



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI ROMA TRE

Dipartimento di Matematica e Fisica
Corso di Laurea Magistrale in Fisica

Tesi di Laurea Magistrale

Il Teatro Scientifico come strumento di
didattica non formale per trattare la fisica
della materia nelle scuole primarie

Laureando

Alice Staccioli

Matricola 582705

Relatore

Prof.ssa Ilaria De Angelis

Correlatore

Prof. Settimio Mobilio

Anno Accademico 2023/2024

*Alla mia famiglia e alla mia compagnia
che mi hanno insegnato a inseguire
i miei sogni e renderli azione*

Indice

Introduzione	v
1 Dalla Fisica atomica fino alla struttura dei solidi	1
1.1 Storia dei modelli atomici	1
1.2 Fisica atomica	4
1.2.1 Soluzioni dell'equazione di Schrödinger per l'Atomo di Idrogeno .	5
1.2.2 Orbitali atomici	6
1.2.3 Dall'atomo di Idrogeno alla Tavola Periodica	8
1.3 Fisica Molecolare	10
1.3.1 Moti vibrazionali e di rotazione di una molecola	13
1.3.2 Legami molecolari	15
1.4 Trasposizione della trattazione di Fisica della materia di un livello univer- sitario per la scuola primaria	21
2 La Fisica nelle classi primarie	24
2.1 Il caso della materia	25
2.2 La struttura della materia nei libri di testo delle classi primarie	26
2.3 Come gli e le insegnanti trattano gli argomenti scientifici nelle loro classi	28
2.4 Progetti didattici rivolti agli allievi delle scuole primarie sui temi di struttura della materia	30
2.5 Progetti divulgativi sui temi di struttura della materia per le scuole primarie	30
2.6 Quale proposta per trattare la struttura della materia nelle scuole primarie	33
3 Il Teatro Scientifico	35

3.1	Perché il Teatro scientifico?	36
3.2	Esperienze di Teatro scientifico all'interno degli istituti scolastici	40
3.2.1	Esperienze di Teatro scientifico fuori dal contesto scolastico	43
4	Sperimentazione di una lezione - spettacolo all'interno del contesto scolastico	45
4.1	Ideazione e progettazione dell'intervento in classe	47
4.2	Realizzazione della lezione - spettacolo	49
4.3	Analisi della lezione - spettacolo svolta	53
5	Analisi dello spettacolo "<i>Siamo fatti della stessa materia</i>"	56
5.1	Metodo e linguaggi utilizzati in " <i>Siamo fatti della stessa materia</i> "	56
5.1.1	Il Teatro Fisico	59
5.2	Scelte registiche e cambiamenti attuati nel portare dentro un contesto scolastico lo spettacolo	59
5.3	" <i>Siamo fatti della stessa materia</i> " commento della messa in scena e analisi dalla trasposizione degli argomenti dalla teoria alla didattica per le classi primarie	61
5.3.1	Sezioni di copione commentato	62
5.3.2	Realizzazione della scheda dello spettacolo	67
	Conclusioni	70
	Appendice A	73
	Copione dello spettacolo " <i>Siamo fatti della stessa materia</i> "	73
	Bibliografia	81

Introduzione

Portare la didattica della fisica nelle classi della scuola primaria è una sfida affascinante per stimolare la curiosità scientifica dei bambini. Non esistono programmi nazionali che gli insegnanti sono obbligati a seguire, ma le Indicazioni Nazionali per il curricolo, fissano i traguardi per lo sviluppo delle competenze e gli obiettivi di apprendimento per ciascuna disciplina. L'autonomia didattica si sostanzia nella scelta libera e programmata di metodologie, strumenti, organizzazione e tempi di insegnamento, da adottare nel rispetto della possibile pluralità di metodologie, compresa l'eventualità di insegnamenti aggiuntivi, in base alle esigenze formative degli studenti. Ogni insegnante può così scegliere le metodologie che ritiene opportune, rispettando gli obiettivi nazionali. L'insegnamento delle scienze, secondo tali indicazioni, per risultare efficace, dovrebbe essere basato sull'esperienza diretta degli alunni per stimolare il loro spirito di ricerca e la loro curiosità.

È proprio facendo leva sulla curiosità che in questo lavoro di tesi ho sviluppato una proposta per avvicinare i bambini alla fisica e al ragionamento scientifico già a partire dalla scuola primaria, dove oggi la fisica viene ancora poco trattata. Ho scelto di affrontare la domanda "Come è fatta la materia?" e attorno a questo quesito è stato realizzato un progetto di Teatro Scientifico da affiancare alla didattica formale. La pedagogia teatrale è uno strumento che, grazie alla sua versatilità, riesce a integrare l'insegnamento tradizionale, usando canali di apprendimento alternativi, coinvolgenti e stimolanti su più livelli. Ho scelto di adottare un approccio didattico innovativo, che sfrutta le potenzialità del teatro, per superare le difficoltà legate alla comprensione di concetti astratti. La proposta di Teatro Scientifico mira a sviluppare nei bambini un atteggiamento positivo verso la scienza, stimolando la loro creatività e capacità di

problem solving. Attraverso l'interazione diretta con il pubblico, lo spettacolo crea un ambiente di apprendimento dinamico e collaborativo, dove i bambini possono fare domande, esprimere le loro idee e partecipare attivamente alla costruzione della conoscenza. Per lo spettacolo teatrale ho scelto il tema della materia, che diventa così la base sulla quale i bambini possono non solo imparare qualcosa, ma anche divertirsi ed emozionarsi. Lo spettacolo è stato strutturato in modo da coinvolgere i bambini attraverso storie e personaggi che rappresentano gli elementi della materia, rendendo i concetti complessi accessibili e memorabili. Ogni scena dello spettacolo è progettata per introdurre e spiegare i componenti fondamentali della materia - atomi, molecole ed elementi - utilizzando un linguaggio semplice e visivo, supportato da attività interattive che permettono ai bambini di sperimentare direttamente quanto appreso.

Questa tesi è sviluppata nel seguente modo: il Capitolo 1 riporta gli argomenti scientifici trattati all'interno dello spettacolo teatrale da un punto di vista più rigoroso e formale, ovvero vengono trattati i modelli atomici, la fisica atomica e la fisica molecolare; il Capitolo 2 ripercorre la ricerca svolta sul livello di insegnamento degli argomenti più legati alla Fisica e al tema della materia nelle classi primarie; all'interno del Capitolo 3 viene discusso il metodo del Teatro Scientifico e vengono riportati alcuni esempi del suo utilizzo come strumento didattico realizzati in Italia; nel Capitolo 4 viene analizzata la lezione - spettacolo svolta in una classe della scuola primaria per iniziare a sperimentare la proposta sviluppata in questo progetto; l'ultimo capitolo, il numero 5, analizza lo spettacolo teatrale che questo lavoro di tesi propone di adottare come strumento di didattica non formale per la scuola primaria, "*Siamo fatti della stessa materia*".

Capitolo 1

Dalla Fisica atomica fino alla struttura dei solidi

1.1 Storia dei modelli atomici

Fino alla fine dell'Ottocento le indagini sulla struttura della materia venivano svolte principalmente dai chimici, che avevano accolto le ricerche e le teorie di Dalton (1766 - 1844) e di Avogadro (1776 - 1856), per analizzare la composizione delle molecole e la classificazione delle particelle. Furono però gli studi portati avanti dai fisici sull'elettricità, sul comportamento dei gas rarefatti e dei raggi catodici, che portarono ad elaborare i primi modelli atomici: era necessario capire la struttura interna dell'atomo. [10] In quegli anni gli studi si concentrarono sul comportamento dei gas rarefatti sottoposti a scariche elettriche: ponendo elettrodi all'interno di un tubo contenente un gas rarefatto si poteva notare che nella zona davanti al catodo veniva prodotta fosforescenza, mentre se nella zona davanti si poneva un oggetto, questo creava una zona d'ombra; da questo comportamento venne presunta l'esistenza di raggi all'interno del tubo. Una delle figure più significative in tale contesto fu William Crookes (1832 - 1919) che perfezionò la tecnica del vuoto, da utilizzare all'interno dei tubi, e che nel 1879 propose un'interpretazione dei raggi catodici corpuscolare: i fenomeni di fluorescenza si manifestavano a conseguenza degli urti delle particelle dotate di carica elettrica con il catodo. Ma per le particelle materiali dovevano valere le leggi sui cammini liberi medi, che non risultavano confermate dalle

misurazioni sperimentali.

Joseph John Thomson (1850 - 1940) direttore del Cavendish Laboratory di Cambridge realizzò degli esperimenti per concludere queste controversie e nel 1897 si accorse che la radiazione catodica risultava deviata anche in presenza di un campo elettrico e per tale motivo i corpuscoli che la componevano dovevano essere cariche elettriche negative, chiamati poi successivamente elettroni. Da questo risultato, Thomson cominciò a formulare la sua teoria del modello atomico e nel 1899 presentò una relazione al congresso di Dover della British Association in cui dichiarò che l'atomo contiene un gran numero di corpuscoli, il cui insieme di particelle è un sistema elettricamente neutro. E nel 1904 pubblicò una memoria scientifica, "On the structure of the atom", in cui descrisse l'atomo come una sfera diffusa di carica positiva al cui interno si muovono un certo numero di elettroni lungo anelli concentrici, questo venne chiamato modello atomico a panettone [4]. Questo modello riuscì effettivamente a spiegare le frequenze delle righe spettrali, emesse dai vari atomi come frequenze di oscillatori armonici, ma non spiegava le somiglianze tra i raggi catodici e i raggi emessi da elementi radioattivi. In questo contesto, gli esperimenti di Ernest Rutherford (1871 - 1973) si contrapposero al lavoro di Thomson, egli bombardò sottilissimi fogli d'oro con radiazione α e studiò l'angolo con cui essi venivano deviati attraversando i fogli d'oro. Rutherford mostrò che solo una parte delle particelle α subiva la deviazione e questo poteva essere spiegato ipotizzando l'esistenza di un nucleo centrale, molto più piccolo dell'estensione dell'atomo, contro cui le particelle α , che venivano sparate, urtavano. Partendo da questa ipotesi egli presentò nel 1911 un modello di atomo in cui era presente un nucleo massiccio centrale, carico positivamente e attorno a cui gli elettroni vi girano; questo modello venne chiamato modello planetario dell'atomo. Quest'ultimo, però, presentava ancora delle problematiche, infatti, gli elettroni avrebbero dovuto perdere energia per irradiazione elettromagnetica e questo avrebbe reso l'atomo instabile; ma se l'atomo fosse instabile questo renderebbe instabile tutta la materia macroscopica. [4]

In quegli anni il dialogo si concentrò sulle teorie proposte da Planck e da Einstein e anche la discussione riguardo il modello atomico venne influenzata dai concetti quantistici. Si cominciò ad ipotizzare come i modelli di costituzione dell'atomo dovessero contenere la costante di Planck h o la quantizzazione del momento angolare. Infine, fu Niels Henrik

David Bohr (1885 - 1962) a elaborare un modello che contenesse queste nuove teorie e che risolvesse le problematiche scaturite dai vecchi modelli; egli applicò il modello planetario di Rutherford alla quantizzazione dell'energia introdotta da Planck e così riuscì a giustificare lo spettro atomico dell'Idrogeno. Nel 1913 pubblicò una memoria "On the constitution of atoms and molecules" in cui propose un modello atomico basato su diverse ipotesi [4]:

- Il sistema atomico può esistere solo in determinati stati stazionari, caratterizzati da orbite circolari con determinati valori discreti della sua energia; lungo queste orbite gli elettroni si muovono senza irraggiare.
- Quando l'elettrone si trova nella prima orbita, si dice che è nello stato fondamentale, caratterizzato da minima energia. Per passare ad uno stato eccitato, l'elettrone deve assorbire una quantità di energia discreta, pari alla differenza di energia tra il livello di partenza e quello di arrivo $\Delta E = h\nu$ (dove h è la costante di Planck); all'inverso, nel caso in cui l'elettrone irraggia questo corrisponde ad una transizione verso lo stato ad energia più bassa.
- Il movimento dell'elettrone descrive orbite circolari attorno al nucleo, soddisfacendo la condizione che il modulo del momento angolare rispetto al nucleo è un multiplo intero della costante $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; viene introdotta la condizione di quantizzazione del momento angolare orbitale dell'elettrone che condiziona anche i valori che possono assumere il raggio delle orbite e l'energia totale, che risultano, quindi, quantizzati anch'essi. [5]

Questo modello venne poi perfezionato da Arnold J. Sommerfeld nel 1916 [4], il quale introdusse gli orbitali elettronici di forma ellittica e mostrò come gli stati dell'atomo di idrogeno non dipendessero solo dal numero quantico principale (n), che descrive i livelli energetici consentiti, ma anche dal numero quantico azimutale (l) e magnetico (m). Questo venne dedotto attraverso esperimenti di spettroscopia che rilevarono la struttura fine dello spettro a righe, ciascuna riga appariva composta da una serie di righe sottili, il che indicava presumibilmente la presenza di sottolivelli. Le orbite ellittiche vennero introdotte accanto a quelle circolari e caratterizzate dalla stessa energia; il tipo di orbite permesse per ogni livello energetico è definito dal numero quantico secondario l ; il

terzo numero quantico m , quello magnetico, venne introdotto per spiegare la presenza di multipletti, sottolivelli energetici, nelle righe spettrali per effetto di un campo magnetico esterno, l'effetto Zeeman. Il modello di Bohr e Sommerfeld presentava, però, ancora dei limiti, non essendo in grado di spiegare molti dei problemi della spettroscopia atomica. Nel 1924 Luis Victor De Broglie ipotizzò l'esistenza di un dualismo onda - particella per la materia, assumendo che ad ogni particella dovesse essere associata una funzione d'onda. Il comportamento ondulatorio di un fascio di elettroni fu poi confermato sperimentalmente pochi anni più avanti, gettando le basi della meccanica ondulatoria. Questa teoria fu poi sviluppata da Erwin Shrodinger (1887 - 1961), fondando le basi della teoria sulla soluzione di un'equazione differenziale al secondo ordine, l'equazione di Shrodinger.

1.2 Fisica atomica

A questo punto, diventa necessario entrare nel dettaglio della trattazione scientifica per descrivere la struttura di un atomo. Si considera un sistema composto da un nucleo e da elettroni e si descrive lo stato del sistema mediante la funzione d'onda $\Psi(\mathbf{r}, t)$, che ci fornisce la probabilità di misurare l'elettrone in un punto. Per conoscere l'evoluzione del sistema si deve risolvere l'equazione di Shrödinger

$$H\Psi = E\Psi \quad (1.1)$$

e trovare soluzioni alle autofunzioni e gli autovalori energetici associati, dove H è l'Hamiltoniana ed E l'energia del sistema. Trascurando gli effetti relativistici, escludendo l'azione di un campo esterno e utilizzando le unità atomiche ($m_e = e = \hbar = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 1$) è possibile scrivere l'Hamiltoniana del sistema come somma dei termini cinetici e potenziali relativi alla parte elettronica, alla parte nucleare e un termine potenziale misto [12]:

$$H = \underbrace{\sum_{I=1}^{N_n} \frac{\nabla_{\mathbf{R}_I}^2}{2M_I}}_{T^n} + \underbrace{\sum_{I=1}^{N_n} \sum_{J>I}^{N_n} \frac{Z_I Z_J}{|\mathbf{R}_I - \mathbf{R}_J|}}_{V^{nn}} - \underbrace{\sum_{i=1}^{N_e} \frac{\nabla_{\mathbf{r}_i}^2}{2}}_{T^e} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_e} \sum_{j>i}^{N_e} \frac{1}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{r}_j|}}_{V^{ee}} + \underbrace{\sum_{i=1}^{N_e} \sum_{J=1}^{N_n} \frac{-Z_J}{|\mathbf{r}_i - \mathbf{R}_J|}}_{V^{ne}} \quad (1.2)$$

Nella (1.2) \mathbf{R} rappresenta le coordinate nucleari, \mathbf{r} le coordinate elettroniche, N_n il numero di nuclei, N_e il numero di elettroni, M la massa nucleare e Z la carica nucleare. Tranne, però, che in alcuni casi non è possibile risolvere l'equazione di Schrödinger analiticamente, bisogna considerare delle approssimazioni.

1.2.1 Soluzioni dell'equazione di Schrödinger per l'Atomo di Idrogeno

Un caso di interesse è quello dell'atomo di Idrogeno, perché contenendo un solo elettrone rende risolvibile analiticamente l'equazione. Considerando, quindi, il sistema composto da un singolo elettrone a distanza r dal nucleo e centrando l'origine delle coordinate nella posizione del nucleo, l'Hamiltoniana dell'atomo di idrogeno assume la forma

$$\mathcal{H} = -\frac{\nabla_{\mathbf{r}}^2}{2} - \frac{Z}{|\mathbf{r}|} \quad (1.3)$$

Dato che il problema è sfericamente simmetrico, trasformiamo il sistema di coordinate in coordinate sferiche $x, y, z \rightarrow r, \phi, \theta$ e sotto questa trasformazione l'operatore di Laplace si trasforma nel seguente modo

$$\nabla_{\mathbf{r}}^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \underbrace{\left(\frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{1}{\tan \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right)}_{L^2} \quad (1.4)$$

dove L^2 è l'operatore momento angolare. Dato che l'operatore Hamiltoniana può essere suddiviso nella sua parte radiale e nella sua parte angolare, è possibile dividere allo stesso modo anche la funzione d'onda, $\Psi(r, \phi, \theta) = R_{nl}(r)Y_{lm_l}(\phi, \theta)$. $Y_{lm_l}(\phi, \theta)$ sono chiamate le armoniche sferiche e dipendono da n , numero quantico principale, da l , numero quantico orbitale che deve essere compreso tra $[0; n - 1]$ e da m_l , numero quantico magnetico, con $|m_l| \leq l$. Le armoniche sferiche sono le autofunzioni dell'operatore L^2 e i cui autovalori valgono $l(l + 1)$. A questo punto è possibile riscrivere l'equazione di Schrödinger:

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{l(l + 1)}{2r^2} + \frac{Z}{r} \right] \Psi(r, \phi, \theta) = E\Psi(r, \phi, \theta) \quad (1.5)$$

Questa equazione è risolvibile analiticamente e la sua soluzione è strutturata in una serie di autovalori energetici $E_n = -\frac{Z}{2n^2}$, discretizzati dal numero intero quantico

principale $n = 1, 2, 3, \dots$, e di autofunzioni $\Psi(r, \phi, \theta) = R_{nl}(r)Y_{lm_l}(\phi, \theta)$. La parte radiale è esprimibile attraverso i polinomi associati di Laguerre $L_q^p(x)$:

$$R_{nl}(\mathbf{r}) = -\sqrt{\left(\frac{2Z}{n}\right)^3 \frac{(n-l-1)!}{2n[(n+l)!]^3}} e^{-\frac{Zr}{n}} \left(\frac{2Zr}{n}\right)^l L_{n+l}^{2l+1}\left(\frac{2Zr}{n}\right) \quad (1.6)$$

$$L_p^q(x) = \frac{d^q}{dx^q} e^x \frac{d^p}{dx^p} e^{-x} x^p$$

mentre la parte angolare è esprimibile attraverso i polinomi ortogonali di Legendre $P_\lambda^\mu(x)$:

$$Y_{lm_l}(\theta, \phi) = (-1)^{m_l} \left(\frac{2l+1}{4\pi} \frac{(l-m_l)!}{(l+m_l)!}\right)^{1/2} P_l^{m_l}(\cos\theta) e^{im_l\phi} \quad (1.7)$$

$$P_n(x) = (2^n n!)^{-1} \frac{d^n}{dx^n} [(x^2-1)^n]$$

1.2.2 Orbitali atomici

Il numero quantico principale classifica i livelli energetici in cui sono collocati gli elettroni e dato che gli autovalori E_n non dipendono né da l , né da m_l , allora i livelli energetici sono degeneri in questi due numeri quantici e la degenerazione dovrebbe valere n^2 . In realtà, la trattazione non è completa, perché si deve introdurre un quarto numero quantico, lo spin, che è un momento angolare meccanico intrinseco dell'elettrone; questo può assumere due valori $m_s = \pm 1/2$, il che comporta un ulteriore splitting in un numero doppio di livelli. Questo splitting porta una variazione nella degenerazione associata a ciascun livello, che sale a $2n^2$.

Questo significa che ad ogni livello energetico sono associati $2n^2$ possibili stati dell'elettrone, soluzione delle autofunzioni Ψ_{nlm_l} .

Nella figura 1.1 si possono osservare le soluzioni delle funzioni d'onda nella sua componente radiale. Le funzioni d'onda degli elettroni atomici sono rappresentate da orbitali. Ciascun livello energetico contiene un orbitale di tipo **s** (corrispondente a $l = 0, m_l = 0$); a partire dal secondo livello energetico ciascun livello contiene tre orbitali **p** ($l = 1, m_l = 3$); dal terzo livello energetico, ciascun livello contiene 5 orbitali **d** ($l = 2, m_l = 5$) e, infine, dal quarto livello energetico ciascun livello contiene 7 orbitali **f** ($l = 3, m_l = 7$). Ciascun orbitale può contenere al massimo due elettroni e ciascun gruppo di orbitali deve essere riempito completamente prima di poter riempire quello

successivo. In assenza di campo magnetico esterno e a $T = 0$ l'elettrone dell'atomo di idrogeno si trova nello stato 1s, lo stato fondamentale elettronico. Tutti gli altri autovalori si riferiscono a stati non occupati da elettroni, chiamati stati eccitati.

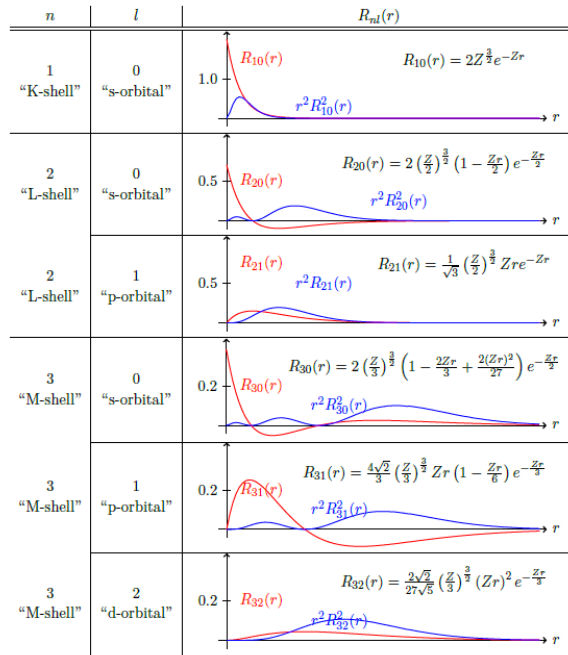


Figura 1.1: Funzioni d'onda radiali per l'atomo di idrogeno R_{nl}

Nella figura 1.2 viene rappresentata la forma degli orbitali, soluzioni della parte angolare delle autofunzioni.

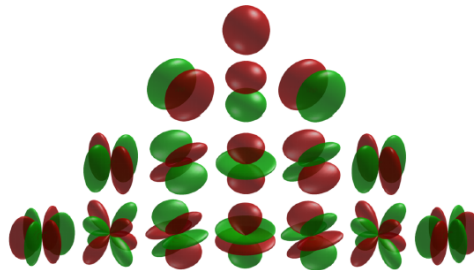


Figura 1.2: Forme delle armoniche sferiche Y_{lm}

A questo punto per poter descrivere completamente un elettrone si deve inserire la

dipendenza dallo spin all'interno dell'equazione di Schrödinger e per tale motivo si definì una funzione di spin da introdurre all'interno delle soluzioni alle autofunzioni.

$$\Psi_{nlm_l 1/2m_s}(r, \theta, \phi) = R_{nl}(r)Y_{lm_l}(\theta, \phi)\chi_{1/2m_s} \quad (1.8)$$

dove $\chi_{1/2m_s}$ è un termine vettoriale, che dipende dai due valori di m_s e si ha:

$$\chi_{1/2 1/2} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \chi_{1/2 -1/2} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1.9)$$

Conoscendo, quindi, la posizione e lo spin di un elettrone è possibile descrivere il sistema di un atomo idrogenoide.

