



DIPARTIMENTO DI
SCIENZE FORMATIVE, PSICOLOGICHE E DELLA
COMUNICAZIONE

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE
IN
SCIENZE DELLA FORMAZIONE PRIMARIA

TESI DI LAUREA
IN
ELEMENTI DI FISICA

IL CORPO E LA MENTE: ESPERIENZE
SCIENTIFICHE NELLA SCUOLA PRIMARIA

Relatore
Prof. Emilio Balzano

Candidata
Ethel Rita de Simone
Matricola 208006779

Anno Accademico 2025/2026

Desidero esprimere la più profonda gratitudine a tutte le persone che hanno guidato la mia strada e che mi hanno aiutata a raggiungere i miei obiettivi.

INDICE

INTRODUZIONE	5
1. PRIMO CAPITOLO	8
1.1 CORPO, EMOZIONI E APPRENDIMENTO: PROSPETTIVE TEORICHE PER UNA DIDATTICA SCIENTIFICA EMBODIED.	8
1.1.1 IL CORPO NELLA COSTRUZIONE DELLA CONOSCENZA	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
1.1.2 IL SUPERAMENTO DEL DUALISMO MENTE-CORPO.....	9
1.1.3 CHE COSA ABBIAMO IN TESTA?.....	10
1.2 CORPOREITÀ, PERCEZIONE E APPRENDIMENTO NELLA SCUOLA PRIMARIA (HOW PEOPLE LEARN)	13
1.3 IL RUOLO DELL'INSEGNANTE, UNA PROPOSTA DIDATTICA.....	15
1.4 SCIENZA E SENSO COMUNE	18
1.5 L'ERA IN CUI TUTTO È STRUMENTALE.....	19
2 CAPITOLO DUE: BASI TEORICHE DELLA TESI	21
2.1 EDUCAZIONE SPAZIALE	22
2.2 LA CINESTESIA	24
2.3 PROPRIOCEZIONE	25
2.4 ENTEROCEZIONE.....	26
2.4.1 ESPERIENZE	28
2.5 STRUMENTI PER VALUTARE IL SENSO DI SÉ.....	29
2.6 ELASTICITÀ	30
2.7 LA FISICA CHE C'È DIETRO	34
2.8 ENERGIA POTENZIALE	36
2.9 ENERGIA CINETICA	37
2.10 CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA	37
2.11 ENERGIA PER LA VITA.....	39
2.12 ARIA	40
2.13 ATMOSFERA	40
2.14 PRESSIONE ATMOSFERICA	41
2.15 ONDE E OSCILLAZIONI	42
2.15.1 OSCILLAZIONE DI UN PENDOLO.....	43
2.15.2 DESCRIZIONE DELLE ONDE	44
2.15.3 PROPAGAZIONE PER ONDE	45
2.15.4 ONDE TRASVERSALI.....	46
2.15.5 ONDE LONGITUDINALI	47
2.15.6 INTERFERENZA	48

2.15.7	ONDE STAZIONARIE	49
2.16	INTERVISTA A OLGA MAUTONE	50
2.17	IL PENSIERO SPONTANEO; ESPERIENZE LABORATORIALI PER IL PROGETTO MUSEdu 56	
2.18	LAVORO SUL CAMPO; IL PRESENTE DI INCARNAZIONE	58
2.19	FORMAZIONE, I LABORATORI:	62
2.20	ENTRIAMO IN CLASSE	63
2.21	IL RUOLO SVOLTO DALLA SCOPERTA	81
2.22	LA SODDISFAZIONE DI ESSERE LA CAUSA	82
2.23	IL LAVORO IN PICCOLO GRUPPO; PROSPETTIVE SOCIO-COSTRUTTIVISTE E RIFERIMENTI A LEV VYGOTSKIJ	84
2.24	TRA FRAGILITÀ E POTENZIALITÀ: ESPLORARE LE SCUOLE DI NAPOLI NEI CONTESTI SOCIO-EDUCATIVI PIÙ VULNERABILI	85
2.25	LA FISICA ALLA BASE DEI FENOMENI OSSERVATI	88
3	CAPITOLO TRE: SPERIMENTAZIONE A SCUOLA	91
3.1	INTRODUZIONE AL PERCORSO LABORATORIALE	91
3.2	INCONTRO 1	93
	FACCIAMO UN BEL RESPIRO	93
3.3	INCONTRO 2	99
	LO STETOSCOPIO: IL SUONO DEL SILENZIO	99
3.4	INCONTRO 3	100
	LA CAMPANA A VUOTO; VEDERE L'INVISIBILE	100
3.5	INCONTRO 4	104
	LA SIRINGA: COMPRIMERE L'ARIA	104
3.6	INCONTRO 5: IL CONCETTO DI VIBRAZIONE E RELAZIONE	106
3.7	INCONTRO CONCLUSIVO: IL CONFRONTO CON L'ALTERITÀ	114
4	CONCLUSIONI	117
4.1	IL CORPO COME LUOGO DELLA CONOSCENZA SCIENTIFICA	117
5	BIBLIOGRAFIA	120

INTRODUZIONE

Dimmelo e lo dimenticherò, mostramelo e lo ricorderò, fammelo fare e lo comprenderò.

