione, che ha come finalità la difesa dell'organismo dagli attacchi alla sua integrità. Per funzionare deve essere pertanto in grado di riconoscere sia eventi traumatici sia infettivi derivanti da agenti patogeni come virus, batteri, tossine. La sua funzionalità, infatti, poggia sulla capacità di distinguere le cellule innocue (self) da quelle pericolose (non

self). Tale distinzione è permessa dal riconoscimento degli antigeni (molecole in grado di essere riconosciute dal sistema immunitario).

Da un punto di vista funzionale, il sistema può essere suddiviso in due sottosistemi (fig. 4):

- 1) *sistema immunitario innato (aspecifico)*;
- 2) *sistema immunitario adattativo (specifico)*.

Questa distinzione, generalmente proposta dagli autori, ha tuttavia solo valenza espositiva in quanto la complessità del sistema imporrebbe una trattazione per fasi parallele e in cascata. Tale è infatti il processo di attivazione della risposta immunitaria che è costituita da azioni e reazioni interconnesse e coordinate al fine dell'ottenimento di una risposta globale efficace.

Da un punto di vista anatomico, il sistema immunitario è quello meno identificabile poiché risulta quasi completamente integrato nei tessuti di altri organi (la massa totale delle cellule immunitarie è circa pari alla massa cerebrale), ciò nonostante possono essere individuati i seguenti componenti essenziali:

- organi linfatici o tessuti linfatici: *midollo osseo* e *timo* (nei quali si formano e maturano le cellule coinvolte nella risposta immunitaria);
- tessuti linfatici secondari: *milza*, *linfonodi* (dove le cellule mature interagiscono con i patogeni);
- tessuti linfatici diffusi.

Il sistema è posto laddove è più probabile che i patogeni entrino nell'organismo, realizzando così un sistema di difesa che, pur avendo coordinamento centralizzato, possiede unità di attuazione distribuiti al fine di ridurre il *tempo di risposta*.

2.2. Il sistema immunitario innato

L'immunità innata rappresenta la prima linea di difesa contro il danno provocato all'organismo da parte di agenti estranei. È presente sin dalla nascita e si attiva in modo immediato limitando il danno fino a quando non interviene l'immunità specifica acquisita.

Il processo ha inizio quando il patogeno supera le barriere di difesa meccaniche e chimiche.

Barriere meccaniche

La cute è una barriera che ha la funzione di prima difesa contro le infezioni. Assume, pertanto, importanza fondamentale la cura della pelle e il bando di pratiche estetiche dannose. Poiché l'organismo non è isolato dall'ambiente esterno, vi sono delle protezioni in corrispondenza delle varie aperture presenti nel corpo.

Barriere chimiche

Alle barriere meccaniche si sommano le barriere chimiche. La pelle e le vie respiratorie, ad esempio, secernono antimicrobici, antibatterici sono presenti nella saliva, nelle lacrime, nelle secrezioni vaginali. Nello stomaco, l'acido gastrico rappresenta una difesa chimica contro gli agenti patogeni ingeriti e il cervello è protetto dalla barriera emato-encefalica.

Queste barriere costituiscono una protezione contro i disturbi, confermando la necessità della indipendenza del sistema dai disturbi quale fattore essenziale per l'ottenimento della regolazione.

Il processo di difesa della risposta innata ha inizio con il coinvolgimento degli attori del sistema immunitario che hanno origine dai *globuli bianchi* o *leucociti* (nome generico attribuito a una ricca famiglia di cellule con diverse denominazioni, funzioni e sedi di azione).

Una classifica funzionale dei leucociti comprende i seguenti gruppi:

- fagociti (ingeriscono le cellule bersaglio per fagocitosi, il gruppo comprende: neutrofili e macrofagi);
- cellule citotossiche (uccidono le cellule che attaccano, il gruppo comprende tipologie di linfociti);
- cellule che presentano l'antigene (APC, come macrofagi, alcuni linfociti e cellule dendritiche).

Le cellule dendritiche, in particolare, sono specializzate per la comunicazione perché danno l'allarme in presenza di corpi estranei.

Il sistema del complemento

La risposta immunitaria innata è *completata* dal sistema del complemento consistente in un meccanismo di difesa aspecifico dell'organismo che amplifica e potenzia la risposta immunitaria, anticipando e completando le funzioni specifiche degli anticorpi. Può tuttavia agire anche in assenza di una componente

anticorpale attivandosi in presenza di patologie autoimmuni, nelle quali sono prodotti anticorpi, che reagiscono contro organi e tessuti appartenenti all'organismo stesso, detti *autoanticorpi*.

Le proteine coinvolte dal complemento sono normalmente presenti ma inattive e solo in particolari condizioni vengono attivate. Si tratta di un complesso di circa 30 proteine circolanti nel sangue capaci di interagire reciprocamente tra di loro, con gli anticorpi e le membrane cellulari, determinando effetti biologici importanti come la lisi cellulare e quindi la uccisione della cellula.

Il MAC, processo di attacco alla membrana, consiste nell'azione svolta da alcune proteine del complemento che si inseriscono nella membrana della cellula del patogeno creando dei pori attraverso i quali entrano liquidi che, determinando il rigonfiamento, causano la morte per lisi.