1.2.3 Dall'atomo di Idrogeno alla Tavola Periodica

Se si vuole passare da una trattazione sull'atomo di Idrogeno ad una trattazione di un atomo generico, bisogna introdurre il Principio di esclusione di Pauli, il quale enuncia che due elettroni all'interno di un atomo non possono occupare lo stesso stato quantico, ovvero non possono avere gli stessi numeri quantici (n, l, m, m_s) . Questo significa che fissato nlm ciascun orbitale può contenere al massimo due elettroni che assumono spin opposto. Prendiamo per esempio l'Ossigeno, che ha otto elettroni, i primi due elettroni occuperanno il livello energetico $1s^2$, ma devono acquisire spin opposto; altri due elettroni si posizioneranno allo stesso modo dei primi due ma nel livello $2s^2$; gli ultimi quattro elettroni si posizioneranno nel livello $2p^6$, occupando inizialmente i tre orbitali presenti con un elettrone ciascuno e, infine, il quarto elettrone completerà uno di questi orbitali; il tutto viene mostrato in figura 1.3.

La disposizione degli elettroni negli orbitali atomici costituisce la configurazione elettronica di un atomo, da cui dipendono alcune delle proprietà delle molecole che questi vanno a comporre. Il numero di elettroni e protoni all'interno di un atomo caratterizza in maniera univoca un elemento, che vengono ordinati e schematizzati all'interno della Tavola Periodica di Mendeleev; gli atomi vengono organizzati in righe e colonne in maniera progressiva sulla base del loro numero atomico Z e del numero di elettroni presenti all'interno degli orbitali atomici. Gli elettroni, come già detto, sono organizzati in strati, o *shell* concentriche, associabili ad orbitali di numero quantico principale n e

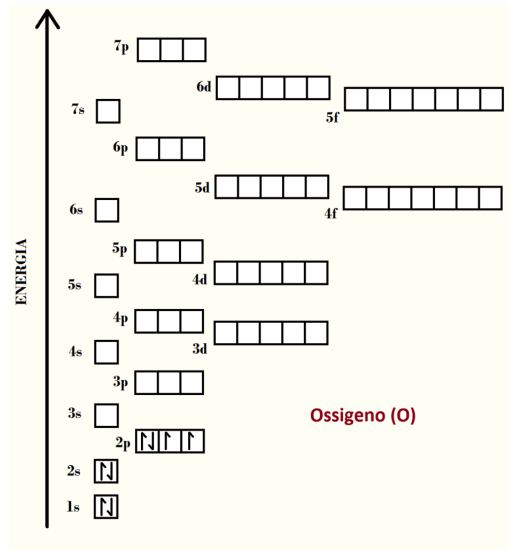


Figura 1.3: Configurazione elettronica dell'atomo di Ossigeno

numeri quantici angolari l, m_l, m_s e più n è grande, più tali orbitali risultano estesi. [3]
 All'interno della Tavola Periodica degli elementi si possono osservare notevoli regolarità,

		1		2												3		4		5		6		7		8											
1		1	H																						2	He											
2		3	Li	4	Be																																
3		11	Na	12	Mg																																
4		19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
5		37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	I	54	Xe
6		55	Cs	56	Ba	57	La	58	Hf	59	Ta	60	W	61	Re	62	Os	63	Ir	64	Pt	65	Au	66	Hg	67	Tl	68	Pb	69	Bi	70	Po	71	At	72	Rn
7		87	Fr	88	Ra	89	Ac	90	Unq	91	Unp	92	Unh	93																							

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
140	141	144	145	150	152	157	158	163	165	167	169	173	175
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw
232	231	238	237	242	243	247	249	251	254	253	256	254	257

Figura 1.4: Tavola Periodica degli elementi di Mendeleev

infatti, gli elettroni di un stessa colonna, o gruppo, hanno sì diverso numero atomico Z e

diverso numero di orbitali interni occupati, chiamati *shell* di core, ma si può osservare come essi condividano il numero di elettroni e la configurazione elettronica all'interno degli orbitali esterni, chiamati *shell* di valenza. Tralasciando i metalli di transizione, che si trovano al centro della tavola e sono caratterizzati da elettroni di valenza in orbitali *d* e *f*, gli elettroni sono organizzati in otto gruppi ed infatti sono necessari otto elettroni per completare uno shell di valenza *sp*. [2]

Bisogna considerare la struttura a *shell* dell'atomo distinguendo gli elettroni più vicini al nucleo, cosiddetti di core, fortemente legati ad esso e quelli più esterni, detti di valenza. Per descrivere, però, analiticamente atomi con più di un elettrone non è possibile utilizzare esclusivamente il modello idrogenoide, questo, infatti, riesce a descrivere la valenza degli atomi, ma trascura completamente l'interazione elettrone - elettrone. Trascurare l'interazione elettrone - elettrone significherebbe, però, trascurare effetti quantitativi per le proprietà fisico - chimiche degli elementi *sp*. Bisogna, quindi, assumere dei modelli intermedi tra quello idrogenoide e la soluzione esatta all'equazione di Schrödinger che approssimino abbastanza bene i comportamenti reali degli elementi. Alla base di questi modelli si assume con buona approssimazione che l'interazione tra gli elettroni all'interno di un atomo può essere sostituita con la sua media; un elettrone sarebbe, quindi, soggetto al campo esterno del nucleo attrattivo, e a un campo repulsivo causato dalla media del potenziale elettrostatico degli altri elettroni. Questo campo repulsivo scherma il nucleo, riducendone l'attrazione dovuta al potenziale coulombiano, e gli elettroni di core, che rimangono fortemente legati ad esso, non partecipano alla formazione dei legami, per tale motivo possono essere trascurati e vengono, invece, considerati solo gli elettroni di valenza.

1.3 Fisica Molecolare

Una volta completata la descrizione sugli atomi il passo successivo, oggetto di questo paragrafo, è la trattazione di ciò che succede quando due o più atomi si uniscono; gli atomi tendono, infatti, a non rimanere isolati, ma si legano fra di loro formando molecole. Questa può essere composta da più atomi dello stesso elemento o da elementi differenti che si uniscono formando un'unità elettricamente neutra.

In questo paragrafo si è interessati alla descrizione della dinamica molecolare al fine

di studiare i legami che governano il comportamento delle molecole. In questo caso, la descrizione analitica risulta più complessa, infatti, oltre alle forze repulsive tra gli elettroni e quelle attrattive tra il nucleo e gli elettroni, bisogna anche considerare la forza repulsiva tra i nuclei stessi. Questo richiede la necessità di introdurre un'approssimazione per risolvere analiticamente il problema.

L'Hamiltoniana di un sistema formato da N nuclei e M elettroni ha la forma:

$$H = - \sum_{i=1}^N \frac{\nabla_i^2}{2M_I} - \sum_{j=1}^M \frac{\nabla_j^2}{2m_j} + \frac{1}{2} \sum_{i,j} \frac{Z_i Z_j}{|\mathbf{R}_i - \mathbf{R}_j|} + V^*(\mathbf{R}_i, \mathbf{r}_j) \quad (1.10)$$

dove l'ultimo termine tiene conto dell'attrazione esercitata sugli elettroni dai nuclei e dell'interazione fra gli elettroni stessi. Possiamo fin dall'inizio supporre che il centro di massa della molecola coincida con il centro di massa dei nuclei, data la grande differenza di massa tra i nuclei e gli elettroni. In questa circostanza sul centro di massa non agiscono forze e andando a risolvere l'equazione di Schrödinger, potremmo scindere le autofunzioni dell'Hamiltoniana relativa al centro di massa da una parte dipendente dalla posizione degli elettroni rispetto al centro di massa e dalle coordinate dei nuclei $\Psi(\mathbf{R}, \mathbf{r})$. Resta così da risolvere un'equazione di Schrödinger in due variabili a cui sono associate masse molto diverse e per tale motivo è necessario introdurre una semplificazione, ovvero l'*approssimazione di Born e Oppenheimer*. Questa permette di disaccoppiare i moti dei nuclei da quelli elettronici, basandosi sulla grande disparità delle masse tra questi due elementi: fissato un certo stato elettronico i , le funzioni d'onda molecolari sono il semplice prodotto fra le funzioni d'onda elettronica a ioni fissi $\psi_i^e(\mathbf{r}, \mathbf{R})$ e una funzione d'onda nucleare, detta di Born Oppenheimer, $F_{iv}^N(\mathbf{R})$. [3]

$$\Psi(\mathbf{R}, \mathbf{r}) \simeq \Phi_{iv}(\mathbf{R}, \mathbf{r}) = F_{iv}^N(\mathbf{R}) \psi_i^e(\mathbf{r}, \mathbf{R}) ; E \simeq E_{iv}^{BO} \quad (1.11)$$

Con questa costruzione si può identificare un potenziale nucleare efficace $v_i(R)$ che sommato all'energia cinetica nucleare definisce un'Hamiltoniana nucleare chiamata Hamiltoniana di Born Oppenheimer, \hat{H}_i^{BO} .

È però importante specificare che questa approssimazione vale solo per stati elettronici ben distanziati in energia ed eccitazioni nucleari ad energia abbastanza bassa da non permettere il salto alla molecola da uno stato elettronico all'altro. Il potenziale nucleare efficace, mostrato in figura 1.5, è relativo allo stato fondamentale elettronico e ai primi

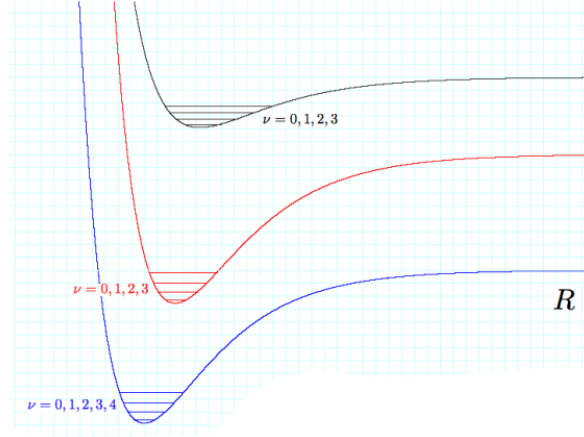


Figura 1.5: Potenziale nucleare efficace in approssimazione di Born Oppenheimer per i primi tre stati elettronici

due stati elettronici eccitati. Questi risultano ben distanziati, per cui l'approssimazione di Born Oppenheimer è valida. Il potenziale efficace nucleare presenta un minimo, condizione necessaria per avere una molecola stabile, e vicino a questo si può approssimare con un parabola, inoltre, tende ad una costante per grandi R , ovvero quando i due atomi sono isolati, e diventa grande e positivo per piccoli R , più i nuclei sono vicini più gli elettroni li schermano sempre meno. Le linee orizzontali presenti in figura 1.5 rappresentano energie degli stati nucleari, ovvero i livelli associati ad uno stesso stato elettronico a diversi valori di ν .

Consideriamo ora un caso specifico risolvibile analiticamente, ovvero il caso dello ione molecolare H_2^+ , molecola omonucleare, carica positivamente, formata da due protoni, di massa M e posizioni R_A, R_B , e un solo elettrone, di massa m e posizione r_e . Per questa molecola l'Hamiltoniana prende la forma:

$$-\frac{1}{2M}\nabla_A^2 - \frac{1}{2M}\nabla_B^2 - \frac{1}{2}\nabla_e^2 - \frac{1}{|\mathbf{r}_e - \mathbf{R}_A|} - \frac{1}{|\mathbf{r}_e - \mathbf{R}_B|} + \frac{1}{|\mathbf{R}_A - \mathbf{R}_B|} \quad (1.12)$$

Assumendo le considerazioni sul centro di massa e definendo $\mathbf{R} = \mathbf{R}_B - \mathbf{R}_A$ e $\mathbf{r} = \mathbf{r}_e - \mathbf{R}_{CM}$ si può scrivere l'equazione di Schrödinger in due variabili:

$$\left[-\frac{1}{M}\nabla_R^2 - \frac{1}{2}\nabla_r^2 - \frac{1}{|\mathbf{r} - \frac{\mathbf{R}}{2}|} - \frac{1}{|\mathbf{r} + \frac{\mathbf{R}}{2}|} + \frac{1}{R} \right] \Psi(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = E\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{R}) \quad (1.13)$$

A questo punto, è necessario applicare l'approssimazione di Born Oppenheimer, che prevede di separare i termini che dipendono da \mathbf{r} in un'hamiltoniana elettronica \hat{h}^e

$$\hat{h}^e(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = -\frac{1}{2}\nabla_r^2 - \frac{1}{|\mathbf{r} - \frac{\mathbf{R}}{2}|} - \frac{1}{|\mathbf{r} + \frac{\mathbf{R}}{2}|}; \hat{h}^e(\mathbf{r}, \mathbf{R})\psi_i^e(\mathbf{r}; \mathbf{R}) = \epsilon_i^e(R)\psi_i^e(\mathbf{r}; \mathbf{R}) \quad (1.14)$$

le cui autofunzioni sono ortonormali e prevedono che i nuclei restino fissi. Con queste autofunzioni è possibile ricavare delle soluzioni approssimate dell'equazione di Schrödinger completa

$$\hat{H}\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = E\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{R}) \quad ; \quad \hat{H} = -\frac{1}{M}\nabla_R^2 + \hat{h}^e(\mathbf{r}, \mathbf{R}) + \frac{1}{R} \quad (1.15)$$

e infine identificare il potenziale efficace nucleare con cui poter definire l'hamiltoniana di Born Oppenheimer, associata ad ogni stato elettronico i

$$v_i(R) = \epsilon_i^e(R) + \frac{1}{R} \quad ; \quad \hat{H}_i^{BO} = -\frac{1}{M}\nabla_R^2 + v_i(R) \quad (1.16)$$

Per ogni hamiltoniana si può costruire un set di autofunzioni ortonormali dipendenti dalla sola coordinata \mathbf{R} , $F_{i\nu}^N$, che moltiplicandole alle autofunzioni elettroniche si costruisce una base di funzioni completa da cui poter ricavare le autosoluzioni dell'hamiltoniana di partenza.

$$\hat{H}_i^{BO} F_{i\nu}^N(\mathbf{R}) = E_{i\nu}^{BO} F_{i\nu}^N \quad (1.17)$$

$$\Phi_{i\nu}(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = F_{i\nu}^N(\mathbf{R})\psi_i^e(\mathbf{r}, \mathbf{R}) \quad (1.18)$$

$$\Psi(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = \sum_{i\nu} a_{i\nu}\Phi_{i\nu}(\mathbf{r}, \mathbf{R}) = \sum_{i\nu} a_{i\nu}F_{i\nu}^N(\mathbf{R})\psi_i^e(\mathbf{r}, \mathbf{R}) \quad (1.19)$$

Per trovare, quindi, le soluzioni dell'equazione di Schrödinger si devono ricavare i coefficienti $a_{i\nu}$ diagonalizzando la matrice hamiltoniana $H_{i\nu, i'\nu'}$. Considerando, però, l'approssimazione di Born Oppenheimer, la matrice risulta già diagonale per cui la funzione d'onda molecolare sarebbe semplicemente il prodotto tra la funzione d'onda elettronica a ioni fissi e una delle funzioni d'onda nucleari così come dichiarato nell'equazione 1.11

$$\Psi(\mathbf{R}, \mathbf{r}) \simeq \Phi_{i\nu}(\mathbf{R}, \mathbf{r}) = F_{i\nu}^N(\mathbf{r})\psi_i^e(\mathbf{r}, \mathbf{R}) \quad ; \quad E \simeq E_{i\nu}^{BO}$$

1.3.1 Moti vibrazionali e di rotazione di una molecola

Per poter trasformare, come fatto nel caso atomico, l'equazione di Schrödinger in un'equazione radiale è necessario fattorizzare la funzione d'onda nucleare in una parte

angolare, dipendente dai numeri quantici del momento angolare nucleare ℓ_R, m_R , e una parte radiale, con numero quantico nucleare radiale n_R e dipendente anche da ℓ_R :

$$F_{i;\ell_R n_R}^N(\vec{R}) = f_{i;n_R \ell_R}^{\text{radiale}}(R) Y_{\ell_R m_R}(\hat{R}) = \left[\frac{\chi_{i;n_R \ell_R}(R)}{R} \right] Y_{\ell_R m_R}(\hat{R}) \quad (1.20)$$

$$\left[-\frac{1}{2\mu} \frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{2\mu} \frac{\ell_R(\ell_R + 1)}{R^2} + v_i(R) \right] \chi_{i;n_R \ell_R}(R) = E_{i;\ell_R n_R} \chi_{i;n_R \ell_R}(R) \quad (1.21)$$

dove è stata introdotta la funzione radiale $\chi = R f^{\text{radiale}}$. Per ottenere, però, una forma analitica dell'equazione è necessario introdurre due ulteriori approssimazioni.

La prima è l'*approssimazione armonica*, che può essere applicata dichiarando che se il potenziale efficace presenta un minimo, vicino ad esso il potenziale si può approssimare con un andamento parabolico:

$$\left[-\frac{1}{2\mu} \frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{2\mu} \frac{\ell_R(\ell_R + 1)}{R^2} + v_i(R_0) + \frac{1}{2} k_i (R - R_0)^2 \right] \chi_{i;n_R \ell_R}(R) = E_{i;\ell_R n_R} \chi_{i;n_R \ell_R}(R) \quad (1.22)$$

$$\text{con } k_i = \left[\frac{d^2 v_i}{dR^2} \right]_{R=R_0} \quad (1.23)$$

In queste condizioni il sistema fa delle piccole oscillazioni intorno al punto di equilibrio stabile e, quindi, gli stati più bassi in energia possono essere approssimati con quelli di un oscillatore armonico.

La seconda approssimazione è quella di *rotatore rigido*. Infatti, in base a quanto appena dichiarato le funzioni radiali devono essere molto localizzate intorno a R_0 , ovvero per oscillazioni davvero piccole abbiamo $R \simeq R_0$. Radialmente bisognerà studiare approfonditamente queste piccole oscillazioni, ma per quanto riguarda la rotazione della molecola la distanza internucleare può essere considerata costante e, pertanto, la molecola può essere approssimata come rotatore rigido. Conseguenza di questo è il fatto che le funzioni radiali non dipendono più dal momento angolare, per cui si può eliminare la dipendenza in χ da ℓ_R , portare a secondo membro dell'equazione 1.21 i termini che non dipendono più da R e ricavare l'energia roto-vibrazionale della molecola nello stato elettronico i :

$$\left[-\frac{1}{2\mu} \frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{2} k_i (R - R_0)^2 \right] \chi_{i;n_R \ell_R}(R) = \left[E_{i;\ell_R n_R} - \frac{1}{2\mu} \frac{\ell_R(\ell_R + 1)}{R_0^2} - v_i(R_0) \right] \chi_{i;n_R \ell_R}(R) \quad (1.24)$$

$$E_{i;\ell_R n_R} = \frac{1}{2\mu} \frac{\ell_R(\ell_R + 1)}{R_0^2} + v_i(R_0) + \lambda_{i;n_R} \quad (1.25)$$

$\lambda_{i;n_R}$ sono gli autovalori dell'equazione di Schrödinger dell'oscillatore armonico in una dimensione, di cui conosciamo già il valore dell'energia:

$$\left[-\frac{1}{2\mu} \frac{d^2}{dR^2} + \frac{1}{2} k_i (R - R_0)^2 \right] \chi_{i;n_R \ell_R}(R) = \lambda_{i;n_R} \chi_{i;n_R \ell_R}(R) \quad (1.26)$$

$$E_{i;\ell_R n_R} = v_i(R_0) + \omega_0 \left(n_r + \frac{1}{2} \right) + B \ell_R (\ell_R + 1) \quad (1.27)$$

$$\text{con } \omega_0 = \sqrt{\frac{k_i}{\mu}} ; \quad B = \frac{1}{2\mu R_0^2} \quad (1.28)$$

Gli autovalori sono, quindi, una somma di un'energia elettronica, un'energia rotazionale e una vibrazionale e per calcolarli basta conoscere la posizione R_0 , ovvero la distanza internucleare di equilibrio, il valore minimo del potenziale, $v_i(R_0) = \epsilon_i^e(R_0) + 1/R_0$ e la curvatura in corrispondenza del minimo $k_i = d^2v/dR^2|_{R=R_0}$.

1.3.2 Legami molecolari

Per concludere la trattazione sulle molecole, bisogna discutere sull'origine del legame molecolare e capire, quindi, le condizioni in cui due atomi isolati preferiscano unirsi piuttosto che rimanere isolati. Studiamo il legame nel caso della molecola omonucleare H_2^+ e poi generalizziamo la trattazione.

Nel caso di H_2^+ si parte dall'equazione di Schrödinger elettronica a ioni fissi 1.14 e si applica l'*approssimazione LCAO* (Linear Combination of Atomic Orbitals), ovvero si sviluppano le le prime due funzioni dell'hamiltoniana elettronica molecolare nella più piccola base di funzioni atomiche possibile:

$$\langle \mathbf{r} | A \rangle = \psi_{1s}(\mathbf{r} - \mathbf{R}_A) = \frac{1}{\pi} e^{-|\mathbf{r} - \mathbf{R}_A|} \quad (1.29)$$

$$\langle \mathbf{r} | B \rangle = \psi_{1s}(\mathbf{r} - \mathbf{R}_B) = \frac{1}{\pi} e^{-|\mathbf{r} - \mathbf{R}_B|} \quad (1.30)$$

quella dei due soli orbitali atomici. Possiamo così scrivere gli autostati più bassi in energia dell'hamiltoniana elettronica come:

$$|0\rangle^e = |0\rangle = c_A^0 |A\rangle + c_B^0 |B\rangle \quad (1.31)$$

$$|1\rangle^e = |1\rangle = c_A^1 |A\rangle + c_B^1 |B\rangle \quad (1.32)$$

Per ottenere il valore dei coefficienti di sviluppo LCAO si deve applicare il principio variazionale associato all'equazione di Schrödinger, trasformando il problema in un'equazione secolare di dimensione come quella della base scelta. Nel caso di H_2^+ non è, però, necessario applicare il principio variazionale, ma si possono fare delle considerazioni di simmetria sulla base. Infatti, scambiando i nuclei A e B l'hamiltoniana elettronica resta invariata e commuta, quindi, con l'operatore parità. L'operatore divide le autofunzioni in due gruppi, quelle che non variano sotto parità e quelle che cambiano segno, ovvero gli autovalori possono essere +1 e -1. Possiamo riscrivere gli autostati come combinazione delle due funzioni di base 1s pari e poi dispari.

$$|0\rangle = |A\rangle + |B\rangle = |g\rangle \quad (1.33)$$

$$|1\rangle = |A\rangle - |B\rangle = |u\rangle \quad (1.34)$$

dove g e u stanno per *gerade* e *ungerade*, che in tedesco sta per pari e dispari e sono le migliori approssimazioni per i primi due stati elettronici della molecola. A questo punto, mancherebbe solo determinare il rapporto tra i due coefficienti attraverso la normalizzazione. I due stati sono, infatti, normali ma non ortogonali

$$\begin{aligned} \langle A|A\rangle &= \langle B|B\rangle = 1 \\ \langle A|B\rangle &= S(R) = (1 + R + \frac{1}{3}R^2)e^{-R} \end{aligned}$$

e di conseguenza per gli stati pari e dispari

$$\langle g|u\rangle = 0 ; \langle g|g\rangle = 2 + 2S(R) ; \langle u|u\rangle = 2 - 2S(R)$$

Possiamo allora calcolare i loro valori medi dell'energia elettronica

$$\epsilon_g(R) = \frac{\langle g|\hat{h}^e|g\rangle}{g|g} ; \epsilon_u(R) = \frac{\langle u|\hat{h}^e|u\rangle}{u|u} \quad (1.35)$$

Se si aggiunge la repulsione internucleare si ottiene il potenziale nucleare efficace

$$v_{g,u}(R) = \epsilon_{g,u} + \frac{1}{R} = \epsilon_{1s} + \frac{1}{R} \frac{(1 + R)e^{-2R} \pm (1 - \frac{2}{3}R^2)e^{-R}}{1 \pm (1 + R + \frac{1}{3}R^2)e^{-R}} \quad (1.36)$$

Si rappresenta in figura 1.6 il grafico del potenziale dei due stati ottenuto con approssimazione LCAO a paragone con l'energia esatta. Dal grafico si può notare come per la molecola H_2^+ v_g è più basso di v_u per cui lo stato pari è lo stato fondamentale, mentre

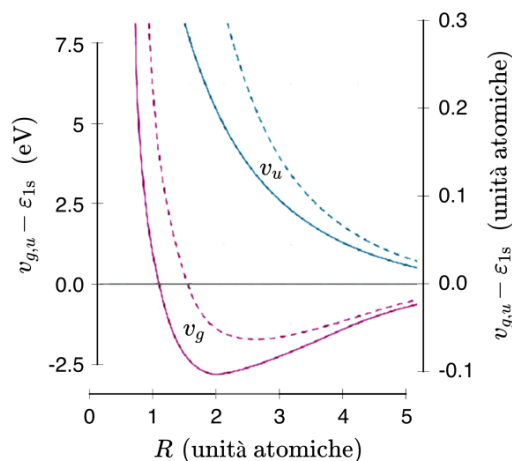


Figura 1.6: Potenziale nucleare efficace di H_2^+ per lo stato fondamentale e il primo stato eccitato. La linea continua mostra l'energia elettronica della funzione molecolare esatta; quella tratteggiata è ottenuta con la funzione d'onda molecolare in approssimazione LCAO

lo stato dispari è il primo stato eccitato e come l'approssimazione risulta abbastanza buona, infatti la differenza di energia si mantiene piccola, la posizione del minimo e l'andamento in funzione di R sono abbastanza simili a quelli esatti. Osserviamo nello specifico gli andamenti dei due stati: lo stato fondamentale presenta un minimo al di sotto dell'energia corrispondente all'atomo isolato, per cui la molecola in questo stato è legata; per quanto riguarda il primo stato eccitato, v_u si trova al di sopra dell'energia di atomo isolato e non presenta minimo e per cui la molecola non è legata.