Proverbio Zen

Questa frase che percorre trasversalmente pedagogia, psicologia dello sviluppo e neuroscienze, rappresenta il nucleo centrale del presente lavoro di tesi. Si dice che quando un bambino entra in classe, ci entra con tutto sé stesso. Ovvero con il corpo e con la mente. L'esperienza corporea costituisce il principale canale attraverso cui il bambino conosce il mondo che lo circonda; imparando, fin dai primi anni di vita, non solo con la mente ma con tutto il corpo, che è protagonista silenzioso e costante di ogni esperienza. Ciò nonostante, nel progetto scolastico, non sempre viene valorizzato il ruolo del corpo nell'apprendimento, marginalizzando l'esperienza corporea in favore di un apprendimento prevalentemente verbale e astratto. Le discipline scientifiche, e nello specifico l'insegnamento della fisica, vengono erroneamente percepite come troppo complesse o lontane dall'esperienza quotidiana dei bambini. Eppure, la fisica nasce proprio dall'osservazione del mondo e dalla comprensione delle leggi che lo abitano. Il cuore dell'apprendimento, infatti, risiede nella nostra abilità di ascoltare e di percepire più che nella applicazione della teoria. Tale, perlomeno, è la premessa di questo lavoro di tesi sperimentale, che intende esplorare la possibilità di mettere in relazione lo yoga e la fisica come strumenti di esperienze didattiche nella scuola primaria, in una concezione di apprendimento corporeo, consapevole e significativo. Nel corso del Novecento, numerosi

studi in ambito psicologico e pedagogico hanno progressivamente superato la concezione dualistica che distingueva rigidamente dimensione mentale e dimensione corporea. Il fondatore della Psicocinetica e della Psicomotricità Funzionale Jean Le Boulch affermava che *il movimento rappresenta lo “strumento” che consente lo sviluppo della persona nella sua unitarietà*. Autori come Jean Piaget, ad esempio, hanno evidenziato come lo sviluppo cognitivo del bambino abbia origine dall'azione, dal movimento e dall'interazione concreta con l'ambiente. Piaget, afferma che nel primo stadio dello sviluppo cognitivo (lo stadio senso-motorio) il pensiero si costruisce attraverso il fare, ma anche negli stadi successivi, il corpo resta un riferimento essenziale per la costruzione del sé. Lev Vygotskij, invece, sottolinea l'importanza del contesto sociale e dell'esperienza condivisa; elementi che coinvolgono inevitabilmente la dimensione corporea e relazionale. L'apprendimento non avviene in modo isolato, ma attraverso l'interazione, il linguaggio, il gesto e la partecipazione attiva. Più recentemente, le teorie dell'embodied cognition hanno rafforzato questa prospettiva, sostenendo che i processi cognitivi sono profondamente radicati nell'esperienza corporea. Secondo tale approccio, pensare non significa soltanto elaborare informazioni astratte, ma implica l'attivazione di schemi motori, sensoriali ed emotivi. In età evolutiva, questa relazione risulta particolarmente evidente. Psicologi come Jerome Bruner hanno evidenziato come l'apprendimento proceda attraverso diverse modalità rappresentative, tra cui quella enattiva, basata sull'azione e sull'esperienza diretta. Ignorare il corpo, soprattutto nei primi anni di scolarizzazione, significa rinunciare a una delle risorse più potenti per l'apprendimento significativo. Oltre alla dimensione cognitiva, la corporeità si lega strettamente alla sfera emotiva. Le emozioni influenzano la memoria, l'attenzione, la motivazione all'apprendimento. Goleman psicologo statunitense, attraverso gli studi sull'intelligenza