Per impedire che il sistema del complemento si attivi contro cellule dell'organismo, sono messi in atto meccanismi di protezione basati su una serie di proteine denominate *regolatori dell'attività del complemento*. Tra queste sono rilevanti le proteine inibitori della formazione di MAC in quanto impediscono che l'attacco possa essere esercitato nei confronti delle cellule adiacenti a quelle infette direttamente interessate all'attacco.

2.3. *Il sistema immunitario adattativo*

Il secondo livello di difesa comprende una risposta immunitaria caratterizzata dalla memoria immunologica consistente nel ricordare e riconoscere gli agenti patogeni invasori dell'organismo anche a distanza di molti anni. La risposta è antigene-specifica e pertanto basata sul riconoscimento di specifici antigeni *non-self*.

La *risposta adattativa* viene distinta in *risposta cellula mediata* e in *risposta umorale* (fig. 4).

La risposta cellula mediata è caratterizzata dal coinvolgimento dei *linfociti*. Questi sono cellule in grado di riconoscere corpi estranei per mezzo di sensori che si trovano sulla loro superficie e costruiti durante il loro sviluppo: il linfocita costruisce un sensore diverso da tutti gli altri, per mezzo di meccanismi che modificano in maniera casuale una piccola porzione del suo DNA.

Ne deriva che ogni linfocita esprime un sensore diverso capace di legarsi a un antigene diverso per eliminarlo.

Il risultato è consentito dai marcatori, detti MHC (complesso maggiore di istocompatibilità), che contengono frammenti di antigene esposti dalle cellule bersaglio e pertanto riconosciuti come estranei.

I linfociti, ai quali si fa riferimento nel seguito, si distinguono in: *linfociti T*, *linfociti B*, *linfociti NK*.

I linfociti T, sono addestrati nel timo ed emigrano poi verso gli organi linfatici periferici pronti alla risposta immunitaria. Si suddividono in linfociti Thelper e linfociti Tcitotossici. La funzione dei primi è quella di coordinare la risposta immunitaria, i linfociti T tossici hanno invece il ruolo di eliminare le cellule infettate dal virus.

Tale attività è svolta anche attraverso il rilascio delle *citochine*.

Queste vengo spesso denominate *parole molecolari* in quanto sono alla base della comunicazione all'interno del sistema immunitario e fra questo e altre cellule e organi.

I meccanismi utilizzati per la comunicazione sono diversi poiché possono riguardare sia la comunicazione locale tra cellule che quella remota.

I linfociti NK, presenti dalla nascita, attaccano in particolare le cellule tumorali che non essendo dotate di marcatore MHC sfuggirebbero al controllo. Il loro intervento fa parte della risposta innata e porta alla morte cellulare per apoptosi (morte cellulare programmata).

Il sistema immunitario contiene solo pochi linfociti per ciascun tipo e, quando compare il patogeno corrispondente, si riproducono per rendere disponibile il numero necessario.

Tutti i linfociti generano citochine che richiamano linfociti che a loro volta rilasciano citochine.

Il processo evolve, quindi, in *reazione positiva*.

Soltanto una piccola parte dei linfociti è presente nel circolo sanguigno; la maggior parte si trova nei tessuti linfatici (milza, timo e linfonodi) da dove hanno la possibilità di intervenire prontamente in presenza di antigeni riducendo il *tempo di risposta*.

L'invasione da parte di un patogeno determina la rapidissima moltiplicazione dei linfociti e un conseguente ingrossamento dei linfonodi.

La risposta umorale è così denominata perché è mediata dagli *anticorpi* (fig. 5), che hanno sede nel sangue. Questi non sono tossici e non eliminano direttamente il patogeno ma sono specializzati nel rendere i corpi estranei più visibili alle cellule del sistema immunitario deputate alla eliminazione dei patogeni, come i macrofagi.