Per poter descrivere il meccanismo dei legamenti osserviamo la figura 1.7 in cui si mostra in alto la funzione d'onda di uno stato e in basso le corrispondenti densità di carica, sia per lo stato legante (sinistra), che per lo stato antilegante (destra). Nello stato legante la funzione d'onda si trova completamente al di sopra dello zero e la probabilità di trovare gli elettroni in mezzo ai due nuclei è più alta di quella di trovarli al di fuori; la funzione d'onda per lo stato antilegante, invece, cambia segno e si annulla in mezzo ai due nuclei, infatti la probabilità di trovare gli elettroni è più alta fuori dai nuclei che dentro.

L'orbitale molecolare, ovvero la distribuzione spaziale degli elettroni in una molecola, si rappresenta, secondo il metodo LCAO, come la sovrapposizione di due orbitali atomici,

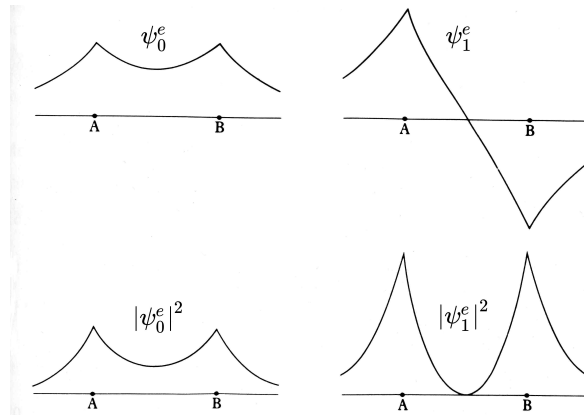


Figura 1.7: Funzioni d'onda elettroniche per la molecola H_2^+ e loro modulo quadro

quello legante e quello antilegante. Se la sovrapposizione avviene lungo l'asse tra i due nuclei l'orbitale si chiama σ , mentre se avviene perpendicolarmente all'asse tra i due nuclei, l'orbitale prende il nome di π . Esiste un altro tipo di legame, denotato dalla lettera δ , che è un legame quadruplo. Il riempimento avviene con lo stesso schema di riempimento degli orbitali atomici, quindi prima si riempiono completamente gli orbitali più bassi in energia e poi si passa a riempire l'orbitale ad energia successiva, come si può osservare in figura 1.8

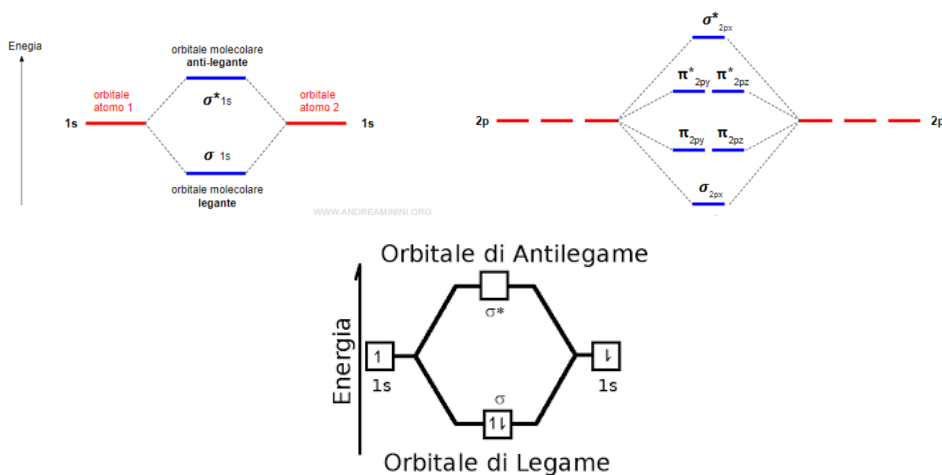


Figura 1.8: Sopra viene rappresentato l'orbitale per una generica molecola omonucleare nello stato $1s$ e nello stato $2p$. Sotto viene rappresentato l'orbitale molecolare di H_2

Trattiamo, adesso, il caso più generale di una molecola biatomica eteronucleare, per

cui l'hamiltoniana non è più simmetrica sotto scambio di molecola. Per determinare i coefficienti di LCAO, si deve a questo punto utilizzare il principio variazionale, supponendo che i due orbitali siano sempre ortogonali si risolve il problema secolare, da cui si hanno le soluzioni per lo stato fondamentale:

$$\lambda_0 = \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2} - \sqrt{t^2 + \left| \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2} \right|^2} = \epsilon_0 \quad (1.37)$$

$$\frac{c_B^0}{c_A^0} = \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2t} + \sqrt{1 + \left| \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2t} \right|^2} \quad (1.38)$$

con

$$\epsilon_A = \langle A | \hat{h}^e | A \rangle ; \epsilon_B = \langle B | \hat{h}^e | B \rangle ; t = \langle A | \hat{h}^e | B \rangle \quad (1.39)$$

mentre per il primo stato eccitato:

$$\lambda_1 = \frac{\epsilon_A + \epsilon_B}{2} + \sqrt{t^2 + \left| \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2} \right|^2} = \epsilon_1 \quad (1.40)$$

$$\frac{c_B^0}{c_A^0} = \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2t} - \sqrt{1 + \left| \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2t} \right|^2} \quad (1.41)$$

Per capire meglio la condizione degli stati, studiamo la separazione energetica fra lo stato legante e quello antilegante, mostrata in figura 1.9

$$\Delta\epsilon = \lambda_1 - \lambda_0 = 2t \sqrt{1 + \left| \frac{\epsilon_A - \epsilon_B}{2t} \right|^2} \quad (1.42)$$

Quando i due atomi sono uguali ($\epsilon_A = \epsilon_B$) lo splitting vale $2t$ e il legame risulta perfettamente covalente. Mentre se i due atomi sono diversi la carica elettronica si sposta verso l'atomo ad energia minore, che convenzionalmente scegliamo essere ϵ_A ; se lo splitting è dell'ordine di grandezza di $2t$ abbiamo un legame ancora fortemente covalente, mentre se è molto maggiore di $2t$ i livelli molecolari tra lo stato legante e antilegante sono molto distanti non abbiamo più un legame covalente, ma ionico.

Per concludere la trattazione sugli orbitali molecolari bisogna chiarire un ultimo aspetto, ovvero il fatto che nel formare il legame molecolare entrano in gioco esclusivamente gli elettroni più alti in energia (valenza), escludendo quelli che si trovano più vicino al nucleo (core). Questo si può osservare studiando la molecola Na_2 ; il sodio ha 11

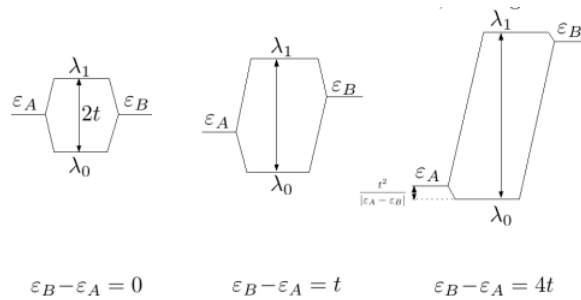


Figura 1.9: Orbitali molecolari nel caso di una molecola omonucleare covalente (sinistra), eteronucleare prevalentemente covalente (centro) ed eteronucleare prevalentemente ionica (destra) nell'approssimazione LCAO.

elettroni in configurazione elettronica $1s^2, 2s^2, 2p^6, 3s^1$ e se ipotizziamo che gli elettroni negli orbitali di core non partecipino al legame molecolare, allora la descrizione della molecola biatomica del sodio riguarda solo l'elettrone che si trova nell'orbitale di valenza $3s$. Questa ipotesi si può verificare mostrando le funzioni d'onda radiali per due atomi di sodio isolati accostati a una tipica distanza di legame molecolare, come in figura 1.10. Il grafico ci mostra che, mentre le funzioni di $1s, 2s$ e $2p$ decadono esponenzialmente prima della distanza di legame, l'orbitale $3s$ ha sovrapposizione con l'orbitale dell'atomo vicino ed è quindi il responsabile del legame.

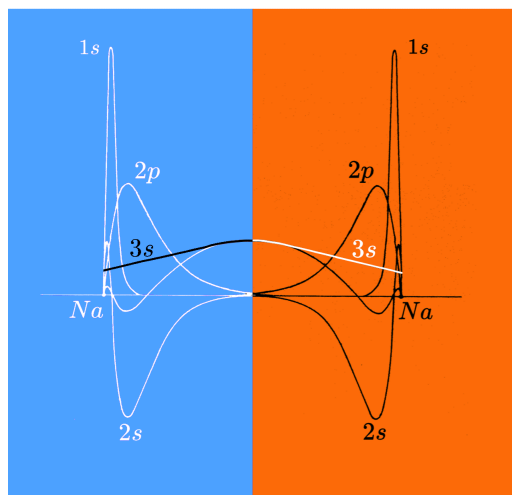


Figura 1.10: Funzioni d'onda radiali per due atomi isolati di Sodio mostrati nella tipica distanza molecolare.

1.4 Trasposizione della trattazione di Fisica della materia di un livello universitario per la scuola primaria

Per proporre gli argomenti precedentemente presentati nelle scuole primarie è necessario attuare una trasposizione. Infatti, le trattazioni e i linguaggi utilizzati risulterebbero troppo complessi per essere ascoltati da bambini e bambine di età dai 6 agli 11 anni. Si descrive, pertanto, come tali argomenti vengono effettivamente trattati per gli studenti della scuola primaria. La trattazione dei diversi metodi che è possibile applicare per parlare effettivamente di questi argomenti si rimanda, invece, ai capitoli successivi.

Gli atomi sono le unità fondamentali su cui è organizzata tutta la materia. La fisica atomica parte dal trovare le soluzioni dell'equazione di Shrödinger, che fornisce la probabilità di misurare un elettrone in un punto. Questo concetto è complicato da comunicare ai bambini, la trattazione viene quindi spostata sulla descrizione della composizione un atomo. Per spiegare ai bambini la struttura dell'atomo, si può dire che l'atomo è composto da tre particelle subatomiche (avvero di dimensioni minori dell'atomo) chiamate protoni, elettroni e neutroni. Al centro di ogni atomo c'è una piccola "palla" chiamata nucleo, composto da due delle particelle appena nominate, il protone e il neutrone. Attorno al nucleo si trovano, invece, gli elettroni. Ognuna di queste particelle ha delle caratteristiche differenti:

- Protone, particella carica positivamente, costituita a sua volta da altre particelle più piccole, ha la stessa carica elettrica dell'elettrone ma di verso opposto. Può trovarsi legato al neutrone da un'interazione forte all'interno nucleo dell'atomo, oppure libero.
- Neutrone, particella elettricamente neutra, composta anch'essa da altre particelle più piccole. Ha una massa più grande del protone, per questo al di fuori dal nucleo ha una vita media molto bassa, ed è instabile.
- Elettrone, particella carica negativamente, è una particella fondamentale, ovvero non è composta da altre particelle più piccole. È molto più piccola delle altre

due particelle, contribuisce solo in una piccolissima percentuale alla massa totale dell'atomo. La sua carica elettrica è definita "carica fondamentale"

L'atomo per essere neutro deve avere lo stesso numero di protoni ed elettroni, altrimenti se il numero delle due particelle differisce l'atomo diventa uno ione.

A questo punto è necessario introdurre gli orbitali atomici e quindi dire che gli elettroni ruotano attorno al nucleo, ma non seguono delle orbite precise, come fanno ad esempio i pianeti, ma rimangono confinati in degli strati, chiamati orbitali atomici o livelli energetici. Gli orbitali possono essere immaginati come dei palloncini di diverse forme attorno al nucleo, sulla cui superficie si muovono gli elettroni e abbiamo una certa probabilità di trovarli. Alcuni orbitali sono più vicini al nucleo e hanno meno energia, mentre altri sono più lontani e hanno più energia. Le particelle presenti all'interno del nucleo sono invece tenute insieme da un'interazione forte, che non fa allontanare la particelle tra di loro.

Per spiegare la dimensione dell'atomo si possono fornire dei paragoni con dimensioni che loro possano cogliere. Infatti, si può dire che se allargassimo il nucleo fino a farlo diventare grande come un pugno allora l'elettrone si troverebbe ad un chilometro di distanza.

Per finire la descrizione della fisica degli atomi bisogna dire che ci sono diversi tipi di atomi e che ognuno di essi caratterizza un elemento. La tavola periodica degli elementi è come una mappa che mostra tutti questi diversi tipi. Gli elementi differiscono tra di loro in base al numero di protoni o elettroni, anche detto numero atomico, presenti al loro interno. Ad esempio, l'idrogeno è l'elemento più semplice con un solo protone e un elettrone. Man mano che aggiungiamo più protoni, neutroni ed elettroni, otteniamo elementi più complessi. Si possono mostrare come gli atomi degli elementi si differenziano tra loro e alcune caratteristiche o proprietà di quest'ultimi. Gli elementi all'interno della tavola periodica sono divisi in 18 Gruppi e 7 Periodi e questi ne caratterizzano alcune proprietà periodiche.

La tavola periodica contiene tutti gli elementi riscontrati in natura (98) e anche quelli sintetizzati artificialmente (20), in totale sono 118.

Si passa poi alla descrizione della Fisica molecolare, ovvero la fisica che descrive

il comportamento delle molecole, entità elettricamente neutre composte da più atomi. Possono essere composti da atomi dello stesso elemento oppure da elementi differenti. Un modo semplice per spiegare questo concetto è dare subito un esempio, ovvero si può dire che quando due atomi di idrogeno si uniscono con un atomo di ossigeno, formano una molecola d'acqua (H_2O). Le molecole caratterizzano, infatti, le sostanze ed è importante marcare questo concetto fornendo esempi tra molecole e sostanze comuni: potrebbero essere semplici come il cloruro di sodio ($NaCl$) o il diossido di carbonio (CO_2) e molecole più complesse come il glucosio ($C_6H_{12}O_6$).

Gli atomi, dentro le molecole sono tenuti insieme da forze di natura elettrostatica, chiamati legami chimici. Esistono diversi tipi di legami che caratterizzano diversi modi in cui gli elettroni degli atomi si possono unire. Gli orbitali molecolari rappresentano lo spazio condiviso in cui questa unione tra gli orbitali elettronici può avvenire e in cui è possibile trovare gli elettroni. L'orbitale molecolare è come se fosse il prodotto della sovrapposizione tra più orbitali atomici. La combinazione degli orbitali rende le molecole stabili e le aiuta a mantenersi insieme. Possiamo utilizzare disegni o modelli 3D per mostrare come gli orbitali degli atomi si combinano nelle molecole, rendendo il concetto più visuale e comprensibile per i bambini.

Capitolo 2

La Fisica nelle classi primarie

Per indagare come viene trattata la fisica nelle scuole primarie ho inizialmente parlato con conoscenti e amici che lavorano in questo campo. E sono passata poi ad analizzare la normativa scolastica attualmente in uso. In particolare sono le Indicazioni Nazionali per la scuola del primo ciclo [1], che fissano i traguardi per lo sviluppo delle competenze e gli obiettivi di apprendimento per le scienze nella scuola primaria. Tra gli obiettivi da raggiungere per le scienze ne riporto nello specifico alcuni più facilmente riconducibili alla fisica, che gli alunni alla fine del ciclo di studi primario devono raggiungere:

- Individuare alcuni concetti scientifici, come dimensioni spaziali, peso, forza, movimento, temperatura, ecc.; individuare le proprietà di alcuni materiali, come la durezza, il peso, l'elasticità, la trasparenza, la densità, ecc.;
- Osservare e schematizzare alcuni passaggi di stato, costruendo semplici modelli interpretativi; Osservare, utilizzare e, quando possibile, costruire semplici strumenti di misura;
- Cominciare a riconoscere regolarità nei fenomeni e a costruire in modo elementare il concetto di energia;
- Conoscere la struttura del suolo sperimentando con rocce, sassi e terricci; osservare le caratteristiche dell'acqua e il suo ruolo nell'ambiente;
- Ricostruire e interpretare il movimento dei diversi oggetti celesti, ricostruendoli anche attraverso giochi con il corpo;

Si sono riportate le principali indicazioni che rimandano allo studio di tematiche vicine alla fisica, proprio per poter analizzare il contesto in cui si vuole realizzare questo progetto di tesi, in cui ho scelto di parlare della materia come argomento di fisica. Credo, infatti, che sia importante gettare le basi per la comprensione del mondo che ci circonda. Spiegare ai bambini i suoi componenti fondamentali - atomi, molecole e elementi - aiuta a sviluppare la loro curiosità anche verso ciò che non conoscono. Questo tipo di apprendimento non solo accende la curiosità naturale dei bambini, ma li incoraggia anche a osservare, esplorare e porre domande, elementi chiave per lo sviluppo di competenze scientifiche e per stimolare una passione per la scienza che può durare tutta la vita.

Nella normativa scolastica non vengono, però, forniti strumenti che possano essere comuni a tutti, lasciando ad ogni insegnante l'autonomia per sviluppare eventuali metodi alternativi. Questo fatto può essere riconosciuto a volte come un punto di forza, a volte come una difficoltà, soprattutto nel caso in cui gli insegnanti non riescano a trovare metodi sufficientemente efficaci. Infatti, non tutti gli insegnanti sono formati o hanno le risorse necessarie per implementare efficacemente un approccio laboratoriale e visuale nella loro pratica pedagogica.

Al fine di identificare un'efficace proposta che possa aiutare gli insegnanti a trattare, quindi, la fisica, il primo passo fatto è stato un lavoro di ricerca su come vengono effettivamente poi trattati attualmente questi argomenti a scuola.

2.1 Il caso della materia

Ho cercato online programmi scolastici e indici di libri di testo e da un'analisi preliminare mi sono fatta un'idea di come, dal punto di vista dei contenuti, venga trattata la materia nelle classi elementari.

La materia viene divisa in organica e inorganica e nel corso dei cinque anni viene studiata maggiormente la materia organica attraverso la biologia. Per quanto riguarda la materia inorganica, la trattazione si concentra principalmente su alcuni materiali, come acqua, aria e suolo, descrivendone le loro caratteristiche macroscopiche. Si parla di manipolazione della materia, come per esempio i passaggi di stato o l'elasticità dei materiali. Gli aspetti microscopici della materia, come gli atomi e le molecole, vengono

trattati solo a volte e verso la fine del ciclo di studi.

2.2 La struttura della materia nei libri di testo delle classi primarie

A seguito di questa prima ricerca online si è ritenuto importante analizzare più in dettaglio come il concetto di materia viene trattato nei libri di testo delle classi della scuola primaria. In particolare, sono stati esaminati due libri di testo: "Il Grillo e la Luna - Discipline 3: Storia, Geografia, Scienza" del *Gruppo Editoriale ELI*, libro adottato nella classe terza in cui successivamente è stata condotta anche una mia sperimentazione (che sarà discussa nel capitolo 4), e il libro di testo "Viva imparare - Scienze e tecnologie 4" del quarto anno del *GIUNTI Scuola*, che mi sono fatta prestare da un'amica con una figlia che frequenta la scuola elementare. Questo paragrafo si propone, quindi, di analizzare il contenuto di questi due libri, esaminando in dettaglio come vengono presentati gli argomenti legati alla materia.

In generale, i due libri propongono un programma molto simile tra di loro, gli argomenti sono gli stessi, anche se vengono trattati in ordine differente. Confrontandoli e cercando dei collegamenti con il tema della materia, troviamo che entrambi parlano di acqua, aria e suolo e analizzano le differenze tra viventi e non viventi. Quello del terzo anno ne discute solo con qualche cenno all'interno di un capitolo sugli elementi non viventi degli ecosistemi, mentre il libro del quarto anno ne discute in un capitolo dedicato proprio alla materia.

Nel *Giunti Scuola*, in particolare, la materia viene presentata ad inizio capitolo come tutto quello che c'è dentro e fuori di noi. Alla materia vengono date due caratteristiche, ovvero che ha una massa e occupa uno spazio. Viene, inoltre, descritto come gli scienziati hanno scoperto che la materia è costituita da atomi, che si uniscono in molecole e che queste caratterizzano le sostanze. Vengono poi fornite delle piccole immagini per l'atomo, la molecola d'acqua e la sostanza acqua. I concetti di particelle, atomi e molecole vengono forniti per spiegare la materia, ma sono solo accennati e non vengono approfonditi. Come secondo paragrafo vengono trattati gli stati della materia e i passaggi di stato. Vengono

spiegati mediante i legami tra le molecole e vengono fornite immagini che mostrano tali legami e poi viene dato l'esempio dei passaggi di stato dell'acqua. Si prosegue poi con tre paragrafi che trattano l'acqua, l'aria e il suolo e le loro caratteristiche. Entrambi i libri ne analizzano le caratteristiche, per esempio entrambi parlano della capillarità per l'acqua, descrivono i gas che costituiscono l'aria, discutono la presenza e l'importanza all'interno del pianeta, come il ciclo dell'acqua, l'atmosfera e gli strati del suolo. Il libro della terza elementare non dedica un paragrafo alla materia in generale, ma la introduce dicendo che tutto ciò che ci circonda, acqua, aria, oggetti e viventi, è fatto da materia. Viene poi distinta la materia organica da quella non organica e vengono elencati diversi materiali e le loro caratteristiche.