emotiva, ha messo in luce come la capacità di comprendere e riconoscere e regolare le proprie emozioni sia fondamentale per il benessere psicofisico del bambino e per il successo scolastico. Durante gli anni di scuola primaria, la difficoltà di concentrazione, l'agitazione motoria e la gestione delle emozioni rappresentano una sfida con cui misurarsi quotidianamente. In un contesto del genere, pratiche che favoriscono la consapevolezza corporea, la respirazione consapevole e l'ascolto di sé possono diventare strumenti educativi di grande valore. Lo yoga, adattato alle specificità dell'età evolutiva, si inserisce in questa prospettiva come una buona pratica; attraverso pose, movimenti, esercizi di respirazione, rilassamento, lo yoga può essere d'aiuto nell'allenamento dell'attenzione, la percezione del corpo nello spazio e la capacità di autoregolazione. Numerosi studi in ambito educativo evidenziano come tali pratiche possono avere effetti positivi sul clima all'interno della classe e sulla disponibilità all'apprendimento, anche di concetti come: forza di gravità, equilibrio, movimento e stabilità, che non sono distanti dalla vita quotidiana dei bambini; ma, vengono costantemente sperimentati attraverso il gioco, il corpo e il movimento rendendo l'apprendimento un'esperienza vissuta. Nel libro *“sette brevi lezioni di fisica”* Carlo Rovelli si sofferma sul definire la fisica non come mero insieme di formule, ma come un modo di guardare il mondo, una continua interrogazione sulla realtà. Un approccio di tipo scientifico nasce dalla curiosità, dall'osservazione e dalla capacità di porre domande. Questo lo rende particolarmente adatto alla didattica della scuola primaria, dove l'esperienza diretta rappresenta il punto di partenza per un apprendimento significativo. Utilizzando il movimento e la percezione corporea possiamo fare esperienza con i bambini dei fenomeni fisici in modo immediato e concreto, costruendo gradualmente concetti scientifici a partire dall'esperienza. Fritjof Capra nel suo libro *Il Tao Della Fisica* offre una riflessione attraverso il dialogo tra

scienza e visioni orientali, offrendo spunti epistemologici di interesse in ambito educativo. Evidenzia come la fisica moderna abbia superato una visione meccanicistica e riduzionistica della realtà, avvicinandosi a una concezione dinamica e interconnessa. In questa visione, l'osservatore non è separato dall'oggetto osservato, ma ne fa parte. Questo principio trova naturalmente una risonanza nelle pratiche di yoga che invitano a un'esperienza diretta e non frammentata della realtà. Trovando una comune attenzione al processo, alla relazione e all'esperienza vissuta. Il presente lavoro di tesi si propone di indagare come (e se) l'integrazione tra yoga e fisica possa favorire un apprendimento più consapevole, significativo ed inclusivo nella scuola primaria. L'obiettivo principale è quello di progettare e sperimentare un percorso didattico in cui il passare dall'esperienza corporea possa diventare strumento di esplorazione scientifica, e che la fisica diventi occasione di esperienza concreta e vissuta, per creare “un mondo di avvenimenti non di cose” (fisica, 1975). In conclusione, il presente lavoro di tesi sperimentale, che si arricchisce dell'esperienza personale dell'autrice come insegnante di yoga 250 RYT. Intende contribuire alla riflessione pedagogica e didattica sull'importanza di un tipo di apprendimento che coinvolga la persona nella sua interezza ed unicità, non più come una “macchina leggera” come diceva Cartesio, ma come sistema informativo integrato, ciò che i matematici definiscono “sistema autopoietico”, ovvero, che si forma da sé (Myers T. , 2006).

1. Primo capitolo

1.1 Corpo, emozioni e apprendimento: prospettive teoriche per una didattica scientifica embodied.

La realtà è solo interazione

Carlo Rovelli

Non è difficile riconoscere che nello yoga ci sia una grande valenza legata allo star bene ma, anche, nell'essere in classe (come nella vita) con serenità e rispetto degli altri, quello che non è stato ancora approfondito è capire come in particolare per i concetti di tipo scientifico e matematico, lo yoga possa giocare un ruolo fondamentale, ecco la ragione di questa mia tesi.

1.1.1 Il superamento del dualismo mente-corpo

Ogni esperienza, ogni emozione, ogni relazione con il mondo lascia tracce corporee profonde che influenzano il modo di percepire, pensare e costruire significati. In ambito educativo, tuttavia. Potremmo dire che l'essere umano apprende attraverso il corpo prima ancora che attraverso le parole. La scuola, per lungo tempo, ha chiesto agli alunni di restare fermi, silenziosi, disciplinati, quasi che il movimento rappresentasse un ostacolo al pensiero e non invece una delle sue condizioni fondamentali.

Negli ultimi anni, il dialogo tra neuroscienze, pedagogia e scienze cognitive ha progressivamente evidenziato l'importanza della corporeità nei processi educativi. In particolare, l'approccio dell'Embodied Cognition ha mostrato come la conoscenza non sia un'attività esclusivamente mentale e astratta, ma un processo incarnato, situato e relazionale. Come sottolineato (Paola Damiani) nell'articolo "*L'approccio Embodied Cognition based nella formazione docenti*", l'Embodied Cognition costituisce "un paradigma scientifico composito, interdisciplinare" fondato sul riconoscimento "del ruolo della corporeità, dell'intersoggettività, della simulazione incarnata e delle dimensioni implicite nello sviluppo e nell'apprendimento". In questa prospettiva, il corpo non è più considerato un semplice supporto biologico della mente, ma il luogo originario attraverso cui il soggetto entra in relazione con il mondo, costruisce significati, apprende e si trasforma.