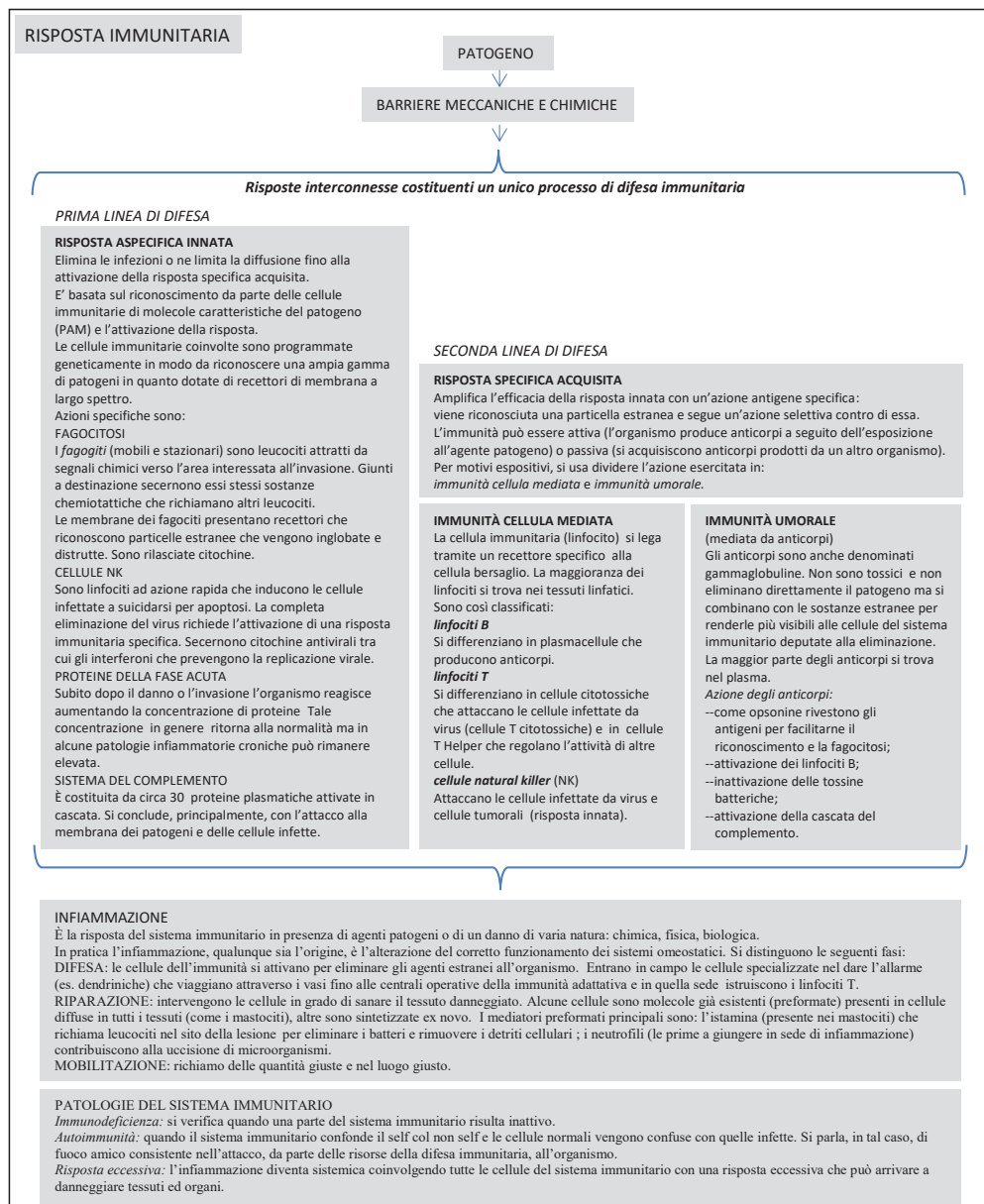


Fig. 4
Risposta immunitaria

La risposta del sistema immunitario, da un punto di vista funzionale, può essere suddivisa in due sottosistemi: 1) risposta del sistema immunitario innato, 2) risposta del sistema immunitario adattativo.

Tale distinzione ha solo valenza espositiva in quanto la complessità del sistema imporrebbe una trattazione per fasi parallele e in cascata. Il processo di attivazione della risposta immunitaria è infatti costituito da azioni e reazioni interconnesse e coordinate al fine dell'ottenimento di una risposta globale efficace.

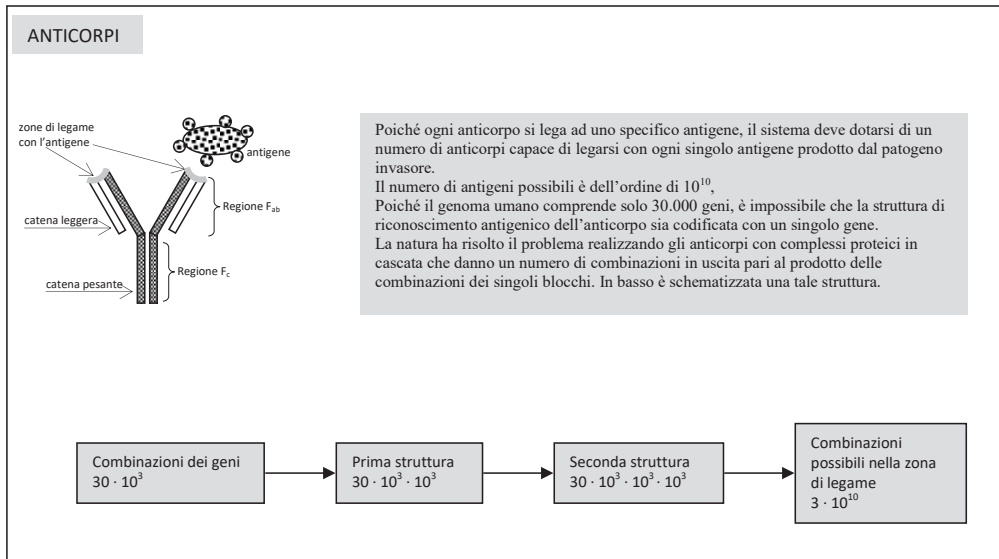


Fig. 5
Anticorpi

Gli anticorpi si suddividono in cinque classi denominate: IgG, IgA, IgE, IgM, IgD

La maggior parte degli anticorpi si trova nel plasma (75% di IgG). Sono molto efficaci nel contrastare i patogeni extracellulari prima che questi abbiano invaso la cellula dell'ospite.