Per quanto riguarda la proposta che si vuole portare avanti in questo lavoro di tesi, per gli argomenti trattati, si trova più affinità con il libro di *Giunti Scuola*. La successione degli argomenti, infatti, è la stessa, anche se la mia proposta cercherà di andare più a fondo con argomenti e descrizioni di struttura della materia microscopica, riportate in una chiave semplificata e divertente per un pubblico giovane. Il libro *Giunti Scuola*, invece, ha l'obiettivo di arrivare a descrivere l'aria, l'acqua e il suolo come le componenti principali della materia presenti nel nostro pianeta e descrive, quindi, il mondo che gli studenti vedono e conoscono.

I libri di testo esaminati utilizzano in parte una combinazione di spiegazioni teoriche, illustrazioni visive ed esperimenti pratici per facilitare l'apprendimento. Questa metodologia supporta la mia idea che la comprensione della scienza non debba essere limitata alla memorizzazione di concetti, ma debba invece coinvolgere attivamente gli studenti nel processo di scoperta. Un aspetto positivo rilevato, infatti, è l'uso di illustrazioni vivide e di piccoli esperimenti che gli studenti possono svolgere per osservare direttamente queste proprietà. Ad esempio, viene suggerito un esperimento per misurare la pressione dell'aria utilizzando una siringa senza ago e un palloncino. Questo esperimento aiuta a visualizzare come l'aria, pur essendo invisibile, occupi spazio e possa esercitare pressione. Oppure viene proposto un esperimento per la tensione superficiale dell'acqua, in cui si incoraggiano gli studenti a riempire un bicchiere d'acqua fino all'orlo e poi a provare ad aggiungere ancora un po' d'acqua senza farla traboccare. Gli viene poi fatto osservare come il livello dell'acqua è più alto del bordo del bicchiere.

Tuttavia queste integrazioni alla didattica formale spesso non sono sufficienti. Infatti, durante i colloqui tenuti con alcune insegnanti, è emerso che una parte dei loro studenti trova difficoltà nell'afferrare concetti astratti solo attraverso il testo e le illustrazioni. Questo suggerisce che potrebbe essere utile integrare ulteriori attività interattive e coinvolgenti per migliorare il coinvolgimento degli studenti. Le spiegazioni che riguardano concetti astratti riportano spesso questi concetti senza approfondirli e non fornendo abbastanza immagini o altro materiale in supporto.

2.3 Come gli e le insegnanti trattano gli argomenti scientifici nelle loro classi

Anche attraverso dei colloqui tenuti con insegnanti della scuola primaria, si è cercato di indagare la situazione attuale dell'insegnamento scientifico in tale ordine scolastico. In particolare ho avuto modo di parlare con due docenti di scuole diverse, la prima insegna ad una classe terza dell'I.C. Salvo D'Acquisto di Cerveteri, mentre la seconda insegna ad una classe seconda dell'I. C. Alberto Sordi di Roma. Dai colloqui avuti emerge che nella maggior parte dei casi si preferisce un approccio che mira a coinvolgere attivamente i bambini nel processo di apprendimento. Una didattica "standard" può, infatti, risultare poco efficace per spiegare argomenti scientifici, sebbene i bambini siano curiosi e fanno tante domande, vanno fatti appassionare, abituandoli ad un certo tipo di lavoro. Il fulcro della didattica della fisica nella scuola primaria sta nel suscitare e mantenere viva la passione per la scoperta e l'apprendimento scientifico.

Dal confronto avuto con i docenti è emerso come i libri di testo debbano dare maggiore supporto, integrando con più strumenti possibili la teoria, che non può lasciare agli studenti solo definizioni, soprattutto per quanto riguarda i concetti più complessi e astratti. Per fare un esempio, quando vengono introdotti gli atomi e le molecole, questi concetti vengono presentati senza una vera spiegazione di cosa siano e non vengono forniti molti materiali a supporto, né grafici né laboratoriali. Una proposta utile in questo caso potrebbe essere far svolgere un laboratorio in classe per costruire manualmente il modello dell'atomo o di alcune molecole. Questa potrebbe essere un'opzione per supportare

l'apprendimento di tali concetti, favorendo la visualizzazione dell'atomo o della molecola.

Sorgono, inoltre, difficoltà legate al fatto che la generazione attuale di bambini è cresciuta in un'era digitale, e ciò richiede un adattamento delle metodologie didattiche per essere più in linea con le loro esperienze e aspettative. È vero infatti che i bambini si fanno tante domande, ma non sono abituati ad indagare sulle risposte, avendo spesso già a disposizione le soluzioni che cercano. Vanno così aiutati a capire le cose per gradi, la causa ed effetto delle informazioni, attraverso la logica e l'intuizione. Un'altra difficoltà riscontrata è la capacità di astrazione, fanno difficoltà ad immaginare le cose che non sono abituati a vedere.

Le testimonianze degli insegnanti sottolineano l'efficacia di diverse metodologie didattiche:

- L'approccio laboratoriale nella didattica della fisica permette ai bambini di sperimentare direttamente i concetti scientifici, rendendo l'apprendimento più tangibile e coinvolgente.
- Gli esempi partecipati consentono loro di applicare i concetti teorici alla realtà quotidiana, facilitando la comprensione e il contenimento delle informazioni.
- Le immagini e le mappe concettuali si rivelano strumenti preziosi per visualizzare i concetti fisici in modo chiaro e intuitivo, esse aiutano i bambini a organizzare le informazioni, a individuare relazioni tra i concetti e a stimolare la creatività nel processo di apprendimento.
- L'utilizzo di supporti visivi favorisce l'accessibilità delle informazioni, soprattutto per gli studenti con diverse modalità di apprendimento.

A conclusione di questi colloqui è emerso un forte interessamento dei bambini nei confronti della scoperta, ma parallelamente sono emerse alcune difficoltà da parte del corpo docente nel riuscire ad applicare strumenti adatti a coprire la curiosità del bambino.

2.4 Progetti didattici rivolti agli allievi delle scuole primarie sui temi di struttura della materia

Oltre ad esaminare libri di testo e parlare con gli insegnanti ho cercato in rete progetti proposti direttamente dagli istituti scolastici in merito all'argomento. Nonostante si siano trovati diversi progetti che parlano di atomi, molecole o stati della materia, è molto più difficile reperire gli effettivi materiali didattici. Per la maggior parte dei casi si trovano articoli sulle pagina web degli istituti scolastici che riportano gli obiettivi e i risultati ottenuti dai progetti presentati. Questi progetti includono video didattici, presentazioni in slide e laboratori pratici, tutti progettati per facilitare l'apprendimento della materia in modo interattivo e pratico. Dal materiale che è stato possibile esaminare, vengono ritenuti di particolare interesse i laboratori in cui i bambini hanno modo di creare modelli plastici dell'atomo o di alcune molecole e le schede didattiche, fornite agli studenti a seguito di laboratori, per spiegare cosa sono gli atomi, come si uniscono per formare le molecole, gli elementi della Tavola Periodica e anche delle loro applicazioni sulle cose che i bambini hanno a che fare nella quotidianità. Fornire schede a sostegno della didattica non formale è un'idea che a seguito delle ricerche fatte si è deciso di sviluppare e integrare nella mia proposta.

Anche piattaforme come YouTube ospitano una varietà di video realizzati da insegnanti che spiegano i concetti di base della materia in modo semplice e accattivante, contribuendo ulteriormente a diffondere la conoscenza scientifica tra i più giovani. Questo tipo di contenuti sono rivolti a bambini e bambine per aiutarli nello studio della materia e pensati per sostenere genitori o altri docenti che si vogliono avvicinare all'insegnamento di tali argomenti.

2.5 Progetti divulgativi sui temi di struttura della materia per le scuole primarie

Nel corso della mia ricerca, ho condotto un'indagine anche sui progetti divulgativi disponibili online rivolti a bambini e studenti delle scuole primarie sul tema della materia.

Da questa indagine è emerso che diversi enti di ricerca offrono una vasta gamma di progetti divulgativi di grande interesse. Questi progetti utilizzano anche fumetti, video e altre risorse visive per rendere i concetti scientifici più accessibili e coinvolgenti per i giovani studenti.

Come esempio, esaminiamo i materiali dell'Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN) e in particolare quelli del progetto "INFN Kids" e della rassegna "Fisica x Kids" in collaborazione con Explora education. "INFN Kids" è un progetto dedicato a bambini e ragazzi in cui è possibile trovare racconti di fisica e scienza, letture scientifiche, giochi e fumetti, tutti strumenti che possono avvicinare bambini e ragazzi al mondo della fisica. Explora education, invece, è un portale in cui vengono proposti contenuti didattici attraverso divertenti pillole di fisica; i contenuti seguono principalmente due progetti, "La fisica tra le onde" e "Fisica x Kids". Quest'ultimo è quello che è stato oggetto della ricerca, dato che contiene materiali affini al progetto di tesi, infatti, è la serie in cui ricercatori e ricercatrici narrano sei racconti animati sull'Universo e i suoi misteri, la fisica delle particelle e la materia. Per "INFN Kids" esaminiamo in particolare i fumetti di Leo e Alice, in cui i due protagonisti scoprono il mondo che ci circonda e i video che si trovano nel canale Youtube "INFN Kids"; per "Fisica x kids" segnalo il video "Rompiatomi e altre storie sulla materia", in cui viene svolta un'indagine tra gli oggetti che ci circondano per scoprire di cosa è composta la materia.

Ritengo che i materiali esaminati sono degli strumenti molto validi. I fumetti, per esempio, cercano di far immedesimare i bambini attraverso l'uso della storia e del gioco. Un fumetto di particolare interesse per la ricerca è "Storia di un bicchiere d'acqua", in cui Leo e Alice scoprono come è costituito un bicchiere d'acqua, facendo un viaggio dalle molecole alle particelle elementari. In particolare ho trovato molta affinità con la modalità di catturare l'attenzione del bambino adottata nel fumetto. Infatti, il lettore si pone come se fosse egli stesso amico di Leo e Alice e in questo modo, scoprire da cosa è costituita la materia diventa un gioco tra amici. Il fumetto, inoltre, una volta spiegati gli atomi e le molecole tratta argomenti affini al modello standard delle particelle elementari, mentre la mia proposta affronterà le tematiche all'interno della branca di fisica di strutture della materia. Ad ogni lezione sono proposti giochi (ad esempio viene

proposto un gioco enigmistico a parole crociate per trovare gli atomi che compongono la molecola d'acqua) che aiutano a consolidare le informazioni fornite. Questo è stato uno spunto di riflessione su possibili materiali da integrare nella mia proposta.

Sono stati visionati diversi video dal canale Youtube di "INFN KIDS", come un video dalla Summercamp 2020 intitolato "Dalle molecole agli atomi" e alcuni video sulle particelle che compongono l'atomo. I video dedicati al Protone, all'Elettrone e al Neutrone sono inseriti in una rassegna natalizia, l'obiettivo dei video è, infatti, quello di realizzare insieme ai bambini una decorazione natalizia con la forma delle particelle, o meglio la forma che l'istituto di ricerca ha inventato per questi progetti per bambini. Mentre vengono realizzate queste decorazioni la relatrice racconta come è fatta la materia, dalle molecole fino a queste particelle, e le caratteristiche che quest'ultime hanno. Il video della Summercamp, invece, ha un forte contenuto di struttura della materia, comincia descrivendo l'aria e l'acqua dal punto di vista macroscopico e arriva a parlare delle caratteristiche microscopiche della materia. Si osserva come il video cerca di catturare l'attenzione attraverso concetti difficili ma accattivanti, in alcuni punti questo viene fatto forse con un po' troppo dettaglio. Vengono descritte, ad esempio, le molecole che costituiscono l'aria che respiriamo o vengono date molte informazioni sugli atomi, come la massa atomica o gli orbitali. Questo viene fatto con l'ausilio di piccoli esperimenti che si possono riprodurre a casa con materiali semplici e di uso comune, come un esperimento in cui si mostra il modello atomico moderno grazie a palline di gomma e sapone per le mani. Il video "Rompiatomi e altre storie sulla materia", infine, del progetto "Fisica x Kids" è quello con l'approccio riscontrato più simile rispetto alla proposta presentata da questa tesi. L'obiettivo del video, infatti, è quello di prendere diversi tipi di oggetti comuni e cercare di individuare i punti in comune e le differenze tra di loro. Si parte da osservazioni macroscopiche che tutti possiamo riconoscere, come le differenze al tatto, l'odore o il peso, per poi indagare le loro differenze interne, andando a rompere gli oggetti e osservandoli con il microscopio e, infine, descrivendoli microscopicamente. Si arriva così a percepire che tutta la materia ha una cosa in comune, ovvero tutta è composta da atomi. Questo è lo stesso tipo di comunicazione che vorrei portare nella mia proposta, ovvero indagare sulla materia per capire le differenze e le cose in comune che ci sono nella materia, ma adottando un diverso tipo di intrattenimento, basato sul

coinvolgimento attivo o emotivo degli studenti. Ritengo che il Teatro scientifico possa dare un'importante contributo in tal senso e per questo la mia proposta ne tiene conto.

2.6 Quale proposta per trattare la struttura della materia nelle scuole primarie

Il tema di struttura della materia, seppur non esplicitamente citato tra gli obiettivi da perseguire secondo le Indicazioni Nazionali, è spesso presente all'interno dei libri di testo di Scienze. Anche gli insegnanti con cui si sono svolti i colloqui hanno espresso la volontà di parlare delle proprietà macroscopiche della materia all'interno dei loro programmi. Ad esempio, durante le loro lezioni vengono descritti gli stati della materia (soprattutto in riferimento ai passaggi di stato dell'acqua) o le proprietà dell'aria e dell'acqua o ancora le differenze tra i vari tipi di materiali. La proposta che si vuole portare avanti in questo progetto di tesi è però soprattutto quella di parlare della struttura della materia e, quindi, far intraprendere agli studenti un viaggio all'interno della materia per fargli scoprire i costituenti microscopici della stessa. Si intende, quindi, parlare di atomi e delle particelle che li compongono, delle molecole e degli stati della materia. Questo tipo di argomenti vengono trattati a volte anche dai programmi dei libri di testo, ma raramente vengono approfonditi, dando priorità, come detto prima e indicato dalle Indicazioni Nazionali, alle proprietà macroscopiche della materia. Dalle ricerche svolte online si trovano però, molti contenuti didattici o divulgativi per parlare della struttura della materia ai bambini. Si crede, infatti, che questo possa essere un argomento adatto a stimolare la curiosità del bambino, trattandosi di una cosa che non conoscono e che, quindi, può suscitare un po' di mistero, ma che poi si scopre essere vicina ad argomenti che fanno parte della loro vita di tutti i giorni.

Un altro aspetto fondamentale riscontrato a seguito dei colloqui tenuti con gli e le insegnanti della scuola primaria, è come i bambini hanno bisogno di attività alternative da integrare alla didattica formale, che soprattutto si basino sul coinvolgimento del bambino, che li rendano partecipi del processo di apprendimento e che possano stimolare la curiosità che loro già manifestano a scuola.

Questa ricerca svolta online e presso gli istituti scolastici ha avvalorato la mia idea di provare a portare un progetto di teatro scientifico, che parli di struttura della materia, dentro le classi delle scuole primarie. Si crede, infatti, che il teatro possa essere lo strumento ideale per coinvolgere attivamente i bambini e fargli scoprire un nuovo modo di imparare. La discussione su cosa sia il Teatro Scientifico e perché si ritiene un valido strumento di didattica non formale si rimanda al capitolo seguente.

Capitolo 3

Il Teatro Scientifico

Numerosi sono i progetti di comunicazione che hanno l'obiettivo di promuovere la cultura scientifica e la passione per la ricerca. Ad esempio, si possono citare i numerosi progetti divulgativi promossi da enti di ricerca, come INFN, CNNR o INAF; questi portano avanti programmi didattici con le scuole, ma anche eventi e mostre aperti al pubblico. È possibile trovare, inoltre, numerosi mezzi di comunicazione, come canali Youtube o pagine social, che si dedicano a spiegazioni di fenomeni scientifici, per bambini, ragazzi, ma anche adulti, tra tutti si può sicuramente citare la pagina di grande successo "La fisica che ci piace" di Vincenzo Schettini. Questo tipo di comunicazione avvicina, soprattutto i giovani, a temi complessi utilizzando una comunicazione diretta in un contesto, come quello social, in cui i ragazzi sono abituati a interagire. Si possono, inoltre, trovare film che si basano su reali teorie scientifiche, come "Interstellar" o che prendono spunto dai temi di ricerca attuali, come "The Martian", o ancora film e serie tv basati sulla vita di grandi scienziati, e che inevitabilmente discutono le loro teorie, come "La teoria del tutto". Infine si possono trovare serie tv comedy che parlano della vita da scienziato, come la celebre serie "Big Bang Theory". La vastità di queste iniziative ha contribuito a creare consapevolezza intorno al mondo scientifico. Si è, inoltre, attribuito fascino attorno alla figura dello scienziato e a quello che studia e si rafforza la convinzione che la fisica abbia una grande importanza sociale. Si crede, però, che oltre a questi importantissimi obiettivi si debba coltivare la meraviglia per la scienza, l'emozione della scoperta. Una strategia alternativa potrebbe essere provare a partire dalle emozioni, dalla meraviglia,

per creare la condizione d'animo sulla quale poter stimolare la motivazione allo studio della Fisica, piuttosto che il contrario, ovvero partire dallo studio di teorie e concetti per poi sperare di arrivare alle emozioni dello studente. [6] Il teatro scientifico può essere lo strumento ideale per unire la meraviglia, lo stupore con la ragione e la conoscenza. Il teatro è il luogo in cui avviene uno scambio profondo tra attori e pubblico, in cui lo spettatore viene coinvolto dalla passione e dalle emozioni della scena e la comunicazione avviene attraverso il linguaggio poetico. Un arricchimento di questo tipo non rende solo affascinante la fisica, ma le dona una nuova vita. La poesia è, infatti, l'elemento aggiuntivo proprio del teatro rispetto agli altri progetti divulgativi - didattici promossi da enti di ricerca o ai film; il gesto e il linguaggio devono essere poetici e, quindi, devono avere una chiave di lettura chiara del messaggio che si vuole trasmettere, ma essere contenuti in una cornice estetica riconoscibile. Non basta solo raccontare le grandi scoperte che la nostra società ha prodotto nei secoli, ma bisogna coltivare l'entusiasmo per la scienza e assicurare il piacere della sua poesia.

Nel panorama dell'educazione, l'introduzione del Teatro scientifico emerge come uno strumento efficace per suscitare l'interesse degli studenti nei confronti della fisica e delle scienze in generale. Questo capitolo si propone di esplorare l'importanza e i benefici derivanti dall'integrazione di pratiche teatrali nella didattica della Fisica [11].

3.1 Perché il Teatro scientifico?

Come riportato nell'articolo "*Theatre to motivate the study of physics*" di Carpineti *et al* (2011) [6], sono ormai diverse le ricerche che mostrano come il livello di conoscenza e di motivazione delle materie scientifiche da parte degli studenti della scuola italiana è preoccupante. Nell'articolo si sottolinea come la maggior parte degli studenti con età superiore ai 15 anni consideri la fisica una risorsa utile per la società, con un'idea di essa fortemente legata agli sviluppi tecnologici, ma completamente sconnessa dalla cultura o incapace di contribuire allo sviluppo di un pensiero critico. L'articolo dichiara, inoltre, come l'interessamento per la fisica diminuisca con il procedere del grado scolastico. Rispetto a quest'ultima affermazione, nel capitolo precedente si è analizzata la situazione attuale della scuola primaria e i docenti affermano che i bambini sono molto interessati

ai temi scientifici e manifestano grande motivazione nell'imparare. Sorgono, quindi, domande su quale sia la causa che porta la motivazione degli studenti a diminuire con il procedere del grado scolastico. Nonostante la ricerca in didattica della fisica abbia favorito l'implementazione di strategie e metodi, la didattica continua a presentare diverse problematiche. La ricerca di Carpineti *et al* [6] mostra come le tradizionali strutture di insegnamento, mediamente riportate nei libri di testo, non bastano per riuscire a coinvolgere gli studenti e a far cambiare loro l'idea che hanno della disciplina. Anzi, spesso la fisica è presentata attraverso una serie sistematica di definizioni, senza che vi sia una reale comprensione da parte dello studente sul perché si studino tali argomenti, su cosa essi rappresentino per la società e senza, per esempio, che si analizzino i legami multidisciplinari.

Spesso sono, inoltre, proprio le strutture scolastiche che non attribuiscono sufficiente importanza alla formazione degli insegnanti in metodologie didattiche innovative e all'adozione di approcci interattivi per coinvolgere gli studenti, come affermano nell'articolo "*Stories and Theatre*", Giliberti *et al* (2021) [8]. Di conseguenza, molti insegnanti si trovano impreparati ad affrontare le sfide della didattica della fisica e a suscitare interesse negli studenti. Le proposte didattiche, per rendere la fisica più comprensibile e rilevante per gli studenti, devono mostrare come i concetti fisici si applicano nella vita reale e come possano essere utilizzati per interpretare il mondo che li circonda. [8] Per tale motivo, le metodologie non possono essere basate solo sui concetti, perché questi sono delle costruzioni mentali che spesso rappresentano il risultato finale di lunghe elaborazioni. Le discipline, in questo contesto, rappresentano le strutture necessarie per comprendere cosa sono i concetti e come sono coerentemente collegati tra loro nelle teorie generali. Tuttavia, non è seguendo rigidamente questa struttura disciplinare che sempre si ottiene il vero apprendimento. È necessario adottare approcci didattici che favoriscano l'attiva partecipazione degli studenti, la connessione con la vita reale e la comprensione del contesto più ampio in cui i concetti sono inseriti.

Inoltre la struttura didattica è necessaria ma non sufficiente per l'apprendimento, diventa così fondamentale l'inserimento di esperimenti o altri tipi di esperienze performative nella didattica della fisica. Per questo sarebbe anche necessario implementare l'educazione

formale con esperienze informali o non formali ¹.

Molti dei supporti esterni e di didattica non formale che vengono proposti alle scuole hanno l'obiettivo di andare proprio a risolvere questo problema nelle scuole secondarie, cercando di intervenire su studenti con una bassa motivazione e incrementare tale livello. In questo modo, si va ad agire su una situazione che presenta già un problema. È sicuramente fondamentale e necessario portare strumenti integrativi all'interno delle scuole secondarie di primo e secondo grado, ma si ritiene altrettanto necessario prevedere un piano di intervento che prevenga questo fenomeno. Sviluppare strategie didattiche alternative rivolte agli studenti della scuola primaria, la cui motivazione per le materie scientifiche è attiva, potrebbe agire in questa direzione. Tali interventi devono avere l'obiettivo di catturare curiosità innata dei bambini, rafforzandola e trasformandola in un interesse duraturo, attraverso esperienze che si possano fissare dentro la loro memoria per cercare di assicurare che la motivazione si mantenga viva nel corso dell'intero ciclo scolastico.

Non è, però, possibile paragonare semplicemente la curiosità per i fenomeni con l'acquisizione di strutture di conoscenza scientifica, che in genere vengono assorbite dopo anni di studio e lavoro. È necessario che questi interventi vengano strutturati in maniera adeguata, facendo in modo che possano essere complementari al lavoro svolto dall'istruzione formale.

L'articolo di Giliberti [8], precedentemente citato propone due strumenti di implementazioni alternative dentro le scuole primarie:

- L'utilizzo di *Storie*. Le storie possono raccontare di entità immaginarie il cui fine narrativo è spiegare fenomeni reali. Attraverso questo strumento viene catturata l'attenzione lungo l'arco narrativo, unendo l'attività scientifica con l'immaginazione.