L'esperienza motoria si configura quindi come un'esperienza di comprensione globale e integrata, capace di coinvolgere movimento, emozioni, percezioni, memorie e pensieri: "*i pensieri che si sviluppano nel cervello possono innescare stati emotivi, tradotti in azione per mezzo del corpo; allo stesso tempo, quest'ultimo può cambiare il corso dei pensieri*".

La storia del pensiero occidentale, infatti, si è spesso caratterizzata per una diffidenza nei confronti delle emozioni e della corporeità. La storia del pensiero occidentale si caratterizza per una abitudine a ritenere negativo il ruolo delle emozioni, Platone nel *Fedro* e successivamente Aristotele nel *De anima* sanciscono la superiorità della razionalità sulle emozioni. Le emozioni venivano considerate elementi disturbanti, aspetti irrazionali da controllare o reprimere affinché il pensiero potesse elevarsi verso la conoscenza autentica. Questa impostazione ha influenzato profondamente anche la scuola moderna, contribuendo a costruire modelli educativi centrati prevalentemente sulla trasmissione di contenuti astratti e sulla dimensione logico-verbale dell'apprendimento.

Tuttavia, le ricerche contemporanee mostrano una prospettiva differente. Maria Grazia Turri, nel saggio “*La logica delle emozioni: una teoria che precorre le scoperte neuroscientifiche*”, evidenzia come le emozioni non siano elementi secondari o marginali, ma autentici atti cognitivi e corporei. Le emozioni “sono un modo di agire del corpo”, “una modificazione motoria”, capaci di generare concetti, memoria e apprendimento (Turri, *La logica delle emozioni: una teoria che percorre le scoperte neuroscientifiche*). Esse non rappresentano semplicemente reazioni istintive, ma modalità profonde attraverso cui l'essere umano comprende il mondo e attribuisce significati all'esperienza.

L'etimologia stessa del termine “*emozione*” rivela questa stretta connessione con il corpo e il movimento. Come ricorda Turri, il termine deriva dal latino *motio*: movimento, impulso, pulsione; analogamente, il francese *émotion* richiama l'idea di “commuovere”, “smuovere”, “mettere in movimento”, mentre il tedesco *Gemütsbewegung* significa letteralmente “moto dell'animo”.

Le emozioni, dunque, non sono mai statiche: sono movimento del corpo, trasformazione interna, dinamica relazionale. Antonio Damasio sottolinea come il sentimento corrisponda alla percezione di ciò che accade nel nostro corpo e come coscienza e conoscenza condividano una stessa origine incarnata (Damasio).

1.1.2 Che cosa abbiamo in testa?

Le neuroscienze confermano, oggi, che le emozioni hanno la funzione di proteggere l'integrità vitale dell'individuo, guidando la percezione, orientano l'apprendimento,

favoriscono l'interazione sociale e la costruzione delle relazioni. Esse influenzano la memoria, il comportamento, la motivazione e la capacità di attribuire significato agli eventi. Per questo motivo appare sempre più necessario ripensare la scuola come spazio capace di accogliere non solo la dimensione cognitiva dell'alunno, ma anche quella corporea, emotiva e relazionale.

Tale esigenza risulta ancora più evidente osservando il contesto contemporaneo in cui crescono i bambini. Le nuove generazioni sono costantemente esposte a tecnologie digitali e mediatiche che, se da un lato rappresentano straordinarie risorse di conoscenza, dall'altro sembrano aver contribuito a una progressiva riduzione dell'esperienza corporea diretta, della lentezza e del tempo dedicato all'ascolto interiore. Numerosi studi evidenziano come il tempo trascorso davanti a schermi e dispositivi elettronici sia associato a un aumento della sedentarietà, con conseguenze significative sul piano fisico, cognitivo ed emotivo. Parallelamente, si osserva un incremento sempre maggiore di condizioni di stress e ansia anche in età infantile.

In questo scenario assume particolare rilevanza la riflessione proposta da Michael Pollan in un articolo pubblicato su *Internazionale*, nel quale l'autore affronta il tema della coscienza, del pensiero spontaneo e del rapporto contemporaneo con la mente interiore (Pollan, s.d.). Pollan evidenzia come gran parte dell'esperienza mentale umana sia costituita non da pensieri lineari e razionali, ma da immagini, intuizioni, sensazioni corporee, sogni a occhi aperti e forme di pensiero preverbale che precedono il linguaggio stesso. Attraverso il confronto con studi neuroscientifici e fenomenologici sulla coscienza, l'autore sottolinea come la società contemporanea tenda progressivamente a comprimere questi spazi interiori di vagabondaggio mentale, privilegiando invece stati di attenzione costante, produttività e iperstimolazione cognitiva. La mente, tuttavia, necessita anche di tempi vuoti, pause, silenzi e momenti di libera esplorazione affinché possano emergere creatività, consapevolezza e integrazione delle esperienze vissute.