Alcune azioni esercitate dagli anticorpi:

- attivazione dei linfociti B (la superficie del linfocita B è ricoperta da migliaia di anticorpi aventi la regione F_b inserita nella membrana – fig. 6 percorso B; la regione F_{ab} si lega agli antigeni flottanti nel liquido extracellulare; quando l'antigene è legato, si differenzia in plasmacellule che a loro volta producono altri anticorpi; alcune cellule B si differenziano in cellule memoria in attesa di una successiva invasione);
- come opsonine rivestono gli antigeni per facilitarne il riconoscimento e la fagocitosi;
- inattivazione delle tossine batteriche;
- attivazione del complemento.

Gli anticorpi hanno origine dai linfociti B che sono capaci di riconoscere un antigene grazie alla presenza di recettori sulla propria membrana esterna.

Quando durante il viaggio nel sangue, un linfocita B incontra il proprio antigene, marcato in modo corrispondente ai suoi sensori, prolifera diverse volte dando origine a cellule che si attivano in plasmacellule che sintetizzano gli anticorpi specifici che si legano agli antigeni segnalandone la pericolosità alle cellule preposte alla loro distruzione.

È da notare che gli anticorpi sono efficaci soltanto contro patogeni extracellulari, mentre se un patogeno si trova confinato all'interno di una cellula è necessario l'intervento dei linfociti T, capaci di riconoscere gli antigeni e distruggere le cellule infettate impedendone così la riproduzione.

L'interconnessione tra risposta innata e risposta acquisita appare evidente seguendo, nella fig. 6, le possibili vicende di un virus che, superate le barriere meccaniche e chimiche (A), si trova di fronte a diversi possibili percorsi. Nell'esempio trattato nella figura, i percorsi sono tre: (B) la cattura del virus è favorita dagli anticorpi preesistenti nell'organismo che agiscono come opsonine facilitando la cattura da parte dei macrofagi e neutrofili con conseguente fagocitosi; (C) alcuni virus diventano ospiti di cellule non infettandole, (D) altri virus diventano ospiti di cellule infettandole.

Ogni percorso è caratterizzato dall'azione svolta da cellule specializzate.

Ad esempio, le *cellule dendritiche*, che si incontrano, in particolare, seguendo il percorso B, hanno la funzione fondamentale di attivare i linfociti ma, a differenza dei macrofagi (e dei neutrofili), non sono in grado di fagocitare il virus. Sono specializzate, infatti, nella cattura del virus e, in seguito alla interazione, ne espongono dei frammenti sulla propria superficie (per questo appartengono al gruppo delle cellule APC).

In questo modo l'antigene esternalizzato viene riconosciuto dalle *cellule NK* (natural killer) o *linfociti NK*, descritti più avanti, che provvedono alla sua eliminazione.

La vaccinazione consiste nell'indurre uno stato di immunità contro i patogeni per proteggere l'individuo da una aggressione successiva e si fonda sulla *memoria immunologica* garantita dai linfociti B che si sono differenziati in cellule di memoria (fig. 6 punto ③).

2.4. L'inflammation

La risposta del sistema immunitario alla presenza di agenti patogeni o di un danno di natura chimica, fisica, biologica, si manifesta con l'inflammation.

Questa rappresenta la risposta della immunità innata e la premessa per l'innescare dei meccanismi della immunità acquisita. In pratica l'inflammation, qualunque sia l'origine, è l'alterazione del corretto funzionamento dei sistemi omeostatici.

Le fasi che si susseguono sono: *difesa-mobilitazione-riparazione*.

Nella difesa entrano in campo le cellule dendritiche, specializzate nel dare l'allarme, che viaggiano attraverso i vasi fino alle centrali operative della immunità adattativa (linfonodi e milza) e in quella sede istruiscono i linfociti T. A tal fine, arrivano prima i neutrofili (caratteristici della inflammation acuta), poi monociti e macrofagi sotto il controllo dei linfociti T.

Alcune delle cellule coinvolte sono molecole già esistenti (preformate) presenti in cellule diffuse in tutti i tessuti (come i mastociti), altre sono sintetizzate ex novo.

Tra i principali mediatori preformati vi sono:

- 1) l'*istamina* (presente nei mastociti, richiama leucociti nel sito della lesione per eliminare i batteri e rimuovere i detriti cellulari);
- 2) i *neutrofili*, primi a giungere nella sede dell'inflammation, contribuiscono alla uccisione dei micro organismi patogeni ma possono causare danno ai tessuti circostanti in caso di inflammation fuori controllo;
- 3) le *piastrine* (giocano un ruolo fondamentale nella emostasi);
- 4) le *citochine* (fondamentali per la comunicazione del sistema immunitario).

È utile, al fine di tentare di individuare i feedback, schematizzare l'intervento delle citochine secondo una cascata caratterizzata da tre salti:

- *primo salto*: richiamo dei globuli bianchi (dannosi se troppi);
- *secondo salto*: le citochine primarie (TNF-IL-1 e IL-6) attivano la produzione di molecole secondarie (chemochine) e l'attivazione dei linfociti T;
- *terzo salto*: produzione di *citochine antinfiammatorie* che hanno il compito di limitare la risposta.

Il trio TNF, IL-1, IL-6 non solo agisce localmente ma anche a livello dell'intero organismo.

La matrice sistemica può essere individuata nell'esempio riportato nella fig. 6.