¹Didattica formale: l'istruzione formale avviene in un contesto strutturato e istituzionale, come scuole e università, con programmi di studio prestabiliti e insegnanti qualificati, si conclude con l'acquisizione di una qualifica riconosciuta;

Didattica informale: l'apprendimento avviene, fuori dai contesti educativi, attraverso esperienze di vita quotidiana, interazioni sociali o attività provenienti da risorse educative nell'ambiente, come il cinema, lo sport o coltivare degli hobby;

Didattica non formale: l'educazione non formale si riferisce a programmi educativi organizzati al di fuori del sistema scolastico ufficiale, come workshop, corsi di formazione e attività extracurricolari

- Il *Teatro Scientifico*. Il teatro è uno strumento utile per sviluppare l'immaginazione scientifica, aiutando la conoscenza attraverso il coinvolgimento emotivo. Viene promossa, in questo modo, la cultura scientifica in maniera profonda e umana. L'attenzione, così come nelle commedie o nei drammi, viene mantenuta attiva attraverso un conflitto da risolvere, generato ad esempio da domande sulla fisica. Questo conflitto genera il coinvolgimento emotivo e successivamente partecipazione e interesse attivo.

Considerando che il teatro può essere uno strumento efficace per incrementare la motivazione degli studenti nello studio della fisica, è necessario analizzare le peculiarità che uno spettacolo di Teatro Scientifico deve avere e le scelte che si deve intraprendere per realizzarne uno.

In primis, è fondamentale scegliere un tema rilevante e coinvolgente, che possa stimolare la curiosità naturale dei giovani spettatori. Le tematiche da affrontare, infatti, possono essere di diverso tipo; è possibile realizzare uno spettacolo che narri della vita di uno scienziato o di un fatto storico rilevante per una determinata questione scientifica, oppure si può realizzare uno spettacolo che tratta direttamente un argomento scientifico. Lo spettacolo può seguire, quindi, una storia e avere dei personaggi reali, oppure essere avere un arco narrativo più astratto, seguire la logica dei principi fisici a cui si fa riferimento e avere dei personaggi meno realistici, che ad esempio possono rappresentare la figura di uno scienziato. Una delle questioni, che potrebbe presentare maggiori problematicità, è la scelta del linguaggio da utilizzare; si deve trovare l'equilibrio per cui, vista la complessità degli argomenti da trattare, il linguaggio non risulti troppo difficile da capire, ma che dall'altro lato non semplifichi troppo gli argomenti, arrivando a banalizzarli. Inoltre, si deve prestare attenzione nel cercare di mantenere un equilibrio tra educazione e intrattenimento e gestire la variabilità del livello di comprensione tra i diversi spettatori. Per tale motivo, lo spettacolo deve essere arricchito da elementi scenici derivanti sia dall'ambito didattico scientifico che da quello teatrale. Tra gli elementi chiave che è possibile includere ci sono esperimenti dal vivo, personaggi interattivi, narrazioni che intrecciano la scienza con storie accattivanti, momenti coreografici o ancora strutture provenienti dal mondo circense. Creare degli effetti, che possono essere sonori o di prestigio, potrebbero giocare un ruolo importante nel rendere lo spettacolo

dinamico e memorabile, aiutando a catturare l'attenzione in maniera più immediata. Inoltre, potrebbe essere strategico prevedere momenti di interazione con il pubblico per mantenere alto il coinvolgimento e verificare la comprensione dei contenuti presentati.

Io penso che il Teatro Scientifico possa essere utile anche nella scuola primaria, infatti, attraverso l'uso di drammatizzazioni, sequenze coreografiche, espressività del gesto e narrazioni interattive, il Teatro scientifico permette agli studenti di sperimentare in prima persona i principi fisici, di esplorare le leggi della natura attraverso l'azione e di sviluppare una comprensione dei fenomeni scientifici. Il teatro è di per sé insegnamento, pedagogia: è comunicazione, e, dunque, anche didattica, quando non scade in forme di puro intrattenimento. In questo contesto, analizzeremo come il Teatro scientifico non solo favorisca l'acquisizione di conoscenze scientifiche, ma anche promuova lo sviluppo della creatività, il pensiero critico, ma che soprattutto aumenti la motivazione e la curiosità verso gli studi scientifici.

Ho svolto una ricerca sull'uso del teatro scientifico come strumento adatto a coinvolgere gli studenti per motivarli nello studio delle discipline scientifiche. Per fare questo ho studiato anche alcune esperienze di teatro scientifico realizzate in Italia.

3.2 Esperienze di Teatro scientifico all'interno degli istituti scolastici

Una delle esperienze di Teatro Scientifico più rilevanti all'interno del contesto nazionale è quella realizzata dal Dipartimento di Fisica dell'Università degli Studi di Milano, ovvero il *Laboratorio di ScienzaTeatro* (SAT) nato nel 2004. Il laboratorio ha realizzato negli anni diversi spettacoli teatrali con temi fisici con l'obiettivo di ricercare una modalità di comunicazione che possano aumentare la motivazione degli studenti nello studio della Fisica. Numerosi sono gli articoli [6] [7] [8] [9] pubblicati per testimoniare le esperienze realizzate da questo gruppo di ricerca all'interno degli istituti scolastici e non, da cui è possibile evincere quali erano gli obiettivi del progetto, le scelte che sono state affrontate e i risultati ottenuti.

In un contesto in cui viene chiesto un rinnovamento delle metodologie didattiche delle discipline scientifiche, SAT viene promosso non solo come uno strumento che possa diffondere la cultura scientifica, ma che possa anche fascinare gli spettatori, sia fornendo informazioni che comunicando gli aspetti creativi e divertenti della fisica. Il progetto si presenta come uno spettacolo teatrale, ma è inserito in un percorso formativo - didattico da intraprendere con studenti e insegnanti. Il linguaggio, utilizzato durante gli spettacoli, è quello proprio della disciplina, non vuole essere semplificato, né vuole essere paragonato a quello della divulgazione o della comunicazione in classe, ma anzi vuole essere complesso come è complessa la Fisica di per sé. Queste scelte sono state intraprese per non rischiare di perdere la ricchezza della complessità della scienza, sempre con l'obiettivo di comunicare passione e curiosità. Per il medesimo motivo all'interno degli spettacoli di SAT gli attori vengono scelti in modo che abbiano sensibilità per il discorso e il linguaggio scientifico. Negli anni i cast degli spettacoli sono stati molteplici, ma in ogni caso in occasione del debutto gli autori (M. Carpineti, M. Giliberti e N. Ludwig) sono sempre anche gli attori della scena.

Tra i progetti realizzati dal gruppo di ricerca si possono citare tre spettacoli e una lezione - spettacolo [6]. "Facciamo luce sulla materia: lo spettacolo della Fisica", spettacolo del 2004 rivolto al triennio della scuola primaria nel quale i tre scienziati eseguono esperimenti sugli stati della materia e sulla luce; "Tracce", spettacolo del 2007 per il triennio della scuola secondaria di secondo grado e per l'Università sulla gioia della scoperta e il ruolo della scienza in essa; "Luce", lezione spettacolo del 2008 per la scuola secondaria di primo grado sul tema della luce; "Luce delle stelle" spettacolo del 2009 per la scuola secondaria di secondo grado sull'osservazione astronomica, in cui è presente una discussione su possibili problematiche e vantaggi della divulgazione scientifica.

Per valutare l'efficacia del progetto sono stati somministrati questionari prima e dopo la visione degli spettacoli. I risultati ottenuti sono stati molto positivi, soprattutto per lo spettacolo rivolto alla scuola primaria per cui le risposte sono state molto attente ai temi affrontati durante lo spettacolo; si è riscontrato come i bambini al secondo questionario cambiavano parte delle risposte presentate prima della visione, manifestando una maggiore conoscenza e interesse. Per quanto riguarda le scuole secondarie, le risposte

ricevute sono state comunque molto positive, ma meno partecipate; si sono comunque sviluppate nuove idee riguardo la Fisica e la volontà di approfondire alcuni dei temi trattati.

L'esperienza di Teatro Scientifico portata avanti dall'Università di Milano è sicuramente uno dei più strutturati contributi di didattica non formale su temi di Fisica dato negli ultimi vent'anni. Ma essendo un'attività di ricerca promossa da un'Università è anche il progetto da cui è stato possibile reperire maggiore materiale. È stato, infatti, possibile recuperare articoli didattici in cui si è studiata la storia di questo progetto, si sono analizzati gli spettacoli e i relativi risultati della ricerca effettuata.

Nel panorama nazionale esistono, però, diversi altri progetti istituzionali e non, che sono nati con l'obiettivo di comunicare in modo alternativo a quello formale la scienza. Tra questi si può sicuramente citare il promosso da TEATRO DEL SOLE in collaborazione con il Dipartimento di Fisica - Università degli Studi di Milano, il Parco Regionale Campo dei Fiori e l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia e *Le Nuvole - Teatro, Arte e Scienza* promosso da La casa del Contemporaneo e riconosciuto dal MiBACT. Il *Progetto Teatro - Scienza* tra questi due progetti, oltre ad aver partecipato alla realizzazione degli spettacoli con il *Laboratorio di ScienzaATeatro* si è occupato anche della produzione dello spettacolo "Il cielo si fece rosso - Viaggio al centro della terra" che è un progetto di divulgazione scientifica attraverso il teatro, con l'obiettivo di coinvolgere bambini e ragazzi ai temi della geofisica (Terra, Aurora boreale, Teoria della tettonica a placche, Vulcani, Terremoti, etc). Lo scopo di questo spettacolo è quello di trasmettere la consapevolezza della vitalità del nostro Pianeta ai bambini e ai ragazzi, ed è stato proposto sia come progetto all'interno della Scuola Primaria e della Scuola Secondaria di primo grado, sia al grande pubblico realizzando messe in scena all'interno dei programmi dei principali festival nazionali.

La realtà de *Le Nuvole*, invece, lavora nella comunicazione teatrale della scienza dal 1996, all'interno della Città della Scienza di Napoli, producendo performances teatralizzate e lezioni spettacolo sulla storia della scienza e sugli aspetti più critici del rapporto tra scienza e società. *Le Nuvole* realizzano, in questo contesto, azioni sperimentali nel campo delle arti, della scienza e della cultura, pensando al diritto dei giovanissimi di imparare

giocando per crescere creativamente e liberamente attraverso i linguaggi universali dello spettacolo.

3.2.1 Esperienze di Teatro scientifico fuori dal contesto scolastico

Esistono spettacoli di teatro scientifico che sono nati anche al di fuori dei contesti scolastici, ideati per essere rappresentati principalmente dentro le stagioni dei Teatri nazionali e rivolgendosi, quindi, a un pubblico più ampio e variegato. Tra questi, uno dei titoli di maggiore risalto è "Copenhagen" di Michael Frayn, un'opera che esplora i complessi rapporti tra i fisici Niels Bohr, sua moglie Margherita Bohr e Werner Heisenberg durante la Seconda Guerra Mondiale, attorno al dibattito sull'utilizzo di energia nucleare ai fini bellici. In Italia è stato portato in scena con la regia di Mauro Avogadro, da Umberto Orsini, Massimo Popolizio e Giuliana Lojodice. All'interno del filo narrativo vengono trattati diversi argomenti di fisica quantistica, come il problema dei tre corpi, il Principio di Indeterminazione di Heisenberg e la Teoria della complementarità di Bohr discussi proprio da due tra i più grandi fisici della storia. Lo spettacolo tiene, però, diverse linee di comunicazioni, infatti, oltre alle discussioni sulle tematiche scientifiche, vengono trattati alcuni aspetti della vita privata dei personaggi e soprattutto il dibattito etico attorno al tema del nucleare.

Un altro esempio significativo è "Infinities" di John Barrow, con la regia di Luca Ronconi, che affronta il concetto di infinito attraverso una serie di quadri scenici che intrecciano matematica, filosofia e cosmologia.

Ci sono, inoltre, molti altri esempi, magari meno noti di questi già citati, realizzati e portati in scena da compagnie teatrali che hanno comunque riscosso una buona partecipazione del pubblico, dimostrando quindi un forte interesse per questo tipo di attività. Sono però soprattutto le ricerche sviluppate intorno alla proposizione con gli studenti, come quelle pubblicate dal gruppo SAT, che indicano come il teatro scientifico possa essere utilizzato per rendere accessibili e affascinanti anche i temi più complessi, stimolando la curiosità e la riflessione del pubblico. E quindi come questo possa essere utile per sviluppare proposte di teatro scientifico per la scuola.

Proprio per questo ho pensato di realizzare una sperimentazione all'interno del contesto

scolastico dello spettacolo di Teatro Scientifico da me proposto, la cui analisi è rimandata al capitolo successivo.

Capitolo 4

Sperimentazione di una lezione - spettacolo all'interno del contesto scolastico

Dopo aver esaminato il contesto della scuola primaria e i materiali didattici che è possibile recuperare online nel capitolo 2 e l'esperienza di Teatro Scientifico presente sul territorio nazionale, ritengo che il teatro possa essere uno strumento ideale per integrare la didattica formale. Personalmente, infatti, ho esperienza professionale come attrice e insegnante teatrale. Lavoro da sei anni per una compagnia teatrale, la Margot Theatre Company, che si occupa di pedagogia teatrale e della produzione di spettacoli professionali, lavorando su diversi stili di arti performative: teatro di prosa, physical theatre, teatro danza e anche teatro ragazzi. Per quanto riguarda le attività rivolte a bambini e ragazzi, Margot Theatre è da sempre impegnata nella divulgazione e nell'educazione, sia con progetti di formazione teatrale, che con spettacoli educativi pensati per avvicinare i più piccoli al mondo del sapere. Il teatro viene promosso come strumento di crescita e formazione: la convinzione alla base è che le attività artistiche e laboratoriali siano validi mezzi di educazione alternativa, per aprire nuovi canali di comprensione attraverso l'espressività e la creatività, in un contesto di condivisione e divertimento. In quest'ottica abbiamo creato una rassegna di spettacoli educativi su diversi temi come la fisica, l'educazione civica e l'educazione ambientale. Lo spettacolo

"*Siamo fatti della stessa materia*" si inserisce all'interno della rassegna, unendo il teatro e la fisica della materia per svelare i segreti del mondo e spiegare ai i più piccoli quello che vediamo e tocchiamo. Lo spettacolo è stato creato per un pubblico di famiglie, più precisamente un pubblico di genitori, bambini e ragazzi dai 6 ai 12 anni ed ha debuttato nel 2021 presso il Castello di Santa Severa (RM) in occasione della rassegna "L'armadio delle curiosità". A seguito degli studi condotti ho ritenuto che questo spettacolo potesse essere trasformato in uno strumento didattico, diventando oggetto di questa tesi.

Lo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*", fa un'indagine con lo spettatore sulla struttura della materia, partendo da una didattica basata sulla materia condensata fino a riuscire a spiegare le proprietà macroscopiche della stessa. L'obiettivo dello spettacolo, però, non è quello di fornire una trattazione completa ed esaustiva agli studenti, così che essi possano apprendere l'effettiva composizione della materia che li circonda, ma è quello di avvicinare i bambini e le bambine alla Fisica e al fascino che essa possa provocare, attraverso i suoi aspetti creativi e divertenti. Il vero obiettivo è, quindi, quello di suscitare meraviglia allo studente attraverso l'utilizzo del teatro, veicolo adatto a trasmettere stupore e incanto e quindi strumento ideale per stimolare l'interesse e la partecipazione ai temi della scienza. L'analisi delle scelte relative all'utilizzo di Teatro scientifico come metodo didattico è approfondito al capitolo 3. La scelta di parlare di struttura della materia attraverso il teatro è stata fatta per cercare di avvicinare i bambini al mondo della fisica. Si è ritenuto che questo potesse essere fatto attraverso un viaggio volto ad indagare il mondo che ci circonda. I bambini guardando lo spettacolo vengono posti davanti a delle domande su quest'ultimo; la materia è tutto ciò che occupa uno spazio ed ha una massa, ovvero tutto ciò che li circonda, che loro possono toccare e vedere. Ma come è fatta veramente? Cosa distingue un oggetto da un altro? Indagare per cercare di dare risposta a queste domande deve essere per loro come un mistero e un viaggio dal mondo microscopico fino a ciò che conoscono. Stimolare la loro immaginazione e curiosità partendo da ciò che già fa parte della loro vita fino a scoprire cose che, invece, non conoscono è lo scopo di questo lavoro.

Attraverso le ricerche effettuate sui libri di testo scolastici e sul web, si sono trovate

numerose proposte didattiche sul tema della materia e questo conferma come sia a cuore alla comunità scientifica e agli insegnanti portare l'argomento all'interno della scuola. Vengono utilizzate diverse modalità e approcci sul tema e si ritiene che lo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*" possa essere inserito in questo contesto diventando una risorsa didattica fondamentale. Lo spettacolo ha molti contenuti in comune con i progetti didattici e divulgativi esaminati, ma pone l'attenzione sull'interazione e il coinvolgimento con i bambini e le bambine. A seguito di questa constatazione si è scelto di apportare alcune modifiche al testo dello spettacolo e si è deciso di realizzare dei contenuti da fornire agli insegnanti e agli studenti. Nonostante si sia dovuto affrontare un lavoro per adeguare il progetto ad un contesto scolastico, si crede che questa possa essere un'opportunità importante per le scuole. Dai colloqui avuti con le insegnanti, era emerso come l'interattività e il coinvolgimento fossero fondamentali per aiutare l'apprendimento di concetti difficili da parte dei bambini e come non sia facile per tutti gli insegnanti adeguare il loro metodo a queste necessità. Si propone, quindi, di inserire uno strumento in cui i bambini possano imparare divertendosi e diventando essi stessi protagonisti del processo di apprendimento.

Si crede che lo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*" possa essere uno strumento utile all'interno della classe per integrare una didattica formale. Lo spettacolo è andato in scena in contesti performativi rivolgendo l'attenzione ad un pubblico di teatro per ragazzi, non ha avuto, però, esperienze all'interno di un contesto scolastico. Si è ritenuto necessario sperimentare l'efficacia del progetto all'interno di un gruppo classe, chiedendo la possibilità ad una delle insegnanti con cui si era tenuto il colloquio di poter fare una lezione a riguardo.

4.1 Ideazione e progettazione dell'intervento in classe

Per sperimentare la validità di una proposta teatrale è stato organizzato un incontro con una classe del terzo anno della scuola primaria per testare la metodologia del Teatro Scientifico realizzando una lezione basata sullo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*", oggetto di questo lavoro di tesi. Questo ha lo scopo di verificare le conoscenze scientifiche degli alunni e soprattutto del loro interessamento a riguardo e, quindi, scoprire i punti di forza e di debolezza dello spettacolo. A questo punto è stato

fondamentale scegliere le modalità di esecuzione dell'incontro. Infatti, lo spettacolo non può essere semplicemente replicato nella sua forma integrale all'interno di una classe. Innanzitutto, il copione è stato riscritto e ridotto per l'occasione, si è scelto di portare degli estratti dello spettacolo adattandoli ad uno degli argomenti che già hanno affrontato, ovvero l'acqua. L'obiettivo, così come nello spettacolo intero, è quello di far interessare i bambini a scoprire cosa c'è dentro la materia e nel caso specifico cosa c'è dentro l'acqua. Si è ritenuto, infatti, importante partire da una cosa che loro già conoscono e hanno studiato a scuola e poi indagare i costituenti della materia. Si è scelto come protagonista l'atomo, si è cercato di capire come esso è fatto e successivamente come gli atomi si uniscano per costituire le molecole e a loro volta come queste si comportano negli stati solidi, liquidi o gassosi. Seguentemente, si è convertita la modalità di spettacolo frontale in lezione - spettacolo, ovvero è stata realizzata una lezione in cui gli studenti erano sia spettatori che protagonisti dell'azione, mediante l'utilizzo di esercizi teatrali. Infatti, una volta iniziate le prove si è capito che il contesto, non essendo quello teatrale canonico non sarebbe stato adatto a ospitare una rappresentazione teatrale. In una classe non sarebbe stato possibile realizzare alcuna struttura coreografica, a cui viene attribuito il ruolo di catalizzazione dell'attenzione, se unita ai monologhi scientifici del personaggio. Infatti si crede che attraverso il movimento e la realizzazione di immagini, che possono essere poetiche o divertenti, i concetti che lo spettacolo cerca di comunicare possano rimanere più impressi nella mente del bambino. Per tale motivo, si è deciso di coniugare delle piccole sequenze di movimento, realizzabili in un'aula scolastica con dei momenti di interazione, trasformando l'incontro in una lezione - spettacolo. L'interazione è stata inserita sia con momenti di movimento scenico, sia facendo impersonificare ai bambini i protagonisti della storia, come i protoni, neutroni ed elettroni o gli atomi dentro la molecola d'acqua o sia attraverso esercizi di gioco teatro sui temi dello spettacolo. In questo modo, si crede che la memorizzazione dell'allievo avvenga non solo attraverso la spiegazione orale, ma anche attraverso il gioco e i movimenti che gli vengono fatti fare. Si inserisce in figura 4.1 un estratto del copione scritto, inizialmente, per la lezione con gli appunti e le modifiche apportate.

fatti tutti di materia, sia i viventi che i non viventi. Infatti la materia è tutto ciò che occupa lo spazio che vediamo e che a un peso e la materia è costituita da ATOMI. Per scoprire cosa sono e come è fatto veramente tutto ciò che ci circonda dobbiamo fare un viaggio al centro della materia. → SEQUENZA COREOGRAFICA

Partiamo da una cosa che conoscete e che avete studiato a scuola. L'acqua. Se doveste descrivere l'acqua come fareste (Interazione, cercare di capire quale è la loro concezione di acqua. Come materia inorganica, quali caratteristiche ha). Allora l'acqua abbiamo detto essere una materia inorganica e quindi deve anche lei essere composta da atomi. Ma cosa sono questi atomi?
 - Interazione
 - text only
 - come si muove l'acqua?
 - quali è il suo uso?
 - > esaltate
 - > esaltate
 - > esaltate
 - > esaltate

(Impostare il monologo insieme ad alcuni movimenti che li aiutano a capire. Sarà presente un collega che si occuperà solo della parte coreografica)

Immaginiamo di prendere un bicchiere d'acqua e di poter guardare con una super lente di ingrandimento al suo interno. Quello che vediamo è la materia organizzata in tanti piccoli mattoncini, come i lego. Che dico piccoli, piccolissimi. Più piccoli di quanto voi possiate immaginare. Vai, pensate ad una cosa microscopica. Per esempio, un granello di sabbia. Immaginate di dividere un granello di sabbia in due. Prendere una metà e dividerla ancora, prendere la metà della metà e dividerla, prendete la metà della metà della metà e... continuate così non dieci, non cento, non mille, ma miliardi di volte. Esiste un mondo microscopico nascosto dentro ogni cosa, e questo mondo è abitato dagli atomi, i protagonisti del nostro viaggio. Ma cosa sono questi atomi? Sono la cosa più piccola presente nell'Universo? Beh in realtà no, perché l'atomo a sua volta è fatto da particelle. Gli atomi sono fatti da particelle che sono come delle palline.
 - Come sono fatti?
 - SCATCH: mimare

Immaginatevi come delle palline. Ci sono particelle simili tra di loro e altre che sono diversissime. Ci sono particelle pesanti! E altre invece leggerissime. Alcune vivono a lungo, altre vivono solo un secondo, poverette! Ci sono particelle che si dicono positive, come se avessero sempre il sorriso e altre invece negative, perché sono sempre tristi. Queste noi non le possiamo vedere, perché sono troppo piccole per l'occhio umano, ma fidatevi sono in tutto l'Universo. E poi ci sono anche
 - Nell'Universo ci sono tantissime particelle, ma noi siamo interessati solo a quelle che compongono gli atomi e sono 1 di tre tipi. Il protone, l'elettrone e il neutrone

Figura 4.1: Sezione del copione per la lezione spettacolo con gli appunti e le modifiche apportate prima della rappresentazione

4.2 Realizzazione della lezione - spettacolo

Il gruppo classe in cui è stato realizzato l'esperimento fa parte del terzo anno dell'Istituto Comprensivo Salvo D'Acquisto di Cerveteri (RM). L'incontro è stato fatto durante l'ora e con il sostegno della docente Daniela Montefiori. Il gruppo classe è composto da 15 bambini con un componente BES, di cui 8 femmine e 7 maschi. L'intervento in totale è durato 50 minuti; prima e dopo la lezione è stato organizzato un momento di confronto con i bambini della classe per indagare le loro conoscenze a priori riguardo la materia e il loro interessamento a scoprire gli aspetti microscopici della stessa e poi per indagare l'effettivo andamento dell'esperimento.