Fig. 1: illustrazione presa dalla rivista Internazionale

Queste riflessioni risultano particolarmente significative in ambito educativo. La scuola contemporanea rischia spesso di privilegiare esclusivamente processi cognitivi orientati alla performance, trascurando la dimensione percettiva, intuitiva e corporea dell'apprendimento. Pollan richiama inoltre l'attenzione sul valore del pensiero spontaneo, della contemplazione e della possibilità di "vagare" mentalmente, dimensioni che appaiono oggi sempre più minacciate da ritmi accelerati, iperconnessione digitale e continue sollecitazioni esterne. In questo senso, pratiche educative fondate sull'ascolto, sulla respirazione consapevole, sul movimento corporeo e sull'esperienza meditativa possono offrire ai bambini uno spazio prezioso di riconnessione con la propria interiorità e con i propri processi percettivi profondi.

All'interno della presente ricerca, il laboratorio esperienziale che proporrò si colloca proprio in questa prospettiva pedagogica: con l'obiettivo di creare occasioni nelle quali il bambino possa rallentare, osservare, ascoltare il proprio corpo e sperimentare fenomeni scientifici attraverso esperienze vissute direttamente. Il respiro, l'equilibrio, il suono, la vibrazione e il movimento diventeranno, così, non soltanto oggetti di studio, ma esperienze incarnate che permetteranno agli alunni di costruire conoscenze significative attraverso il corpo e la percezione.

1.2 Corporeità, percezione e apprendimento nella scuola primaria (How people learn)

In questo scenario, le pratiche mente-corpo stanno assumendo un interesse crescente in ambito educativo e terapeutico. La ricerca di Chandra Nanthakumar (2017) evidenzia come discipline quali mindfulness, meditazione e yoga possano contribuire significativamente alla riduzione dello stress e dell'ansia nei bambini, favorendo il rilassamento, l'autoregolazione emotiva e il benessere generale. Lo yoga, in particolare, viene descritto come una delle pratiche più diffuse e versatili. Nato in India nel VI secolo e sistematizzato da Patanjali negli otto percorsi dello yoga classico: *yama, niyama, asana, pranayama, pratyahara, dharana, dhyana e samadhi*; esso integra dimensioni fisiche, respiratorie, attentive ed emotive (Nanthakumar, The benefits of yoga in children, 2018).

Secondo Nanthakumar, le posture di rilassamento e le tecniche di respirazione favoriscono il rilassamento del sistema nervoso e permettono ai bambini di connettersi con il proprio mondo interiore attraverso la coordinazione di mente, corpo e respiro. La pratica regolare dello yoga sembra contribuire alla riduzione dei livelli di cortisolo, migliorando l'umore e promuovendo stati di maggiore tranquillità e benessere psicofisico. Sebbene molti studi presentino ancora limiti metodologici, i risultati appaiono comunque significativi nel mostrare il potenziale educativo di queste pratiche.

Le recenti ricerche nell'ambito delle scienze cognitive e della pedagogia dell'apprendimento evidenziano come i processi educativi più efficaci siano quelli capaci di coinvolgere attivamente l'alunno nella costruzione del sapere, attraverso esperienze significative, concrete e profondamente connesse alla dimensione corporea e relazionale. In questa prospettiva, il documento del National Research Council *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School* (Council, 2000) sottolinea come l'apprendimento autentico non possa ridursi alla semplice memorizzazione di informazioni, ma debba fondarsi sulla comprensione profonda dei fenomeni, sulla possibilità di creare connessioni tra nuove conoscenze ed esperienze pregresse e sulla partecipazione diretta degli studenti ai processi di esplorazione e scoperta. Gli autori evidenziano come gli ambienti di apprendimento più efficaci siano quelli "learner-centered", cioè centrati sull'alunno, capaci di proporre difficoltà "gestibili", sufficientemente stimolanti da mantenere vivo il coinvolgimento senza generare frustrazione o senso di inadeguatezza.

In questo senso, il ruolo dell'insegnante assume una funzione fondamentale: egli non è soltanto trasmettitore di contenuti, ma progettista di esperienze educative significative, mediatore di relazioni, osservatore dei processi cognitivi ed emotivi che attraversano la classe.