Un modello del sistema immunitario

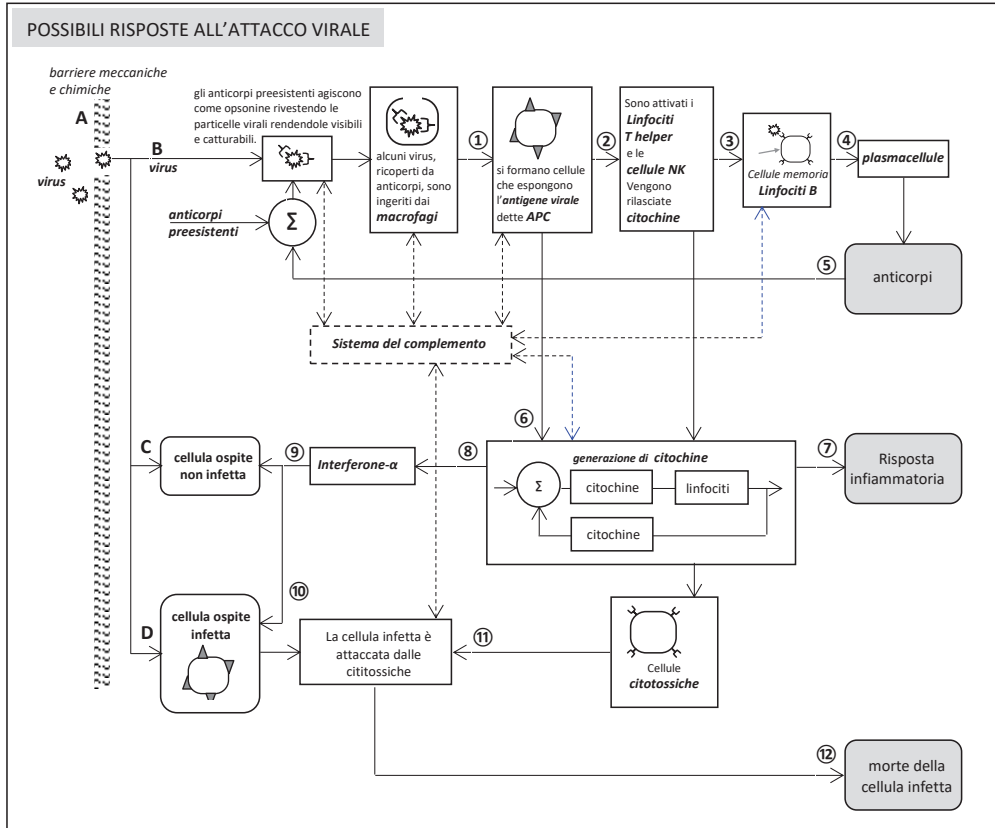


Fig. 6
Possibili risposte all'attacco virale

La schematizzazione riportata trae, in parte, ispirazione dalla fig. 24.13 di Silverthorn, 2013.

Il virus, superate le barriere meccaniche e chimiche (A), potrebbe seguire tre percorsi diversi denominati B, C e D.

Seguendo il percorso B, il virus va incontro agli anticorpi, preesistenti nell'organismo come conseguenza di precedenti infezioni o vaccinazioni, che agendo come opsonine lo rivestono rendendolo visibile ai macrofagi. Il virus è catturato dai macrofagi con la conseguente formazione di cellule che espongono sulla loro superficie l'antigene ①, l'attivazione dei linfociti e la produzione di citochine ②. Nel caso di una precedente esposizione, risulta la presenza di linfociti B, aventi funzione di memoria, che recano sulla loro superficie anticorpi antivirali ③. La seconda esposizione attiva queste cellule di memoria e promuove lo sviluppo delle plasmacellule ④ e la formazione degli anticorpi che vanno ad integra-

re quelli preesistenti prima dell'invasione virale ⑤. Lo stesso percorso B prevede una diramazione ⑥ che porta alla generazione di citochine (queste, a loro volta, richiamano linfociti che generano citochine) e alla risposta infiammatoria sistemica ⑦. Le citochine, oltre ad attivare la risposta infiammatoria, rafforzano la risposta antivirale per mezzo degli interferoni ⑧ che sostengono le cellule ospite non infette ⑨ e consentono la difesa delle cellule ospite infette ⑩. I linfociti T (cellule citotossiche) ⑪ attaccano le cellule infette portandole alla morte ⑫.

Il percorso C porta alle cellule ospite non infette. Il percorso D è relativo alle cellule ospite infettate che vengono attaccate dai linfociti T ed eliminate ⑫.

3.1. Disturbi del sistema immunitario

L'*immunodeficienza* si verifica quando una parte del sistema immunitario risulta inattivo per motivi ereditari o acquisiti. Le diete prive di un sufficiente apporto di proteine possono portare ad una diminuzione dell'attività svolta dai fagociti e della produzione delle citochine. La perdita del timo, in particolare, implica una grave immunodeficienza. L'AIDS e alcuni tipi di tumore sono causa dell'immunodeficienza acquisita che può anche essere effetto collaterale all'assunzione di farmaci o terapia radiante.