L'aula in cui è avvenuta l'esperienza è stata liberata, spostando i banchi ai lati, in questo modo è stato possibile iniziare posizionando i bambini a cerchio. L'esperienza è, quindi, iniziata con delle domande: la prima serie di domande riguardavano il teatro; la seconda serie di domande riguardavano la scienza in generale; l'ultima serie riguardava il tema dello spettacolo, ovvero la materia. Durante l'indagine è stato chiesto ai bambini se sapessero cosa fosse il teatro. In generale, le risposte sono state affermative. Alcuni

di loro erano già stati a teatro con la scuola e alcuni anche con la famiglia, in generale ricordano l'esperienza con entusiasmo. Il teatro è visto principalmente come il luogo in cui ci si esibisce. Proseguendo con le domande sulla scienza, i bambini hanno risposto in maniera entusiasta alla domanda se sapessero cosa fosse la scienza, ma hanno avuto difficoltà a spiegare cosa studiano a scuola in ambito scientifico e non sono stati in grado di rispondere alla domanda su cosa fosse la fisica. Quando è stato chiesto cosa fosse la materia secondo loro, i bambini hanno associato la materia al termine "materiali" e conoscevano la differenza tra materia organica e inorganica. Sono riusciti a fare esempi riguardo a queste categorie, mostrando una certa comprensione di base. Tuttavia, non conoscevano i concetti di atomo e molecola; solo alcuni di loro ne avevano sentito parlare. Infine, alla domanda se gli potesse piacere scoprire come è fatta la materia al suo interno, i bambini hanno mostrato curiosità e interesse, suggerendo che ci sarebbe potuto essere un contesto adatto per introdurre concetti scientifici più complessi attraverso metodi didattici alternativi.

La lezione - spettacolo è iniziata ponendo un'ulteriore domanda ai bambini, ovvero gli è stato chiesto cosa avessero in comune gli oggetti, gli esseri umani, gli animali e tutte le cose che ci circondano, utilizzando esempi molto simpatici. La risposta è data poi da me ed è il titolo dello spettacolo, ovvero siamo fatti tutti della stessa materia. L'obiettivo della lezione è proprio cercare di dare spiegazione a questa domanda. La prima questione da risolvere è il fargli capire che la frase "Siamo fatti della stessa materia" non vuole dire che siamo tutti uguali. Per fare questo si è impostato un esercizio di mimo, in cui viene chiesto di trasformarsi in tre oggetti, una penna, una sedia e un uccellino. In maniera divertente viene poi fatto notare loro che per quanto siano stati bravi non sono diventati veramente quegli oggetti. L'obiettivo è quello di far entrare i bambini nel racconto e farli incuriosire sulla domanda che gli avevo fatto: se non vuole dire che siamo tutti uguali, cosa vuol dire allora? A questo punto gli ho spiegato che il significato della frase è che siamo fatti tutti di materia e quindi spiegando loro cosa è la materia. La spiegazione, in questo caso più nozionistica, viene accompagnata da una sequenza di teatro fisico. Prese, salti e giri vengono accostati ai concetti, utilizzando una leggera didascalia gesto-nozione, con l'obiettivo di rendere quest'ultima più immediata. In

questa fase è ancora importante catturare l'attenzione mediante momenti di interazione divertenti e momenti di osservazione spettacolari. Spiegato cosa è la materia, bisogna iniziare con il viaggio dentro il centro della materia per scoprire i costituenti più piccoli della stessa. Si parte dall'acqua, materia inorganica che loro conoscono, e gli viene chiesto di descriverla e fare un gioco di imitazione. Da qui viene detto loro che se prendiamo una super lente di ingrandimento e guardiamo dentro un bicchiere d'acqua, quello che vedremo è che la materia è organizzata in atomi. Viene spiegato loro che gli atomi sono così piccoli da non poterli vedere e che esiste un mondo microscopico nascosto dietro ogni cosa abitato dagli atomi. Questa parte della lezione non richiede l'interazione dei bambini e la spiegazione viene accompagnata da scatch e scene di mimo. Si dice loro che gli atomi sono fatti di particelle, che nell'Universo esistono tanti tipi di particelle, ma noi siamo interessati solo a quelle che compongono gli atomi, ovvero il protone, l'elettrone e il neutrone. Per far comprendere loro cosa sono queste particelle e come si compongono all'interno dell'atomo si racconta una storia e viene chiesto loro di diventare i protagonisti del racconto. Si chiede loro di dividersi in tre gruppi: al primo gruppo viene chiesto di diventare i protoni, particelle positive, sempre allegre e sorridenti, che amano raccontare storie divertenti; al secondo gruppo viene chiesto di diventare i neutroni, particelle neutre, molto timide, che vanno sempre d'accordo con tutti, ma che sono sempre stanchi; al terzo gruppo viene chiesto di diventare gli elettroni, particelle negative, sempre arrabbiate e che camminano sbattendo i piedi. I bambini devono imitare quello che viene raccontato. La storia continua, i protoni litigavano sempre con gli elettroni, mentre i neutroni erano stanchi di tutti questi litigi, per questo i neutroni decidono di andare a vivere da soli con i protoni in una casa chiamata nucleo. Gli elettroni, allora, arrabbiati iniziarono a girargli intorno sbattendo i piedi. Spiegandogli il parallelismo tra la storia e la forma dell'atomo, gli viene detto che se ingrandissimo il nucleo fino a farlo diventare grande come un pugno allora l'elettrone non si troverebbe vicino a noi e neanche in fondo al corridoio, ma ad un chilometro di distanza. Per spiegare, invece, che gli atomi non sono tutti uguali, gli viene detto che se noi guardassimo due di loro posti a molta distanza da noi non riusciremmo a distinguerli, perché entrambi posseggono due gambe, due braccia, una testa, ma in realtà loro non sono uguali. Gli viene poi chiesto le differenze tra di loro. Così gli atomi sono

diversi tra di loro perché hanno un diverso numero di elettroni, protoni e neutroni. Dagli atomi viene fatta una piccola digressione sugli elementi e in particolare vengono trattati gli elementi presenti nell'acqua, l'Idrogeno e l'Ossigeno. Per ognuna di esse in base al numero di elettroni vengono associate delle caratteristiche a delle musiche.

Poi si passa alla formazione della molecola d'acqua e questo viene fatto in due passaggi. Prima viene data l'immagine della molecola con l'utilizzo di palline colorate, due palline gialle per l'Idrogeno e una blu per l'Ossigeno e con queste palline viene mostrato un numero di giocoleria. Poi i bambini vengono divisi in gruppi da tre e ad ognuno di loro viene associato un atomo, gli viene detto di tenersi per mano e trasformarsi nella molecola d'acqua.

Infine, l'ultima parte è dedicata ai passaggi di stato. Gli viene detto che siano quasi alla fine del viaggio e che ci manca solo da capire come stanno le molecole dentro la materia. Gli viene detto che nello stato solido, come il ghiaccio, le molecole sono tutte attaccate tra di loro e occupano una posizione precisa. Poi gli viene chiesto cosa succede se il ghiaccio viene messo sotto il sole e loro sanno rispondere, dicendo che diventa acqua e gli viene spiegato che nello stato liquido le molecole si muovono, ma senza uscire dal contenitore in cui si trova il liquido. Se anche il liquido viene riscaldato l'acqua diventa vapore acqueo e si passa nello stato gassoso, in questo stato gli viene detto che le molecole sono libere di muoversi in tutto lo spazio che hanno a disposizione. A questa spiegazione viene associato un esercizio di gioco teatro. In questo esercizio vengono disegnate delle figure geometriche sul pavimento della classe e i bambini, ancora divisi in molecole d'acqua, dovevano rispettare i comandi. Se veniva dato il comando "Ghiaccio" i bambini dovevano unirsi per formare le figure geometriche disegnate; se il comando era "Acqua" allora potevano muoversi, ma senza uscire dai confini della figura; infine, se il comando era "Gas" potevano muoversi liberamente in tutta l'aula.

Alla fine sono state poste delle domande riguardo la lezione-spettacolo appena vista. Gli viene chiesto cosa hanno capito, ripercorrendo le varie fasi del lavoro e poi se quello che hanno visto gli è piaciuto. Per prima cosa ho chiesto ai bambini se si ricordassero come si comportano le molecole in un bicchiere d'acqua, molti di loro hanno risposto che le molecole si muovono restando all'interno del recipiente. Tuttavia,

alcuni hanno avuto bisogno di un piccolo aiuto, ripetendo la domanda in modo che la risposta fosse semplicemente un sì o un no. Successivamente, ho chiesto cosa ci fosse dentro le molecole d'acqua. Con sicurezza, i bambini hanno risposto che ci sono gli atomi di idrogeno e ossigeno. Per spiegare che gli atomi sono composti da particelle come protoni, neutroni ed elettroni, ho dovuto aiutarli un po'. Ho iniziato a dare io la risposta e loro hanno completato. Per ricordarsi le caratteristiche delle particelle, i bambini si sono ricordati delle emozioni che avevo associato a ciascuna di essa. Hanno anche ricordato che gli atomi sono piccoli, che il protone e il neutrone si trovano nel nucleo, mentre l'elettrone è molto distante dal nucleo. Poi ho chiesto se avessero trovato interessante scoprire come è fatta la materia. La risposta è stata affermativa: tutti erano entusiasti di continuare a esplorare questo argomento. Pertanto ho chiesto se volessero scoprire altre cose, hanno risposto di sì, ma hanno fatto difficoltà a specificare cosa esattamente volessero scoprire. Tuttavia, erano aperti e curiosi di imparare di più. Infine, ho chiesto loro quale fosse la cosa che li aveva colpiti di più, molti bambini hanno menzionato l'esercizio "Gas, acqua, ghiaccio" e l'immagine della molecola d'acqua rappresentata con palline colorate. Ho chiuso la lezione chiedendo loro se si fossero divertiti e se la lezione un po' speciale fosse piaciuta, la risposta è stata unanimemente affermativa.

4.3 Analisi della lezione - spettacolo svolta

Si ritiene che la lezione si sia conclusa con un discreto successo e i bambini hanno partecipato attivamente a tutto il corso dell'attività. Alle domande precedenti alla lezione hanno risposto con timidezza, avevano voglia di rispondere alle domande ma spesso non sapevano cosa rispondere. Alla fine della rappresentazione sono state fatte diverse domande, a primo impatto i bambini sono riusciti a rispondere poco, ma poi con l'aiuto anche della docente, che li ha aiutati a ricordare i vari passaggi della lezione, i bambini sono riusciti a ricordarsi molti dei concetti mostrati. La cosa che gli è rimasta più impressa è stato sicuramente l'esercizio associato ai passaggi di stato, quest'esercizio gli ha permesso di entrare nella dinamica del gioco, in cui il bambino riesce a capire i concetti divertendosi. L'altra parte che gli è rimasta impressa è stata la molecola dell'acqua, in cui gli atomi sono stati rappresentati da delle palline circolari colorate; associando due

palline arancioni all'Idrogeno e una pallina blu per l'Ossigeno e realizzando con esse un piccolo momento di giocoleria, la composizione della molecola dell'acqua è rimasta molto impressa nella memoria dei bambini. A seguito di questa testimonianza, viene riconosciuta particolare importanza alle immagini e alle associazioni con i colori e si ritiene che questo aspetto vada potenziato nello spettacolo integrale. Infatti, nella parte della struttura dell'atomo, nonostante sia stato realizzato un esercizio di impersonificazione molto funzionale, la forma dell'atomo è stata in parte capita, ma non gli è rimasta molto impressa nella memoria, forse a colpa del fatto che non è stato dato anche un supporto visivo. Un ultimo fattore analizzato a seguito del test sono state le tempistiche con cui vengono trattati i vari argomenti. La consequenzialità degli argomenti è stata funzionale, sono riusciti a capire il passaggio dagli atomi, alle molecole, agli stati della materia. In questa realizzazione si è scelto però di trattare gli argomenti in forma ridotta, visto che non si è trattato di un vero e proprio spettacolo. Alcuni passaggi sono risultati un po' artificiosi e troppo rapidi per essere immagazzinati dai bambini. Su questo aspetto ho ritenuto necessario ricontrollare la sceneggiatura dello spettacolo integrale, per dilatare le parti più complesse. Queste valutazioni sono state elaborate anche a seguito di un altro colloquio avuto con l'insegnante a seguito della realizzazione della lezione. Lei mi ha fatto i complimenti per come è andata l'incontro, ha riportato che i bambini sono rimasti colpiti dalla lezione e si sono divertiti molto. Le scene in cui è stato dato un supporto visivo o sono stati coinvolti con un'interazione divertente le sono piaciute molto e le ha trovate più funzionali. Mi ha però dato il consiglio di prendere più pause e di stare attenta ad aspettare i tempi di apprendimento dei bambini. Loro ne hanno parlato in classe e hanno realizzato dei disegni, ne riporto alcuni in figura 4.2

A conclusione, l'esperimento realizzato per testare la metodologia del Teatro Scientifico attraverso la lezione - spettacolo di *"Siamo fatti della stessa materia"* ha avuto un esito positivo. Sono stati registrati i punti di forza dello spettacolo e i punti deboli che devono essere potenziati. Nonostante la parte coreografica sia stata realizzata soltanto in maniera parziale, questa è risultata importante ed ha subito catturato l'attenzione dei bambini. Si ritiene, però, necessario rinforzare i supporti visivi e le associazioni con colori e immagini e riuscire a dare i giusti tempi di apprendimento ad ogni argomento. La parte di interazione attiva mediante esercizi teatrali ha riscontrato molto successo e

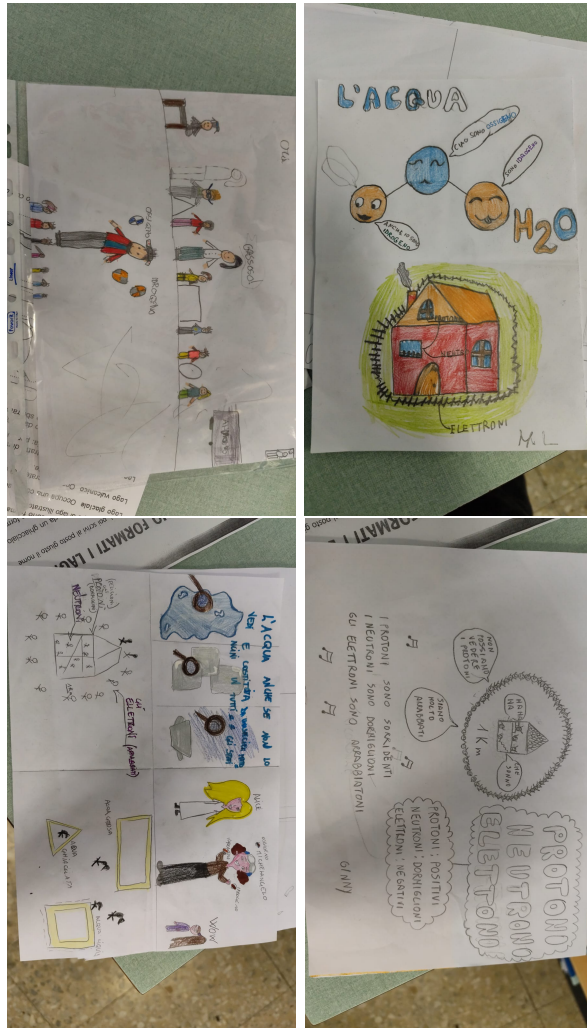


Figura 4.2: Caption

per tale motivo si è valutato l'opzione di inserirla all'interno dello spettacolo completo.

Capitolo 5

Analisi dello spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*"

A seguito della ricerca e della sperimentazione svolta nel capitolo 4, in questo capitolo si analizzano le scelte e i cambiamenti apportati sullo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*" per realizzare il progetto da presentare nelle classi della scuola primaria.

5.1 Metodo e linguaggi utilizzati in "*Siamo fatti della stessa materia*"

Lo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*" è stato introdotto nel capitolo 4. Si tratta di un progetto realizzato per la prima volta nel 2021 da una mia collaborazione, costruita negli anni, con la Margot Theatre Company. Lo spettacolo, come già riportato nel capitolo precedente è nato come progetto di Teatro Ragazzi ¹ e successivamente si è deciso di trasformarlo in un progetto didattico rivolto in maniera specifica alle classi della scuola primaria. I cambiamenti attuati per riuscire in questo obiettivo sono analizzati nel paragrafo 5.2, viene, invece, trattato il metodo e il linguaggio portati avanti dentro lo spettacolo.

¹termine usato nel gergo teatrale per descrivere quegli spettacoli che possono essere rivolti a bambini, scuole o famiglie

Lo spettacolo mette in scena tre attori, uno di questi prende il ruolo di Narratore, mentre gli altri due hanno il compito di portare avanti la partitura di movimento. La parola e, quindi, tutti i contenuti di testo vengono portati avanti solo dal primo di questi attori, che assume il ruolo dell'insegnante/scienziato. Questo tipo di impostazione scenica non può essere chiamata monologo, che per definizione è una scena in cui un attore compare o resta solo e parla come se pensasse ad alta voce; nel nostro caso il discorso è impostato come se fosse un dialogo tra il narratore e il pubblico, creando appunto l'immagine di narratore/insegnante. Il metodo impostato nel costruire la narrazione è quello della pedagogia teatrale, che innanzitutto punta sul coinvolgimento: l'attore deve stare attento a non cadere su schemi didattici paragonabili a quelli scolastici non può permettersi di annoiare il pubblico che ha davanti. La recitazione del testo teatrale deve giocare su diversi ritmi, ovvero utilizzare ritmi teatrali intelligenti, con cambi repentini e incalzanti, o sull'espressività della voce, come cambi di tonalità e volume. L'attenzione dello spettatore va costantemente stimolata, mantenendo lo spettatore attivo e attento a cogliere gesti, pause ed espressioni del viso, ossia tutti elementi che differenziano una lezione frontale da un testo recitato. Ma questo non è sufficiente: la tecnica e la matematica del ritmo del discorso possono tenere alta la concentrazione, ma non garantiscono l'apprendimento di ciò che viene detto. Subentra, dunque, l'interpretazione del testo: la pedagogia teatrale mira a un coinvolgimento emotivo degli studenti, trasmettendo un pensiero attraverso la sensibilità dello spettatore. Apprendere, dunque, non solo attraverso l'acquisizione di concetti, già ampiamente promosso dall'insegnamento tradizionale, ma anche attraverso sensazioni e suggestioni, che portano lo studente a un diverso livello di comprensione. Bisogna colpire l'immaginazione di chi ascolta per lasciare un'impronta duratura e sviluppata in modo del tutto personale. L'idea è quella di promuovere la comprensione attraverso la memoria emotiva: i temi scientifici trattati all'interno dei programmi scolastici corrono a volte il rischio di risultare freddi, distanti dal fare quotidiano e quando gli studenti hanno il compito di imparare determinati argomenti dimenticano che tutto ciò che è legge è stato pensato da persone umane per rispondere a grandi quesiti sul mondo che ci circonda. Il compito della pedagogia teatrale è quello di restituire vita, umanità e connessione con la vita reale agli argomenti scientifici, che hanno perso all'interno del contesto scolastici.

Per riuscire ad arricchire la sceneggiatura, rendendola più coinvolgente ed emozionante, lo spettacolo prevede la partecipazione di altri due attori, che possano integrare la parte narrativa con sequenze sceniche di movimento. A questi due personaggi non gli è richiesto di parlare, rappresentano degli assistenti dello scienziato con connotazioni comico/grottesco. Sono, infatti, personaggi buffi e divertenti, ma anche dolci e ingenui, che portano avanti il coinvolgimento emotivo della scena: le loro azioni possono accompagnare lo spettatore nello sviluppo della scena, possono rappresentare egli stessi il problema da risolvere o ancora possono rappresentare la meraviglia per la scoperta, provandola direttamente sul proprio personaggio. Per fare questo si è deciso di non affidare questo ruolo a dei personaggi reali, che portato avanti la narrazione attraverso dialoghi o riflessioni proprie, ma si è scelto di affidarlo a personaggi poetici, onirici, che attraverso le loro azioni permettono al pubblico di affezionarsi.

L'attore, infatti, prima di tutto è il suo corpo: è attraverso il corpo che il pensiero si esprime, è il corpo che si vede in scena per primo, è nel corpo che le emozioni si provano. Queste considerazioni di carattere attoriale, sono quelle che maggiormente si sviluppano nel metodo e nello stile portato avanti da Margot Theatre Company negli anni e nello specifico anche in questo spettacolo. L'apprendimento viene promosso attraverso la fisicità, confidando nel fatto che la memoria fisica è spesso più efficace di quella intellettuale. Una sensazione fisica rimane impressa anche dopo essere terminata e può, ancora una volta, umanizzare e rendere personale un pensiero altrimenti astratto e distaccato. Quando si trattano temi scientifici, come la Fisica nel caso dello spettacolo oggetto di questa tesi, è ovviamente impensabile realizzare esperienze fisiche strettamente riferibili agli argomenti affrontati. Infatti, si svolgono sequenze simboliche, che rimandano al tema trattato in modo metaforico: anche se il collegamento può non risultare subito evidente, si opera in profondità, attraverso dinamiche non logiche e non razionali, ma vissute sulla propria pelle.

Questo tipo di fisicità può essere sviluppato attraverso sequenze di movimento di diverso tipo, tra gli stili di movimento scenico sviluppati durante lo spettacolo si può sicuramente riconoscere elementi assorbiti dalle arti circensi, come il mimo o la giocoleria,

dalla danza, nonostante gli attori di questo spettacolo non si definiscono ballerini, e dal Physical Theatre. Quest'ultimo è quello che più abbraccia lo stile portato avanti dalla compagnia nei suoi spettacoli in generale, e in "*Siamo fatti della stessa materia*" nello specifico, e per questo motivo si rimanda ad una piccola digressione a riguardo nel paragrafo 5.1.1.

5.1.1 Il Teatro Fisico

Il Physical Theatre, o teatro fisico, è una forma di espressione teatrale che enfatizza l'uso del corpo umano come principale mezzo di comunicazione scenica. Nato all'incrocio tra danza, mimo, e teatro tradizionale, questo approccio teatrale si sviluppa in Europa nel corso del XX secolo, con una particolare influenza dalla Francia e dal Regno Unito. Le caratteristiche principali del Physical Theatre includono un forte focus sulla fisicità degli attori, l'uso minimale della parola, e una narrazione che spesso si sviluppa attraverso il movimento e l'azione corporea piuttosto che attraverso dialoghi verbali. Questo stile teatrale si distingue per la sua capacità di esplorare tematiche complesse e astratte attraverso l'espressività fisica, creando performance che sono allo stesso tempo viscerali e poetiche. L'obiettivo del Physical Theatre è quello di creare un'esperienza immersiva e coinvolgente per il pubblico, utilizzando il linguaggio universale del corpo per comunicare emozioni e storie in modo diretto e potente.