L'apprendimento, secondo questa prospettiva, si costruisce attraverso reti di connessioni. Le conoscenze diventano realmente significative quando possono essere collegate a esperienze vissute, memorie episodiche e situazioni concrete. Le neuroscienze mostrano infatti che il cervello apprende in maniera più stabile quando l'esperienza coinvolge simultaneamente azione, emozione, percezione e riflessione. Per tale ragione, le attività laboratoriali, il movimento, la sperimentazione diretta e il coinvolgimento sensoriale non rappresentano elementi accessori della didattica, ma strumenti essenziali per favorire processi di comprensione profonda e duratura. Nel testo viene inoltre sottolineato come le azioni costituiscano il nucleo centrale dell'indagine scientifica: osservare fenomeni, formulare ipotesi, costruire modelli interpretativi, discutere evidenze e sperimentare concretamente permette agli studenti di sviluppare una comprensione autentica del mondo naturale e dei fenomeni che li circondano.

Queste riflessioni risultano particolarmente significative nell'insegnamento della fisica nella scuola primaria, poichè il bambino sperimenta la gravità quando cade, l'equilibrio quando cammina, la pressione attraverso il respiro, la vibrazione attraverso il suono e il movimento. Il National Research Council evidenzia inoltre l'importanza delle pratiche di valutazione formativa, intese non come strumenti di giudizio, ma come occasioni per rendere visibili i processi di pensiero degli studenti, accompagnandoli progressivamente verso forme sempre più mature di comprensione. Questo approccio si collega strettamente alle pratiche laboratoriali embodied, nelle quali il bambino viene costantemente invitato a osservare il proprio corpo, riconoscere le proprie sensazioni, riflettere sull'esperienza vissuta e attribuire significato ai fenomeni sperimentati.

In questa cornice teorica, la scuola primaria può diventare uno spazio nel quale il sapere scientifico non viene semplicemente trasmesso, ma vissuto, esplorato e incarnato attraverso il movimento, la relazione e la meraviglia.

1.3 Il ruolo dell'insegnante, una proposta didattica

Come evidenziato dal documento “Science and Engineering for Grades 6-12: Investigation and Design at the Center” (Pancini”), permettere agli studenti di “fare scienza” offre loro la possibilità di costruire conoscenze profonde e significative, andando oltre la semplice memorizzazione di contenuti. Le connessioni tra concetti si sviluppano quando gli studenti interagiscono con il mondo, rispondono ai problemi, prendono decisioni e attribuiscono significato alle esperienze vissute. Le azioni, le percezioni e l’interazione con l’ambiente diventano quindi elementi fondamentali per l’apprendimento scientifico.

In questa prospettiva, anche il ruolo dell’insegnante si trasforma profondamente. Non più semplice trasmettitore di conoscenze, ma facilitatore di esperienze, progettista di contesti educativi capaci di integrare corpo, emozione, relazione e pensiero. L’insegnamento diventa così una vera e propria “scienza della progettazione”, come afferma Laurillard, capace di modellare tempi, spazi e relazioni in funzione dei processi di apprendimento (Laurillard, 2018). La didattica embodied richiede infatti ambienti flessibili, esperienze laboratoriali, attività cooperative e momenti di riflessione condivisa.

Il laboratorio esperienziale assume, in questo senso, un ruolo centrale. Damiani e colleghi sottolineano come ogni insegnante dovrebbe sperimentare su di sé ciò che propone agli allievi, poiché “sapere cosa provo attraverso il mio corpo non mi permette solo di capire cosa l’altro prova, bensì soprattutto di generare naturalmente un’effettiva sintonizzazione”. La comprensione e la somministrazione delle attività didattiche da parte dei docenti dovrebbero quindi passare attraverso l’esperienza vissuta, l’ascolto del corpo, la relazione con l’altro e la capacità di abitare consapevolmente lo spazio educativo.

Alla luce delle riflessioni sviluppate fino a questo momento, appare evidente come l’insegnamento delle scienze, e in particolare della fisica nella scuola primaria, richieda oggi una trasformazione profonda non solo dei contenuti, ma soprattutto delle modalità attraverso cui tali contenuti vengono proposti.

In questa prospettiva, l’insegnante diventa facilitatore di esperienze, mediatore corporeo e relazionale, guida capace di costruire contesti nei quali il bambino possa osservare,

sperimentare, sentire e attribuire significato a ciò che vive. Come evidenziano gli studi sull'Embodied Cognition, *“occorrono pertanto modelli e strumenti ‘altri’, oltre quelli tradizionali, e soprattutto occorre un approccio formativo che si fondi su logiche integrate, in grado di contemplare la multidimensionalità e le diverse razionalità (corporea, etica ed estetica), oltre quelle tecniche e disciplinari riconosciute nei percorsi classici”* (Paola Damiani V. M., 2021).