La *risposta eccessiva* si ha quando l'infiammazione diventa sistemica coinvolgendo tutte le cellule del sistema immunitario con una risposta che può arrivare a danneggiare tessuti ed organi. Il sistema vede antigeni contro i quali risponde con un numero elevatissimo di linfociti T, derivanti da una produzione enorme di citochine, con conseguenze tali da determinare la paralisi del sistema immunitario: si ha un blocco dipendente da una eccessiva accelerazione seguita da una eccessiva frenata. Con velocità di transizione elevatissima, in assenza quasi totale di continuità, che porta a ipotizzare, in termini sistemici, che c'è il passaggio da una attività in reazione negativa ad una che evolve in reazione positiva. Nella fig. 7 è riportata una semplificazione funzionale che affronta tale problematica.

L'*autoimmunità* si ha quando il sistema immunitario confonde il self col non self: le cellule normali sono confuse con quelle infette e attaccate. Si parla anche di fuoco amico, ossia di attacco contro l'organismo da parte delle risorse tipiche della difesa immunitaria.

Questo può accadere se la cellula normale presenta una piccola sequenza estranea al genoma originario ereditato. Tale frammento di sequenza estranea

Un modello del sistema immunitario

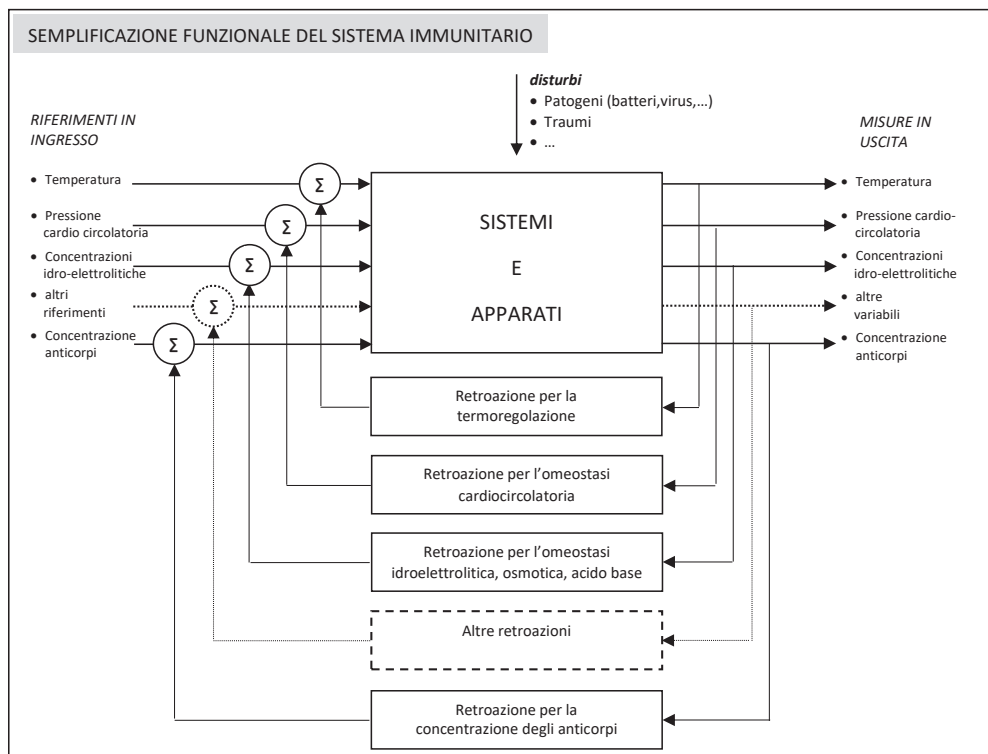


Fig. 7
Semplificazione funzionale del sistema immunitario

Per il corretto funzionamento è necessario che le varie regolazioni, con azioni tra di loro integrate, tengano sotto controllo le variabili cui sono dedicate. Quando intervengono disturbi, ogni regolazione deve essere tale da annullarne l'effetto. Se il disturbo non è costituito dalla variazione indesiderata di una variabile, ad esempio dalla variazione della temperatura esterna, ma da un agente patogeno, entra in gioco il sistema immunitario per fornire una risposta capace di annullare l'effetto provocato dal disturbo.

Gli anelli in retroazione possono essere individuati osservando i percorsi evidenziati nella fig. 6. Tuttavia, poiché questi sono interconnessi con collegamenti non evidenziati, risulta complesso individuare retroazioni su cui operare. L'unica che appare più evidente è quella relativa agli anticorpi (percorso B). In condizioni di normale risposta, la variabile in uscita potrebbe essere costituita dalla variazione della concentrazione degli anticorpi e la retroazione dovrebbe portare alla regolazione della loro concentrazione. La risposta eccessiva potrebbe essere vista come un processo di saturazione che potrebbe determinare il passaggio da una condizione di funzionamento in reazione negativa ad una in reazione positiva.

potrebbe derivare da geni virali che si sono integrati, per effetto di processi non noti, nel genoma originario o da oncogeni.

La sequenza estranea, *non self*, viene rilevata e segnalata alle cellule NK che si attivano rompendo la membrana della cellula normale (con sequenza alterata) determinando la penetrazione degli anticorpi, che altrimenti non avrebbero accesso, e la distruggono. Tale processo è denominato del *male minore*: se l'organismo infatti non riuscisse a distruggere le proprie cellule *non più self* potrebbe trovarsi ad accettare un *male maggiore*, come lo sviluppo di un cancro.

Per esempio, il sistema immunitario può eliminare parzialmente o totalmente la tiroide dando luogo a noduli degenerativi solidi o colliquativi, può distruggere le articolazioni (artrite reumatoide) ecc.