5.2 Scelte registiche e cambiamenti attuati nel portare dentro un contesto scolastico lo spettacolo

I principali cambiamenti attuati nel testo di "*Siamo fatti della stessa materia*" sono di contenuto. La prima grande modifica è stata la scelta di trattare solo tematiche inerenti alla struttura della materia. Lo spettacolo inizialmente partiva dalle particelle, per parlare poi di atomi, molecole e stati della materia, ma non si fermava qui, infatti la trattazione si spostava su temi di dinamica, parlando di spazio, tempo, velocità e forza e infine trattava di astrofisica, parlando dei pianeti e l'universo. Lo spettacolo nella sua versione originale cercava di parlare della materia in tutte le sue forme dall'infinitamente piccolo all'infinitamente grande. Le esperienze, però, maturate dalla messa in scena di

questo spettacolo, mi hanno portato a decidere di modificare le tematiche affrontate. Lo spettacolo risultava troppo carico di informazioni, rischiando di sovraccaricare l'attenzione dei bambini. A seguito dei colloqui avuti per la stesura della tesi si è deciso, infine, di parlare solo di struttura della materia, argomento da cui ero sempre partita. In questo modo si può da subito focalizzare l'attenzione dei bambini su un argomento specifico e dargli indicazioni sul viaggio che stanno per intraprendere. La materia è diventata così la vera protagonista della storia e l'obiettivo è cercare di scoprire come è fatto tutto quello che ci circonda.

All'atto pratico, è stato realizzato un paragrafo introduttivo per spiegare l'obiettivo dello spettacolo e per introdurre il concetto di materia, mentre è stata eliminata la scena dedicata alle particelle, in quanto si è ritenuto che questo potesse essere un argomento grande da trattare e non troppo pertinente al tema principale che è stato scelto. Sono state mantenute le scene per gli atomi, gli elementi, le molecole e gli stati della materia, rafforzandole e inserendo alcune trattazioni più dettagliate. Ho, infatti, cercato di personalizzare maggiormente la descrizione delle particelle presenti nell'atomo, protone, elettrone e neutrone, ho allungato la parte sui modelli atomici, aggiungendo una discussione sugli orbitali e infine ho integrato la parte delle molecole con un maggiore dettaglio nelle descrizioni. Le scene successive all'argomento dei passaggi di stato sono, invece, state eliminate.

Un altro aspetto che è stato inserito nella nuova versione dello spettacolo è l'interazione con il pubblico. Nella prima versione c'erano alcuni momenti in cui il narratore faceva alcune domande al pubblico, ma si è deciso di inserire questi momenti lungo tutta la durata dello spettacolo. Durante la sperimentazione della lezione - spettacolo trattata nel capitolo 4 si è analizzato come l'interazione con il pubblico sia uno degli elementi fondamentali per mantenere l'attenzione attiva, testare comprensione dell'argomento e coinvolgere personalmente lo spettatore. Durante la sperimentazione si era, inoltre, giunti alla conclusione che fosse necessario aggiungere più immagini con oggetti colorati da associare ai concetti spiegati. Per tale motivo è stata aggiunta la scena con le palline colorate da giocoleria per rappresentare la molecola d'acqua o con i palloncini per rappresentare gli orbitali. In generale comunque sono state dilatate le varie trattazioni

in modo che gli spettatori abbiano il tempo di immagazzinare le informazioni ricevute.

5.3 " *Siamo fatti della stessa materia* " commento della messa in scena e analisi dalla trasposizione degli argomenti dalla teoria alla didattica per le classi primarie

Il progetto didattico relativo allo spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*" è composto da due azioni specifiche: la realizzazione effettiva dello spettacolo e la consegna alle classi che hanno assistito alla performance di una scheda didattica con dei suggerimenti ad alcune attività da far svolgere ai bambini riguardo a quello che hanno appena visto. In questo paragrafo si commenta la messa in scena dello spettacolo e la realizzazione della scheda didattica.

Innanzitutto, si analizzano gli elementi scenici presenti al momento della rappresentazione. La scenografia è composta da un grande armadio mobile, che all'interno dello spettacolo è chiamato "Armadio delle curiosità". L'armadio è stato costruito appositamente per la realizzazione di questo spettacolo, gli elementi caratteristici sono il fatto che ha le ruote, quindi, può essere spostato lungo tutta la scena e che possiede 4 ante, che possono essere aperte o chiuse a seconda delle necessità, una finestra e una botola nel soffitto. È pensato in modo che possa essere una struttura multifunzionale da cui far uscire oggetti o personaggi, da poter muovere in modo da dare dinamicità alla scena. All'interno di un'anta è presente anche una lavagna.

Gli altri elementi presenti sono oggetti specifici per la realizzazione delle varie scene, come le palline da giocoleria per la molecola d'acqua, i palloncini per gli orbitali atomici o le provette per una scena in cui si mischiano gli elementi. Altri elementi presenti sono funzionali alla scena iniziale in cui vengono elencate diverse domande a cui la fisica cerca di dare risposta e queste domande vengono accompagnate da alcuni oggetti o gesti didascalici, come una mela, una lampadina un aereo di carta. Infine vengono utilizzati oggetti che possano aiutare la messa in scena donando ritmicità o poesia, ad esempio

l'utilizzo di palline, bastoni o di bolle di sapone.

I costumi dei tre personaggi sono colorati e cercano di comunicare l'immagine di una compagnia circense novecentesca. Il narratore ha all'interno del costumi alcuni caratteristiche da insegnante/scienziato, indossa, ad esempio, un camice. Gli altri due personaggi assumono le caratteristiche di assistenti e ad ognuno di loro viene assegnato un elemento caratteristico: un ombrellino e una mazzetta.

5.3.1 Sezioni di copione commentato

Vengono analizzate alcune parti del copione, ritenute significative per l'obiettivo generale dello spettacolo. Di seguito si riporta il frammento preso dal testo dello spettacolo, accompagnato da un commento relativo a cosa succede sulla scena nel momento corrispondente e a come si è deciso di trasporre didatticamente gli argomenti scientifici rivolgendoli al contesto della scuola primaria. Il copione completo si fornisce in appendice.

Lo spettacolo inizia con una coreografia di presentazione dei personaggi. Lo scopo della scena iniziale è quello di catturare subito l'attenzione con sequenze di movimento molto dinamiche e prestanti (salti, prese, lanci), ma anche simpatiche e divertenti. I personaggi si presentano subito in maniera molto simpatica e goffa, infatti, commettono errori, litigano tra di loro, si rincorrono e giocano. A seguire sarà un monologo del narratore dove viene presentato l'Armadio delle Curiosità. Parte poi la scena dedicata alla Fisica:

Aaaaah! Per esempio. Vi siete mai chiesti perché la mela cade dall'albero? Oppure come fa un aereo a volare? Perché la lampadina si accende e si spegne e perché la luna compare e scompare dal cielo? Voi, ve lo siete mai chiesti? Bene, allora posso dirvi che siete dei fisici. Sì, proprio. Perché i fisici hanno il compito di rispondere a tutte le nostre domande su tutto ciò che ci circonda. Come funziona? Perché è così? Ci sono fili invisibili che collegano tutto l'universo. I fili che stabiliscono le leggi della realtà, che delimitano il possibile dall'impossibile. [...] Cosa è la fisica? È tutto: la palla che cade, la luce che viaggia dal sole fino alla Terra, particelle che si scontrano, esplosioni

fortissime e buchi neri che rubano tutta la luce e la materia che gli passa intorno. Ma come si possono capire tutte queste cose? Da cosa dobbiamo partire? Eheh!

L'obiettivo della scena è creare fascino attorno alla figura dello scienziato e attorno alla Fisica nello specifico. Vengono interrogati personalmente sulle domande che loro stessi si fanno, vengono, in qualche modo, posti davanti la domanda: siete curiosi? Allora potete diventare dei fisici.

La scena è realizzata contrapponendo le frasi del narratore a delle immagini più o meno didascaliche rispetto a quello che dice. Dalle aperture dell'armadio escono, infatti, la mela che cade, l'aeroplanino di carta che vola, la lampadina che si accende. Il resto della scena viene accompagnata da un gioco tra i due assistenti in cui si contendono una mela tra fuori e dentro l'armadio. I movimenti non sono veloci perché si vuole dare la giusta attenzione a quello che si viene detto. Il collegamento tra testo e azioni non è diretto, gli scambi di azione e reazione portate avanti dai due personaggi simboleggiano, in maniera un po' grottesca, la consequenzialità tra le domande che uno scienziato si fa e le risposte che riesce ad ottenere dal mondo. Naturalmente, l'obiettivo non è far arrivare questo messaggio, ma donare ai movimenti lo stesso ritmo delle parole.

Ho un indovinello per voi. Cosa hanno in comune una mela, un gatto, un insetto, un sasso, un libro, un grattacielo, un tricheco, una poltrona, un gelato alla fragola, il tuo naso, il suo naso, un baco da seta, la torta della nonna, e tutti noi esseri umani?
(Interazione con il pubblico) *Bene, ve lo dirò io. Siamo fatti tutti della stessa materia.*

Questa sequenza rappresenta il concept dello spettacolo. Non viene realizzata alcuna sequenza di movimento in contemporanea. Si lascia lo spazio allo spettatore di farsi colpire dalla domanda e di poter rispondere come crede.

Finita l'introduzione comincia la prima scena, quella dedicata alla materia. Questo blocco continua l'interazione con il pubblico, chiedendo loro di fare un gioco. Gli viene proposto di trasformarsi in un oggetto, come una candela o una palla, sono davvero uguali? La risposta naturalmente è no e questo vuol dire che gli oggetti, le persone o le piante non sono tutte uguali, ma hanno una cosa in comune, sono tutte composte da materia. A questo punto il narratore descrive come è fatta la materia e cosa la

caratterizza, mentre gli altri due personaggi. impostano una sequenza di teatro fisico, ovvero una sequenza di movimenti, come prese, cadute e giri, che possono rimandare l'immagine della materia, come tutto ciò che ci circonda, che ha un peso e che occupa uno spazio.

Atomi. Tutto l'universo è fatto di atomi. La materia è organizzata in tanti piccoli mattoncini. Che dico piccoli, piccolissimi. Più piccoli di quanto voi possiate immaginare. [...] Ma insomma... quanto è grande questo atomo? Immaginate di prendere una mela, e di ingrandirla fino alle dimensioni della Terra! Adesso, gli atomi della mela gigantesca sarebbero grandi quanto la nostra mela originale! Esiste un mondo microscopico nascosto dentro ogni cosa, e questo mondo è abitato dagli atomi, i protagonisti del nostro viaggio. [...] Infatti gli atomi sono fatti da particelle, che sono come delle palline. Tante palline di colore e forma diversa che si mischiano e uniscono insieme per formare altre particelle. Nell'Universo ci sono tantissime particelle, ma noi siamo interessati solo a quelle che compongono gli atomi. Infatti se tra tutte le particelle si incontrano un protone, un elettrone e un neutrone... formeranno il protagonista della nostra storia: l'atomo! Per l'appunto.

La seconda scena è dedicata agli atomi e questo argomento viene affrontato seguendo diverse tematiche: dimensioni dell'atomo, descrizione delle particelle che compongono gli atomi, storia dei modelli atomici e descrizione degli orbitali atomici. La scena inizia con una musica che accompagna il testo citato sopra e una coreografia di movimento. I due personaggi durante la coreografia si muovono nello spazio rappresentando gli atomi, i due attori si scambiano, creano sequenze alternate o all'unisono e rimandano l'idea di atomi come piccoli mattoncini che si mettono insieme per costruire qualcosa di più grande.

Per descrivere il Protone, l'Elettrone e il Neutrone vengono descritte le tre particelle caratterizzandole in base all'idea della negatività, positività e neutralità e ci viene costruita una storia intorno. Ai bambini viene chiesto di interpretare i tre personaggi, in questo modo si crede che le tre caratteristiche possano rimanere bene impresso.

Per la storia dei modelli atomici viene utilizzato l'armadio, che rappresenta la struttura dell'atomo e delle figure di carta a rappresentare gli elettroni. Per il modello a panettone,

le figure vengono attaccate lungo le ante dell'armadio e quando si vuole confutare questo modello uno dei personaggi gli viene dato il ruolo di particella che si deve scontrare contro l'atomo. Il riferimento è allo storico esperimento di Rutherford e come nell'esperimento la particella/attore delle volte si scontra con l'atomo e torna indietro, mentre delle volte gli passa attraverso e quello che succede all'attore, in questo caso, è che entra dentro l'armadio e riesce dalla botola. Con l'aiuto della lavagna viene rappresentato il modello planetario e infine viene realizzata un'immagine con i palloncini e le figure di carta per rappresentare gli orbitali atomici.

Ahhh! È l'idrogeno. È il primo degli atomi, quindi si crede un po' il loro re. È molto vanitoso. In realtà è molto piccolo, ha solo un protone e un elettrone. Cominciate a capire? Ogni atomo ha protoni, elettroni e neutroni, e a seconda di quanti ne ha, ha un carattere diverso. Così gli atomi si chiamano elementi. MUSICA Questo è l'elio, ha due elettroni, ed è il re delle feste di compleanno perché si usa per gonfiare i palloncini! Ah! Ma gli atomi non sono tutti così eh! Alcuni sono più tranquilli. Tipo... il Carbonio! MUSICA Ahhh! Il carbonio è il responsabile della vita. Ha sei elettroni e sei protoni. Fiori, alberi, sassi, animali, sono tutti fatti di carbonio. È bellissimo il carbonio! Cresciamo ancora, otto elettroni! E facciamo l'ossigeno. [...]E qui chi c'è? MUSICA Ahh è il calcio! È il materiale di cui sono fatte le nostre ossa, grazie a lui noi stiamo in piedi e camminiamo! [...]Scommetto che questo lo conoscete: ha 79 protoni ed è... l'oroooo! MUSICA C'è un elemento molto strano. Si chiama zolfo. Tra tutti gli elementi è il più... puzzolente.

La terza scena è quella dedicata agli Elementi della Tavola Periodica. La trattazione parte da un gioco, ad ogni elemento trattato si associa una caratteristica e una musica, questo perché si crede che sia importante associare le diverse tipologie di atomi a qualcosa che i bambini o le bambine possano conoscere. Il tutto finisce con una piccola descrizione della tavola periodica. I due personaggi seguono il flusso del racconto, facendosi travolgere dalla musica caratteristica di ogni elemento.

Il divertente però arriva adesso. Gli elementi tutto il giorno da soli si annoiano e poi mica possono vagare nello spazio. Così si mischiano insieme e formano le molecole!

Proviamo infatti a prendere due atomi di Idrogeno, ve lo ricordate l'Idrogeno? E un atomo di Ossigeno, e l'Ossigeno ve lo ricordate? Quello che otterremo sarà H_2O , ovvero la molecola d'acqua. Le molecole sono molto importanti, infatti sono le strutture che tengono insieme i diversi atomi per costituire la materia e identificano tutte le sostanze che noi conosciamo. Ogni molecola è formata da due o più atomi, uguali e diversi tra loro. E più sono strane le combinazioni e più è divertente.

La quarta parte è quella dedicata alle molecole. Per rappresentare la molecola d'acqua si è scelto di utilizzare degli strumenti circensi, vengono infatti utilizzate tre palline da giocoleria colorate associandole ai due atomi di Idrogeno e all'atomo di Ossigeno. Questo permette di collegare un'immagine chiara per la molecola d'acqua, associando i colori agli elementi. Questa parte era stata sperimentata nella lezione spettacolo ed aveva ottenuto molto successo, infatti, era una delle cose che i bambini ricordavano maggiormente. Vengono poi dati altri esempi di molecole, come quella del sale da cucina o del gesso da lavagna, e vengono introdotte creando un'immagine in cui i due assistenti prendono le vesti di "piccolo chimico" che mescolano elementi pericolosissimi insieme e creano sostanze reali. Anche in questo caso, l'obiettivo è collegare concetti che a prima impatto possono risultare molto complessi e distanti dal pubblico a cose che loro conoscono e fanno parte della vita di tutti i giorni.

La quinta e ultima parte è relativa ai passaggi di stato, si parte dal cercare di capire come stanno le molecole all'interno della materia che conosciamo.

Beh se la materia è solida, come un tavolo, un cappello o una casa, le molecole sono attaccate una all'altra con dei legami fortissimi e non si possono muovere. Talmente forti che difficilmente si possono spezzare. Il ghiaccio ad esempio! Nel ghiaccio le molecole dell'acqua sono unite in una combinazione ben precisa. Si chiama reticolo cristallino. Per questo un cubetto di ghiaccio mantiene la sua forma di cubetto. Ma cosa accade se mettiamo un cubetto di ghiaccio sotto il sole? (Interazione) Esatto si scioglie! I legami tra le molecole diventano più deboli e le molecole iniziano a muoversi una accanto all'altra, occupando tutto lo spazio a disposizione. Così otteniamo l'acqua e se la versiamo in un bicchiere prenderà la forma di un bicchiere. Ma cosa accadrebbe se la scaldassimo ancora? Allora le molecole inizierebbero ad agitarsi e i legami si

spezzerebbero del tutto, lasciando le molecole libere di muoversi in tutto lo spazio! Ed ecco che si è formato un gas!

Questa spiegazione viene accompagnata da una sequenza di movimento tra i due personaggi e una pallina. Quando lo stato è solido i due personaggi sono fermi in contatto solo attraverso la pallina, quando lo stato è liquido cominciano a muoversi lentamente, rimanendo sempre in contatto attraverso la pallina, infine, quando lo stato è gassoso si spostano nello spazio lanciandosi la pallina. Per rimarcare questa trattazione, viene organizzato un gioco in cui i bambini a seconda del comando, "Ghiaccio - Acqua - Gas", si devono muovere seguendo determinate indicazioni. Il tipo di indicazioni dipende dal luogo di rappresentazione. Se i bambini possono spostarsi fisicamente dal posto, nella stanza vengono disegnate a terra delle figure, come nel caso della lezione - spettacolo, spiegato nel paragrafo 4.2. Se, invece, non si possono muovere dal posto il gioco viene trasformato con azioni che i bambini e le bambine possono svolgere evitando di spostarsi.

Infine, viene ripercorso all'indietro tutto il viaggio fatto dentro la materia, partendo da un bicchiere d'acqua, passando per la molecola d'acqua, per gli atomi di Idrogeno e Ossigeno e infine arrivando all'atomo costituito da Protone, Elettrone e Neutrone.

5.3.2 Realizzazione della scheda dello spettacolo

Per poter promuovere il progetto al corpo docente viene realizzata una scheda dello spettacolo. Quest'ultima consiste in un documento che ricevono gli insegnanti interessati alla proposta, in cui vengono riassunti i punti fondamentali del progetto. Ovvero, viene scritta la sinossi dello spettacolo, informazioni sulla compagnia e soprattutto gli obiettivi didattici che si vogliono raggiungere: raccontare ai bambini il mondo che li circonda facendo un viaggio dal mondo microscopico che compone ogni cosa, fino a quello che conosciamo, il tutto divertendosi e emozionandosi. Si riporta in figura 5.1 la sinossi dello spettacolo così come viene presentata ai docenti:

Dopo la visione dello spettacolo, viene invece consegnata una scheda con i suggerimenti ad alcuni contenuti didattici selezionati che l'insegnante può proporre in autonomia in classe. In particolare, si suggerisce agli insegnanti di far visionare alcuni dei video



Form'Azione



SCHEDA ARTISTICA

Siamo fatti della Stessa Materia

Immaginate un **grande armadio** mobile di legno che sembra normale all'apparenza, ma nasconde un segreto stupefacente. All'interno di questo mobile, un mondo di oggetti meravigliosi prende vita, pronti ad affascinare e ispirare i bambini.

Lo spettacolo inizia con l'apertura delle porte del mobile, svelando un mondo fantastico. Gli oggetti iniziano a prendere vita uno dopo l'altro, e i bambini si trovano protagonisti, oltre che destinatari, di questo viaggio tra le finestre e le ante dell'armadio.

Attraverso una combinazione di narrazione coinvolgente, effetti speciali e interazioni con il pubblico, gli spettatori entrano in un viaggio di **scoperta** e apprendimento.

Che cosa è la fisica? È un modo complicato, ma divertente, di spiegare come funziona quello che vediamo e tocchiamo e svelare i segreti del mondo. La mela che cade dall'albero, l'aereo che vola, il chiodo che sostiene il quadro, la lampadina che si accende e la luna che compare e scompare dal cielo. La fisica la puoi toccare, oppure può essere invisibile. Tutto parte dalla **materia**. La materia è tutto ciò che ci circonda: un libro, una palla, un bastone, una piuma, una formica, ma anche un elefante. Ma cosa hanno in comune tutte queste cose? "*Siamo fatti della stessa materia*" unisce la fisica e il teatro per fare un viaggio dentro il mondo microscopico che costituisce ogni cosa e scoprire come è fatta la materia.

"Margot Theatre - Form'Azione" è da sempre impegnata nella divulgazione e nell'educazione, sia con progetti di formazione teatrale, che con spettacoli educativi rivolti agli istituti scolastici, pensati per avvicinare i più piccoli al **mondo del sapere**.

Il progetto è stato oggetto di una lavoro di tesi in Didattica della Fisica per il corso di Laurea Magistrale in Fisica dell'Università Roma Tre. Si vuole promuovere il teatro come strumento di didattica non formale: la convinzione alla base è che le attività artistiche e laboratoriali siano validi mezzi di educazione alternativa, per aprire nuovi canali di comprensione attraverso l'espressività e la **creatività**, in un contesto di condivisione e divertimento.

Lo spettacolo è pensato per essere realizzato non solo in spazi teatrali convenzionali (Teatro, Auditorium, etc), ma anche negli spazi messi a disposizione dagli istituti scolastici.

Figura 5.1: Scheda artistica dello spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*" da proporre agli istituti scolastici

che io stessa ho visionato e di cui ho parlato nel paragrafo 2.5. Ad esempio, se ci si trova nelle prossimità delle vacanze natalizie si possono proporre i video del canale Youtube di "INFN kids" sul Protone, sull'Elettrone e sul Neutrone, in cui la relatrice racconta le proprietà delle tre particelle realizzando delle decorazioni natalizie a forma delle stesse. In questo tipo di contenuti viene data alle particelle una forma immaginaria,

come se fossero fumetti. Rimanendo, quindi, nel contesto del fumetto, si può proporre di far leggere quello di Leo e Alice, "Storia di un bicchiere d'acqua", preso sempre dal portale di "INFN Kids", in cui viene descritto come è composto microscopicamente un bicchiere d'acqua, attraverso storie e giochi. Se l'insegnante è interessato ad approfondire maggiormente gli argomenti affrontati nello spettacolo si propone, invece, la visione del video "Summercamp 2020: Dalle molecole agli atomi", in cui si parla di molti degli argomenti trattati, ma in maniera più dettagliata. Infine, se si vuole associare un'attività laboratoriale si propone un laboratorio da realizzare in classe in cui con il DAS colorato e degli stuzzicadenti si possono costruire i modelli di alcune molecole note, come l'acqua, l'ossigeno, l'anidride carbonica, il sale, associando ad ogni elemento un colore.

Conclusioni

L'obiettivo di questa tesi è stato quello di elaborare un progetto di didattica non formale, che possa essere proposto all'interno della scuola primaria, per motivare lo studio della fisica. Lo strumento individuato per svolgere questo compito è il Teatro Scientifico e il tema individuato è stato quello di illustrare come è fatta la materia.