L'approccio embodied propone infatti una concezione della conoscenza come esperienza incarnata, nella quale mente, corpo e ambiente non rappresentano realtà separate, ma dimensioni strettamente interconnesse. Gli autori definiscono questo paradigma come una “razionalità estesa” (*Extended Mind*), capace di comprendere “dimensioni profonde e nascoste e modalità esistenziali generative e creative, etiche ed estetiche, fondative di ogni relazione educativa”. In tale prospettiva, l'esperienza corporea e motoria diventa un'esperienza di comprensione relazionale “integrata e globale”, fondata sull'interconnessione tra movimento, emozioni, percezioni, memorie, affetti e pensieri.

L'insegnante, in questo quadro, deve essere capace di costruire ambienti di apprendimento flessibili, nei quali il tempo e lo spazio non siano rigidamente scanditi secondo il modello tradizionale della lezione frontale. Da questo punto di vista, l'insegnante di scienze nella scuola primaria dovrebbe possedere non soltanto competenze disciplinari, ma anche competenze relazionali, corporee ed emotive. La capacità di osservare il gruppo, di ascoltare i vissuti dei bambini, di valorizzare il loro stupore e di accogliere le loro intuizioni diventa parte integrante del processo educativo. L'apprendimento scientifico nasce infatti anche dalla meraviglia, dall'esperienza sensoriale e dalla possibilità di interrogarsi sul mondo.

Gli studi di Damiani e colleghi sottolineano inoltre come il corpo rappresenti uno strumento fondamentale anche per la formazione degli insegnanti stessi. Il modello formativo proposto dagli autori si sviluppa in tre fasi ricorsive: formazione teorica, laboratorio esperienziale e discussione finale. Il laboratorio esperienziale costituisce il nucleo centrale del percorso, poiché permette ai formandi di vivere in prima persona le attività che successivamente proporranno agli alunni. Attraverso attività corporee, ludiche, cooperative e di peer education, gli insegnanti possono sviluppare una maggiore

consapevolezza delle dimensioni cognitive, emotive e relazionali implicate nei processi di apprendimento.

Particolarmente significativa appare la riflessione di Gamelli, riportata dagli autori: “Sapere cosa provo attraverso il mio corpo non mi permette solo di capire cosa l’altro prova, bensì soprattutto di generare naturalmente un’effettiva sintonizzazione, di evidenziare e nominare emozioni e sentimenti che informano la relazione con quel particolare bambino” (Gamelli, 2011). Questa prospettiva evidenzia come il corpo dell’insegnante non sia neutro, ma costituisca uno strumento pedagogico fondamentale. L’insegnante che sperimenta su di sé pratiche di ascolto corporeo, respirazione, attenzione e consapevolezza può sviluppare una maggiore capacità di empatia, regolazione emotiva e presenza educativa.

Nel caso specifico della didattica della fisica, ciò significa essere capaci di trasformare il laboratorio scientifico in uno spazio di ricerca condivisa, nel quale i bambini possano sentirsi liberi di formulare ipotesi, fare domande, osservare fenomeni e attribuire significati personali alle esperienze vissute. Le attività corporee e laboratoriali favoriscono inoltre inclusione, partecipazione e accessibilità relazionale, poiché permettono a ciascun bambino di apprendere attraverso canali differenti: sensoriali, motori, emotivi e cognitivi.

L’approccio embodied appare dunque particolarmente coerente con una visione della scuola come spazio di cura educativa e crescita globale della persona. La centralità del corpo, del ritmo, del movimento, della percezione e dell’emozione consente di recuperare una dimensione dell’apprendimento spesso trascurata nella didattica tradizionale. Attraverso il corpo il bambino non solo comprende il mondo, ma comprende sé stesso nel mondo, sviluppando consapevolezza, relazione e senso di appartenenza.

In questo senso, la didattica della fisica e delle scienze in generale, può diventare un’occasione privilegiata per educare allo stupore, all’ascolto e alla presenza. Il fenomeno scientifico non viene più percepito come qualcosa di distante o astratto, ma come esperienza viva che attraversa il corpo, il respiro e la relazione. L’insegnante, allora, diventa colui che accompagna i bambini in questa esplorazione, creando le condizioni

affinché la conoscenza possa nascere dall'esperienza concreta, dalla curiosità e dalla meraviglia condivisa.

1.4 Scienza e senso comune

Un ulteriore riferimento teorico particolarmente significativo per il presente lavoro è rappresentato dalle riflessioni di Jon Ogborn sul rapporto tra scienza e senso comune. L'autore sottolinea come il pensiero scientifico non debba essere considerato in opposizione al pensiero quotidiano dei bambini, bensì come un suo ampliamento e una sua trasformazione progressiva. Il senso comune, infatti, nasce dall'esperienza concreta, dall'azione, dalle immagini, dalle metafore e dalla relazione diretta con il mondo; esso è pragmatico, corporeo e profondamente legato alla percezione e all'immaginazione. Ogborn evidenzia che il ragionamento quotidiano dei bambini si sviluppa attraverso eventi immaginati, esperienze vissute e rappresentazioni concrete della realtà, e che proprio queste modalità costituiscono la base da cui può nascere la comprensione scientifica.