Ma l'attacco può, purtroppo, avvenire anche in assenza di alterazioni del genoma ereditato.

Il modo in cui i linfociti T riconoscono le cellule anomale e risparmiano quelle sane ancora non è completamente noto, soprattutto perché caratterizzato in modo diverso per ogni individuo.

In generale si parla di *tolleranza immunitaria* distinta in *centrale* e *periferica* (fig. 8).

4.1. Immunoterapia

L'immunoterapia è una stimolazione del sistema immunitario in modo che questo possa reagire con maggiore efficacia a una malattia.

Si è visto che i linfociti NK, riescono ad attaccare le cellule tumorali che non essendo dotate di marcatore MHC, sfuggirebbero ad altri linfociti e che questi possono sviluppare dei recettori che quando si legano con particolari molecole di membrana inibiscono l'azione della cellula immunitaria.

Le cellule tumorali possono presentare queste molecole inibitrici sulla loro superficie.

Su alcune cellule cancerogene, infatti, è stata scoperta la *molecola PD-L1* che si lega ai *recettori PD-1* dei linfociti T, bloccando la risposta immunitaria che dovrebbe eliminarle.

Dopo la prima generazione di farmaci immunoterapici anti PD-1 è allo studio la seconda generazione: molecole che agiscono su altri freni del sistema immunitario. Come il farmaco MBG453 che ha come bersaglio una proteina, la TIM-3, che quando è sovraespressa sui linfociti T, non permette a queste cellule

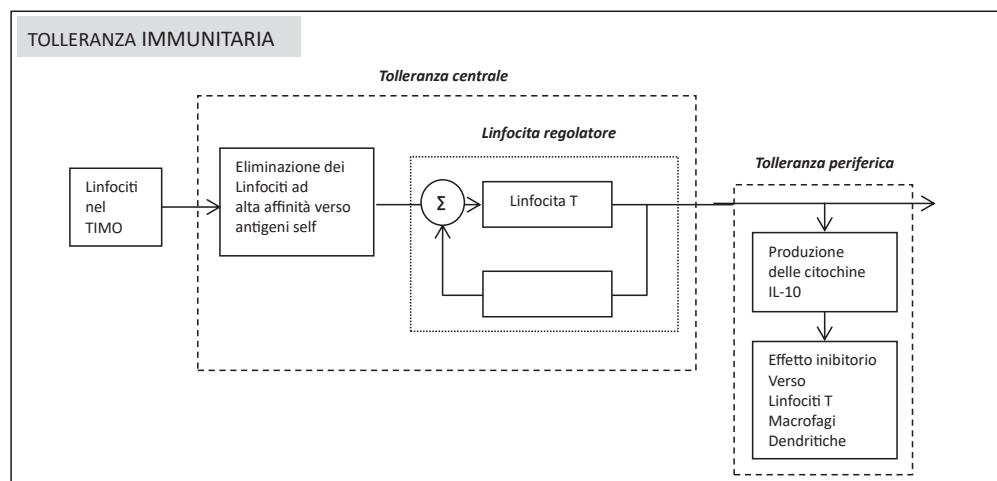


Fig. 8
Tolleranza immunitaria

La tolleranza centrale provvede ad eliminare i linfociti potenzialmente pericolosi prima che questi entrino in circolazione. Nel timo vengono eliminati i linfociti T ad alta affinità verso antigeni self e vengono prodotti i linfociti T regolatori che svolgono funzione immunosoppressiva.

La tolleranza periferica riguarda i linfociti in circolo ed è mediata dai linfociti regolatori che producono le citochine IL-10 aventi effetto inibitorio su tutti gli altri tipi di linfociti T, macrofagi e cellule dendritiche.

Tuttavia, tale funzione immunosoppressiva mentre limita lo sviluppo di malattie autoimmuni non è utile durante la risposta immunitaria verso patogeni. Alcuni autori ritengono che, dopo l'incontro con microrganismi infettivi, l'attività dei linfociti T regolatori possa essere ridotta da altre cellule per facilitare l'eliminazione dell'infezione.

di entrare in azione rendendo di fatto il tumore invisibile ai linfociti che devono aggredirlo. Se questi recettori non fossero attivati, il tumore potrebbe essere visto ed eliminato.

Bibliografia

- Al-Khalili J., McFadden J. (2015), *La fisica della vita*, Torino, Bollati Boringhieri.
- Boltzmann L. (1999), *Modelli matematici*, Torino, Universale Bollati Boringhieri.
- Boncinelli E. (2014), *Alla ricerca delle leggi di Dio*, Milano, Saggi Rizzoli.
- Capua I. (2020), *Il dopo*, Milano, Mondadori.
- Grassi F. (2015) (a cura di), *Fisiologia umana*, Milano, Poletto Editore.
- Mantovani A. (2011), *I guardiani della vita*, Milano, Baldini & Castoldi.
- (2020), *Il fuoco interiore*, Milano, Mondadori.
- Nardi G. (2020a), *Fisiologia per ingegneri*, Ntsmedia.
- (2020b), *Covid, una lettura interdisciplinare*, «Nuova Secondaria», n. 2.
- Prampero P.E. (a cura di) (2012), *Fisiologia dell'uomo*, Milano, edi-Ermes.
- Selmi C. (2020), *Fortissime per natura*, Milano, Piemme.
- Silverthorn D.U. (2013), *Fisiologia umana*, Torino, Pearson Italia.
- Spriet J.A., Vansteenkiste G.C. (1988), *Modelli matematici e simulazione*, Milano, Editoriale Jackson.
- Marchis V. (1988), *Modelli*, Torino, SEI.