Per poter mettere a punto questo strumento è stata svolta una ricerca sulla trattazione di argomenti scientifici nella scuola primaria e sul materiale didattico che è possibile reperire sulla fisica della materia rivolto a bambini e bambine. La scelta di trattare la materia, e come questa sia fatta, come argomento didattico è stata presa perché si crede che possa essere un buon punto di partenza per far aumentare la curiosità dei bambini verso la scoperta. Infatti, se da un lato la fisica deve avvicinarsi a questioni della vita di tutti i giorni, per i bambini, allo stesso tempo deve parlare anche di cose che loro non conoscono e che vanno scoperte. In quest'ottica la materia gioca proprio questo doppio ruolo. È sia qualcosa che loro conoscono, che possono vedere e toccare e che li circonda, sia qualcosa che non è tangibile, ma lontano e sconosciuto, come gli atomi e le molecole. La varietà di materiali che è possibile reperire avvalorò la scelta compiuta sull'argomento da affrontare. È possibile, infatti, recuperare diversi materiali online, relativi sia a progetti didattici che divulgativi, che descrivono come è fatta la materia, utilizzando diversi tipi di approcci. È stato istruttivo e di ispirazione poter confrontare i metodi applicati in queste proposte con la metodologia portata avanti da questo progetto di tesi, sia quando la proposta considerata era molto distante, così da confrontare diversi punti di vista, sia quando l'approccio risultava simile, così da rafforzare ciò che viene portato avanti in questo mio progetto.

Per quanto riguarda, poi, l'analisi dei libri di testo utilizzati nelle scuole primarie, si

è riscontrato che sebbene la materia venga affrontata nei programmi generalmente in corso, ciò a cui viene data la maggior importanza sono solo le proprietà macroscopiche della materia. Trattazioni su atomi e molecole sono a volte presenti nei libri di testo, ma in forma molto minore. Il fatto, però, che i docenti sono interessati a portare argomenti stimolanti e differenti, che possano motivare i bambini e incentivare la loro curiosità e che la struttura della materia trattata da un punto di vista microscopico sia un argomento spesso proposto in attività per le scuole realizzate dalla comunità scientifica, supporta la mia idea iniziale di voler provare a portare la struttura della materia dentro le classi della scuola primaria attraverso il Teatro Scientifico. Quest'ultimo si crede, infatti, possa essere uno strumento ideale di didattica non formale, in quanto lavora sul coinvolgimento emotivo dello studente. L'obiettivo principale è quello di sviluppare l'immaginazione dei bambini, promuovere una cultura scientifica, non basata su dati o risultati, ma sull'emozione e la meraviglia della scoperta, così da riuscire ad ottenere partecipazione e interesse attivo da parte degli studenti verso le materie scientifiche.

Voler intraprendere un progetto di teatro scientifico nasce dal fatto che io stessa sono un'attrice e un'insegnante di teatro e credo che il teatro, e quindi la pedagogia teatrale, sia uno dei metodi più diretti per arrivare all'emozione del bambino. La strategia che si è scelto di intraprendere è di provare a suscitare emozione e meraviglia nello studente così da poter creare le condizioni d'animo adatte a stimolare la motivazione allo studio della Fisica. È stato, quindi, selezionato uno spettacolo già portato in scena dalla compagnia teatrale in cui lavoro, "*Siamo fatti della stessa materia*", sul tema appunto della struttura della materia e lo si è trasformato in un progetto didattico da proporre alle scuole primarie.

Per perseguire questo obiettivo si è scelto di condurre una sperimentazione del progetto all'interno di una classe. Lo spettacolo è stato adattato in una lezione/spettacolo per il contesto in cui è stato realizzato, ovvero una classe scolastica. Si è scelto, quindi, di portare dei momenti interattivi ed esercizi di gioco teatro che aiutino l'apprendimento dei vari argomenti. Il feedback ricevuto è stato molto positivo, i bambini hanno partecipato con entusiasmo alle attività proposte, mi hanno mandato diversi disegni che hanno realizzato a seguito della partecipazione e l'insegnante è rimasto molto colpito. A seguito di questa esperienza sono state apportate delle modifiche allo spettacolo integrale: sono

state dilatate le sezioni di spettacolo dedicate ad ogni argomento e incrementare con supporti visivi e momenti di interazione. I momenti di interazione sperimentati durante la lezione - spettacolo sono stati quelli che sono rimasti più impressi agli studenti e che gli hanno lasciato più ricordo degli argomenti trattati e proprio per tale motivo si è scelto di integrarli nello spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*", che è stato analizzato in dettaglio mettendo in evidenza e descrivendo anche le scelte registiche e lo stile portato avanti durante la rappresentazione.

Al momento la nuova versione dello spettacolo non è ancora andata in scena. Tuttavia, ho iniziato a pubblicizzare lo spettacolo nelle scuole primarie del territorio di Cerveteri e dintorni, città dove abito, e nella città di Roma, con l'intento di proporlo come progetto didattico innovativo per il prossimo anno scolastico. Questo passo mira a diffondere ulteriormente i benefici dell'approccio non formale all'insegnamento della fisica, rendendo l'apprendimento più coinvolgente e significativo per un numero sempre maggiore di studenti. Lo spettacolo viene pubblicizzato contattando gli istituti scolastici via mail o attraverso gli appositi canali e proponendo la scheda dello spettacolo, con alcune foto, la sinossi dello spettacolo e la presentazione del progetto didattico. Viene, inoltre, comunicato che il progetto è stato realizzato per un lavoro di tesi in didattica della Fisica per il corso di Laurea Magistrale in Fisica dell'Università di Roma Tre. Farà spero parte, quindi, di un lavoro di ricerca futuro, l'analisi dell'effettivo svolgimento di questo spettacolo nelle scuole.

Appendice A

Copione dello spettacolo "*Siamo fatti della stessa materia*"

PROLOGO

COREOGRAFIA INIZIALE

NARRATORE: Ogni giorno viaggiamo con il nostro Armadio. Osservatelo attentamente. Oppure ammirate la sua ingegniosità. Oh com'è bello il nostro cervello. Occupato a risolvere i misteri dell'esistenza e della vita in ogni sua forma. Ora, il sapere è un dono, non un privilegio. Ordunque, il dono è sinonimo di condivisione, e la condivisione è passaggio bidirezionale da soggetto a soggetto, o da oggetto a soggetto, o da soggetto a oggetto, e laddove c'è condivisione c'è un plusvalore di conoscenza, perché la conoscenza nel passaggio da soggetto a soggetto, o da oggetto a soggetto, o da soggetto a oggetto, aumenta in quantità, qualità ed esperenzialità. Ora è più chiaro? Ho esagerato. Vi basti sapere che da questo armadio non usciranno magliette, pantaloni, scarpe e cappotti, e nemmeno mutande, calzini, canotte e cuffiette, né tantomeno cravatte, berretti, polsini, papillon, ma storie, racconti, nozioni, principi, pillole, leggende e curiosità.

PARTE 0: LA FISICA

Aaaaah! Per esempio. Vi siete mai chiesti perché la mela cade dall'albero? Oppure come fa un aereo a volare? Perché la lampadina si accende e si spegne e perché la luna compare e scompare dal cielo? Voi, ve lo siete mai chiesti? Bene, allora posso dirvi che siete dei fisici. Sì, proprio. Perché i fisici hanno il compito di rispondere a tutte le nostre domande su tutto ciò che ci circonda. Come funziona? Perché è così? Ci sono fili

invisibili che collegano tutto l'universo. I fili che stabiliscono le leggi della realtà, che delimitano il possibile dall'impossibile. I fisici vogliono capire il mondo e non si fermano a capire solo le cose che vedono e toccano, no! Vogliono andare oltre, vogliono arrivare fino all'ignoto, fino a scoprire tutto quello che non conosciamo. Cosa è la fisica? È tutto: la palla che cade, la luce che viaggia dal sole fino alla Terra, particelle che si scontrano, esplosioni fortissime e buchi neri che rubano tutta la luce e la materia che gli passa intorno. Ma come si possono capire tutte queste cose? Da cosa dobbiamo partire? Eheh!

Ho un indovinello per voi. Cosa hanno in comune una mela, un gatto, un insetto, un sasso, un libro, un grattacielo, un tricheco, una poltrona, un gelato alla fragola, il tuo naso, il suo naso, un baco da seta, la torta della nonna, e tutti noi esseri umani? (*Interazione*) Bene, ve lo dirò io. Siamo fatti tutti della stessa materia. MUSICA

PARTE 1: LA MATERIA

NARRATORE: E questo cosa vuol dire? Voi lo sapete? Forse che siamo tutti uguali? Che siamo uguali ad una palla? Dai proviamoci, trasformiamoci tutti in palle. (*Interazione*). Mh, no non ha funzionato, siete stati bravissimi, ma non siamo riusciti a trasformarci in palle. Però proviamoci di nuovo. Trasformiamoci ora in una candela. (*Interazione*). Niente, non è proprio possibile. Noi non siamo uguali né ad una palla, né ad una candela, né a qualsiasi altro oggetto che conosciamo, ma neanche a nessun'altra persona, per quanto simile possa essere a noi. Non siamo tutti uguali, ma c'è una cosa che abbiamo in comune. Siamo fatti tutti di materia.

La materia è tutto ciò che ci circonda, ciò che possiamo vedere e toccare, tutto ciò che occupa uno spazio e ha un peso. È la sostanza che compone tutti gli oggetti fisici. Per questo la materia può essere organica. Come quella che compone tutti i viventi, le piante, gli animali, me, te e tutti gli esseri umani. Ma può essere anche inorganica. Come l'aria, l'acqua, il suolo, il fuoco e tutti gli oggetti che conosciamo. Ma come è fatta? Beh dobbiamo scoprirlo. Perché oltre il mondo bellissimo che vediamo ogni giorno, c'è un altro mondo misterioso che non possiamo vedere ma che si

nasconde dentro ogni cosa. Per scoprire davvero come è fatto veramente tutto ciò che ci circonda, dobbiamo fare un viaggio al centro della materia. Siete pronti a farlo con noi?

Immaginiamo di prendere una super lente di ingrandimento e di poter guardare all'interno delle cose, quello che scopriremmo è che la materia è abitata da degli oggetti piccolissimi. La materia è costituita da atomi. MUSICA

PARTE 2: GLI ATOMI

Atomi. Tutto l'universo è fatto di atomi. La materia è organizzata in tanti piccoli mattoncini. Che dico piccoli, piccolissimi. Più piccoli di quanto voi possiate immaginare. Vai, pensate ad una cosa microscopica. Per esempio, un granello di sabbia. Ecco, in un minuscolo, piccolissimo granello di sabbia possiamo mettere, vicini vicini, miliardi di atomi. PAUSA Immaginate di dividere un granello di sabbia in due. Prendere una metà e dividerla ancora, prendere la metà della metà e dividerla, prendete la metà della metà della metà e... PAUSA continuate così non dieci, non cento, non mille, ma miliardi di volte. Ma insomma... quanto è grande questo atomo? Immaginate di prendere una mela, e di ingrandirla fino alle dimensioni della Terra! Adesso, gli atomi della mela gigantesca sarebbero grandi quanto la nostra mela originale! Esiste un mondo microscopico nascosto dentro ogni cosa, e questo mondo è abitato dagli atomi, i protagonisti del nostro viaggio.

E gli atomi non sono la cosa più piccola che puoi trovare dentro la materia. Infatti gli atomi sono fatti da particelle, che sono come delle palline. Tante palline di colore e forma diversa che si mischiano e uniscono insieme per formare il nostro atomo. Nell'Universo ci sono tantissime particelle, ma noi siamo interessati solo a quelle che compongono gli atomi. Infatti se tra tutte le particelle si incontrano un protone, un elettrone e un neutrone... formeranno il protagonista della nostra storia: l'atomo! Per l'appunto.

Il protone è una particella positiva e questo vuol dire che è sempre allegro e felice. Le sue attività preferite sono guardare i tramonti e raccontare storie divertenti. Chi

vuole fare il Protone? (*Interazione*) Chi vuole fare, invece, il Neutrone? (*Interazione*) Il Neutrone è neutro, una particella un po' timida, riesce a stare tranquillo con tutti, ma è sempre stanco, quindi cammina piano piano. Infine c'è l'Elettrone. Chi vuole diventare un Elettrone? L'Elettrone è una particella negativa. Infatti è sempre arrabbiato con tutti, è agitato e si muove sempre da una parte all'altra, sbattendo i piedi. Un'altra cosa che sappiamo su di loro è che P ed E litigano sempre. Per P, E è troppo negativo e si arrabbia sempre con lui. Per E, P è sempre troppo positivo e non gli piacciono le sue storie. Per questo motivo tra di loro c'è una regola. Protone ed Elettrone devono stare separati ma visto che P non vuole stare da solo, il Neutrone gli fa compagnia. E tutto questo succede dentro l'atomo.

Ehhh ma la storia dell'atomo è antichissima! Non lo abbiamo mica inventato noi! Già gli antichi greci pensavano che la materia non fosse un flusso continuo, ma fatta da piccoli pezzi minuscoli, e li chiamarono atomi. Eh sì ho capito! Ma questi atomi come sono fatti, insomma? Qualcuno disse: l'atomo è come un panettone! Eh? Sì avete capito bene! Un panettone tutto bello pieno e nulla che passi attraverso! Cioè un impasto di protoni e neutroni, ed elettroni al posto dell'uvetta! Così, provarono a fare un esperimento: presero una particella, e poi la spararono contro l'atomo! La particella in effetti non passò attraverso e tornò indietro. Tutto a posto, direte voi! No! Sentite questa: alcune volte la particella sparata prendeva coraggio e attraversava tutto l'atomo, spuntando dall'altra parte.

Cosa poteva mai significare? (*Interazione*) Perché la particella a volte passa attraverso l'atomo e a volte no?

Molto semplice in realtà: nell'atomo ci sono degli spazi vuoti! Ebbene sì. Noi siamo fatti di tantissimi spazi vuoti. Ci deve essere dello spazio che divide i neutroni e protoni dagli elettroni. L'atomo non poteva essere, quindi, come un panettone, eh no: ci deve essere qualcosa dentro al centro dell'atomo, che chiamarono nucleo e che era composto da protoni e neutroni; gli elettroni arrabbiati, invece, non potevano stare nel nucleo quindi si posizionarono molto più lontani e per non perdere di vista i suoi vecchi amici cominciarono

a girare intorno al nucleo. Questa teoria fu chiamata modello planetario. Conoscete questa parola? Significa che le particelle nell'atomo si comportano "come i pianeti" che girano intorno al Sole, il Sole è il nucleo, mentre i pianeti sono gli elettroni. Vi piace questo modello?

Peccato che neanche questo modello era corretto! Eh no, gli scienziati sono dei precisini e prima di credere a qualcosa fanno tantissime prove e tantissimi test. Con questo modello i conti non tornavano, gli esperimenti non andavano a buon fine. In nostro soccorso arriva un nuovo modello, chiamato modello di Bohr, simile a quello dei pianeti, ma con una cosa in più. Gli elettroni, è vero che girano intorno al nucleo, ma non possono farlo mica come vogliono. Secondo Bohr gli elettroni devono rimanere per tutta la vita dentro un percorso ben preciso, chiamato orbitale. Ad ogni elettrone il suo orbitale intorno nucleo.

La realtà non si discosta tanto dal modello di Bohr. Ma voi avete capito cosa è questo orbitale? Immaginiamo questi orbitali come se fossero dei palloncini. L'elettrone non può vagare nello spazio, ma deve rimanere nella superficie di questo palloncino, camminando attorno all'elettrone. E sapete un'altra cosa? Noi sappiamo solo che è nella superficie del palloncino, dove si trova veramente non lo possiamo sapere. Se nell'atomo, invece, ci sono più elettroni questi si mettono nell'orbitale fino a riempirlo, una volta che questo è pieno, si gonfia un altro palloncino ad energia più alta e gli elettroni gli si posizionano sopra e così via. Adesso avete capito?

Pensate che se ingrandissimo il nucleo e lo rendessimo grande come un pugno, l'elettrone non si troverebbe qui accanto a me, neanche lì dove sei tu seduto in prima fila, ma neanche vicino a te seduto in ultima fila, neanche alla porta. L'elettrone si troverebbe a un chilometro di distanza. È come abbiamo detto prima la materia è fatta da tantissimi spazi vuoti. Ma gli atomi sono così tanti che riusciamo a coprirli tutti. Non vi preoccupate, nulla vi passerà attraverso.

Ma gli atomi sono tutti uguali? Cosa cambia tra un atomo e l'altro? Proviamo a

scoprirlo, ecco che ne arriva uno. MUSICA

PARTE 3: ELEMENTI

Ahhh! È l'idrogeno. È il primo degli atomi, quindi si crede un po' il loro re. È molto vanitoso. In realtà è molto piccolo, ha solo un protone e un elettrone. Cominciate a capire? Ogni atomo ha protoni, elettroni e neutroni, e a seconda di quanti ne ha, ha un carattere diverso. Così gli atomi si chiamano elementi. MUSICA Questo è l'elio, ha due elettroni, ed è il re delle feste di compleanno perché si usa per gonfiare i palloncini! Ah! Ma gli atomi non sono tutti così eh! Alcuni sono più tranquilli. Tipo... il Carbonio! MUSICA Ahhh! Il carbonio è il responsabile della vita. Ha sei elettroni e sei protoni. Fiori, alberi, sassi, animali, sono tutti fatti di carbonio. È bellissimo il carbonio! Cresciamo ancora, otto elettroni! E facciamo l'ossigeno. MUSICA L'ossigeno è presente nell'aria e infatti è quello che ci fa respirare, senza l'ossigeno non potremmo vivere!

E qui chi c'è? MUSICA Ahh è il calcio! È il materiale di cui sono fatte le nostre ossa, grazie a lui noi stiamo in piedi e camminiamo! Mano a mano che aggiungiamo protoni e neutroni gli elementi diventano più pesanti. Per esempio, un elemento molto pesante, con ben 26 protoni, è il famosissimo ferro! MUSICA Ma ce ne sono alcuni grandissimi, come il radio! MUSICA Scommetto che questo lo conoscete: ha 79 protoni ed è... l'oroooo! MUSICA C'è un elemento molto strano. Si chiama zolfo. Tra tutti gli elementi è il più... puzzolente.

In tutto gli elementi sono 118 e li abbiamo raggruppati nella tavola periodica, quella strana tabella colorata piena di numeri e lettere. Ogni lettera è un elemento diverso.

PARTE 4: MOLECOLE

Il divertente però arriva adesso. Gli elementi tutto il giorno da soli si annoiano e poi mica possono vagare nello spazio e così si mischiano insieme, e formano le molecole! Le

molecole sono molto importanti, infatti sono le strutture che tengono insieme i diversi atomi per costituire la materia e identificano tutte le sostanze che noi conosciamo. Proviamo infatti a prendere due atomi di Idrogeno, ve lo ricordate l'Idrogeno? E un atomo di Ossigeno, e l'Ossigeno ve lo ricordate? Quello che otterremo sarà H_2O , ovvero la molecola d'acqua.

Ogni molecola è formata da due o più atomi, uguali e diversi tra loro. E più sono strane le combinazioni e più è divertente. Proviamo a fare altri esempi. Prendiamo il sodio, un metallo velenoso che possiamo tagliare con il coltello e il cloro, un gas puzzolente e soprattutto mortale. Vi sembra un buona idea unirli insieme? Beh, a me no. Ma se lo facciamo, quello che otteniamo è il cloruro di sodio. Scommetto che non vi dice niente, ma io vi dico assicuro che lo conoscete molto bene. Il cloruro di sodio è il nome scientifico per il comunissimo, ma importantissimo sale da cucina. Vedete partendo dalle particelle piccolissime stiamo arrivando alle sostanze che tutti noi conosciamo. Volete un altro esempio? Prendiamo il calcio, il materiale delle nostre ossa, e lo zolfo, quello puzzolente. Aggiungiamo 4 atomi di ossigeno e poi due molecole d'acqua, che cosa può uscire da questi strani elementi? Mescoliamo per bene e quello che otterremo sarà... un gesso da lavagna! Ecco qui: atomi che formano molecole. Questa è la ricetta per formare tutta la materia. MUSICA

PARTE 5: GLI STATI DELLA MATERIA

Stiamo arrivando alla fine del nostro viaggio, ma manca ancora una cosa da capire. Le molecole dove stanno? Come si forma la materia che noi conosciamo. Ogni cosa che conosciamo è composta da tantissime molecole unite tra loro. Come? Beh se la materia è solida, come un tavolo, un cappello o una casa, le molecole sono attaccate una all'altra con dei legami fortissimi e non si possono muovere. Talmente forti che difficilmente si possono spezzare. Il ghiaccio ad esempio! Nel ghiaccio le molecole dell'acqua sono unite in una combinazione ben precisa. Si chiama reticolo cristallino. Per questo un cubetto di ghiaccio mantiene la sua forma di cubetto. Ma cosa accade se mettiamo un cubetto di ghiaccio sotto il sole? (Interazione) Esatto si scioglie! I legami tra le molecole

diventano più deboli e le molecole iniziano a muoversi una accanto all'altra, occupando tutto lo spazio a disposizione. Così otteniamo l'acqua e se la versiamo in un bicchiere prenderà la forma di un bicchiere. Ma cosa accadrebbe se la scaldassimo ancora? Allora le molecole inizierebbero ad agitarsi e i legami si spezzerebbero del tutto, lasciando le molecole libere di muoversi in tutto lo spazio! Ed ecco che si è formato un gas! (*Creare un momento di interazione dove i bambini seguono le indicazioni del narratore: Ghiaccio, Acqua, Gas e in base a quello che viene detto devono creare delle strutture, muoversi in una forma precisa o liberi nello spazio. Organizzare l'esercizio in base al luogo in cui si rappresenta lo spettacolo*)

Eccoci arrivati alla fine. Pensiamo ad un bicchiere d'acqua. Come è fatto? (*Interazione*) Esatto, al suo interno ci sono delle molecole, che si muovono una accanto all'altra occupando tutto lo spazio che il bicchiere gli dà a disposizione. La molecola dell'acqua è fatta da atomi, nello specifico gli atomi di idrogeno e di ossigeno. E gli atomi a loro volta sono fatti di particelle, i Protoni, gli Elettroni e i Neutroni. Che a loro volta sono fatti da altre particelle più piccole. Fino ad arrivare alle particelle più piccole di tutti, che non si possono più dividere. Perché cos'è che tutti noi abbiamo in comune? Siamo tutti fatti della stessa materia!

Bibliografia

- [1] *Indicazioni nazionali per il curricolo della scuola dell'infanzia e del primo ciclo di istruzione*. Ministero dell'Istruzione, dell'Università, della Ricerca, Settembre 2012.
- [2] Giovanni B Bachelet and Rita Termini. Pseudopotenziale: Uno strumento standard nella teoria dei materiali.
- [3] Giovanni Battista Bachelet, Vito DP Servedio, et al. Elementi di fisica atomica, molecolare e dei solidi. In *Elementi di fisica atomica, molecolare e dei solidi*, pages 1–159. Aracne Editrice Internazionale srl, 2014.
- [4] Quirino Bortolato. 1904-2004: Cento anni di modelli atomici: Da thomson ai quark. *ATTI E MEMORIE*, page 77, 2005.
- [5] Silvia Arroyo Camejo. Il modello atomico di bohr. *Il bizzarro mondo dei quanti*, pages 103–116, 2008.
- [6] Marina Carpineti, Michela Cavinato, Marco Giliberti, Nicola Ludwig, and Laura Perini. Motivare allo studio della fisica attraverso il teatro. *JCOM*, 10(1), 2011.
- [7] Marina Carpineti, Marco Giliberti, et al. Il teatro di fisica come primo passo verso l'inquiry based science education nel progetto europeo temi. *GIORNALE DI FISICA DELLA SOCIETÀ ITALIANA DI FISICA*, 2014(4):339–347, 2015.
- [8] Marco Giliberti. Stories and theatre for teaching physics at primary school. *Education Sciences*, 11(11):696, 2021.
- [9] Marco Giliberti and Martina Mulazzi. Il teatro scientifico in didattica della fisica una attività informale che diventa formale.

- [10] M Chiara Montani. *Storia dei modelli atomici*. Alpha Test, 2005.
- [11] Kristian H Nielsen. Science & theatre: communication, concepts, contexts, and cases, 2023.
- [12] Patrick Rinke. Electronic structure theory. *Fritz Haber Institute of the Max Planck Society Faraday Weg*, pages 4–6, 2014.