Elenco degli autori

1. Michela Alfè, Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili (CNR-STEMS), Napoli.
2. Adele Arianni, Enea - Unità Tecnica Antartide, Roma
3. Mauro Boccolari, Dipartimento di Scienze Chimiche e Geologiche - Università di Modena e Reggio Emilia.
4. Alan Borsari, Associazione Radioimmaginaria Media Hub, APS, Castel Guelfo di Bologna.
5. Elisa Cannone, Istituto di Geoscienze e Georisorse (IGG), Pisa.
6. Lucilla Capotondi, Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR), Bologna.
7. Gabriela Carrara, Biblioteca Dario Nobili Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna.
8. Mila D'Angelantonio, Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (ISOFCNR), Bologna; Associazione Donne e Scienza, Roma.
9. Barbara Dragoni, Unità Relazioni con il Pubblico del CNR, Roma.
10. Vanessa Fabbri, Scuola primaria «Aurelio Saffi», IC6 Silvio Zavatti, Forlì.
11. Michele Ferrari, Associazione Radioimmaginaria Media Hub, APS, Castel Guelfo di Bologna.
12. Valentina Gargiulo, Istituto di Scienze e Tecnologie per l'Energia e la Mobilità Sostenibili (CNR-STEMS), Napoli.
13. Federico Giglio, Istituto di Scienze Polari, (ISP-CNR), Bologna.
14. Carmine Granata, Istituto di Scienze Applicate e Sistemi Intelligenti (ISASI-CNR), Pozzuoli (NA).
15. Pierina Ielpo, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR), Bologna.
16. Lorenzo Liberatore, Associazione Radioimmaginaria Media Hub, APS, Castel Guelfo di Bologna.
17. Cristina Mangia, Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC-CNR), Bologna; Associazione Donne e Scienza, Roma.
18. Silvana Mangiaracina, Biblioteca Dario Nobili, Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna.

19. Gabriele Marozzi, Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR), Bologna.
20. Stefania Marzocchi, Biblioteca Dario Nobili, Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna.
21. Silvia Mattoni, Unità Relazioni con il Pubblico del CNR, Roma.
22. Debora Mazza, Biblioteca Dario Nobili Area Territoriale di Ricerca del CNR di Bologna.
23. Roberta Mecozzi, Enea - Unità Tecnica Antartide, Roma.
24. Michele Muccini, Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN- CNR) AdR di Montelibretti (RM).
25. Giusto Nardi, già docente di sistemi automatici, scrittore e divulgatore scientifico.
26. Giorgio Pacifici, Giornalista Scientifico Tg2 Rai e Direttivo Ugis.
27. Maria Parisi, Scuola primaria «Aurelio Saffi», IC6 Silvio Zavatti, Forlì.
28. Antonella Pettoruso, Politecnico di Torino.
29. Lorenzo Pinna, Giornalista Scientifico e autore Superquark.
30. Eleonora Polo, Istituto per la Sintesi Organica e la Fotoreattività (ISOFCNR, UOS Ferrara).
31. Sabrina Presto, Istituto di Chimica della Materia Condensata e di Tecnologie per l'Energia (ICMATE-CNR), Padova; Associazione Donne e Scienza, Roma.
32. Mariangela Ravaoli, Istituto di Scienze Marine (ISMAR-CNR), Bologna; Associazione Donne e Scienza, Roma.
33. Roberta Ribera, Istituto per lo Studio dei Materiali Nanostrutturati (ISMN-CNR) AdR di Montelibretti (RM).
34. Paola Rivaro, Università di Genova, Dipartimento di Chimica Industriale, Genova
35. Giuliana Rubbia, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Milano; Associazione Donne e Scienza, Roma.
36. Elisa Sangiunetti, Scuola primaria «Aurelio Saffi», IC6 Silvio Zavatti, Forlì.

Consiglio Nazionale delle Ricerche



Opera realizzata in collaborazione con
l'Unità Relazioni con il Pubblico del CNR

Per sottoporre proposte di articoli:
<http://ojs.lexis.srl/index.php/QCS/about/submissions>

Questa rivista sottopone tutti i testi ricevuti a revisione paritaria.

I fascicoli sono acquistabili in versione cartacea
oppure scaricabili gratuitamente in formato digitale
dal sito
<http://www.rosenbergesellier.it/ita/riviste/quaderni-di-comunicazione-scientifica>

Pubblicazione semestrale
Autorizzazione del Tribunale di Torino n. 4 dell'11/2/2022

Direttore responsabile: Silvia Mattoni
Consiglio Nazionale delle Ricerche, Piazzale Aldo Moro 7, 00185 Roma

Proprietà: Lexis Compagnia Editoriale in Torino srl
via Carlo Alberto 55, 10123 Torino

© The Author(s) 2022

ISBN 9791259931702



Rosenberg & Sellier è un marchio registrato
utilizzato per concessione della società Traumann s.s.

Copertina e logo di Marco Lampis