Questa prospettiva appare particolarmente coerente con il percorso laboratoriale proposto nella presente tesi, poiché mette in luce l'importanza di costruire l'apprendimento scientifico a partire dal corpo, dal movimento, dall'esperienza sensoriale e dall'immaginazione. Secondo Ogborn, infatti, la scienza non può essere insegnata esclusivamente come insieme astratto di definizioni e concetti logici, ma deve essere presentata come una rete di "storie" capaci di spiegare il mondo e di dare senso ai fenomeni osservati. L'apprendimento scientifico, pertanto, non coincide con la semplice memorizzazione di formule, ma con la possibilità di costruire connessioni significative tra esperienza, immaginazione e concettualizzazione.

Da questa prospettiva emerge anche una critica implicita alla didattica trasmissiva tradizionale, spesso centrata su spiegazioni teoriche distanti dall'esperienza concreta degli alunni. Ogborn sostiene che l'insegnamento delle scienze dovrebbe coinvolgere attivamente l'immaginazione dei bambini, permettendo loro di esplorare ipotesi, analogie, metafore e rappresentazioni corporee dei fenomeni. In questo senso, le attività esperienziali basate sul respiro, sull'equilibrio, sul movimento e sulla percezione corporea assumono un valore epistemologico oltre che educativo: il bambino non apprende la fisica

soltanto attraverso l'ascolto di spiegazioni, ma attraverso il vivere il fenomeno nel proprio corpo.

Particolarmente significativa risulta inoltre l'idea che la scienza debba educare alla relazione tra immaginazione e realtà. Ogborn afferma che il compito dell'educazione scientifica consiste nel mettere in relazione ciò che possiamo immaginare con ciò che possiamo osservare e verificare nel mondo reale. Questo aspetto si collega profondamente all'approccio embodied adottato nella presente ricerca: il laboratorio corporeo permette infatti ai bambini di trasformare concetti come: vibrazione, pressione, equilibrio o suono in esperienze concrete e vissute, favorendo una comprensione più profonda, significativa e duratura.

In tale prospettiva, è attraverso il movimento, la percezione e la relazione, che il bambino costruisce significati, organizza schemi cognitivi e sviluppa modalità personali di interpretazione della realtà (Ogborn).

1.5 L'era in cui tutto è strumentale

Nel panorama culturale contemporaneo emerge con sempre maggiore evidenza una tendenza a interpretare ogni esperienza umana in termini esclusivamente funzionali e produttivi. Attività legate al corpo, alla relazione, alla contemplazione o alla creatività vengono spesso giustificate soltanto in base ai benefici concreti che possono generare: miglioramento delle prestazioni, aumento della concentrazione, riduzione dello stress o potenziamento delle competenze cognitive. In un articolo pubblicato su *Internazionale*, Julian Baggini riflette su questa progressiva "strumentalizzazione" dell'esperienza, evidenziando come la società contemporanea rischi di attribuire valore alle pratiche umane solo nella misura in cui esse risultino utili, efficienti o performative. Tale prospettiva appare particolarmente significativa anche in ambito educativo, dove il rischio è quello di trasformare ogni esperienza scolastica in uno strumento finalizzato esclusivamente al rendimento, alla valutazione o all'acquisizione di competenze misurabili, perdendo progressivamente il significato profondo dell'esperienza vissuta (Baggini, 2026).

Nel contesto della presente ricerca, questa riflessione assume un'importanza centrale. Le pratiche corporee, meditative ed esperienziali introdotte all'interno del laboratorio di fisica non sono state pensate unicamente come strumenti per migliorare l'attenzione, ridurre l'ansia o favorire l'apprendimento, pur producendo inevitabilmente anche tali effetti positivi. Il loro valore educativo risiede soprattutto nella possibilità di restituire centralità all'esperienza diretta, al corpo vissuto, alla percezione sensibile e alla relazione autentica con il mondo. L'esperienza scientifica, in questa prospettiva, non viene ridotta a semplice acquisizione di nozioni, ma diventa occasione di presenza, ascolto, meraviglia e scoperta incarnata. Quando il bambino sperimenta il respiro, il suono, l'equilibrio o la vibrazione attraverso il proprio corpo, non sta soltanto apprendendo un concetto fisico: sta vivendo un'esperienza che possiede un valore in sé, indipendentemente dalla sua utilità immediata.

Baggini sottolinea, inoltre, come la cultura contemporanea abbia progressivamente smarrito la capacità di riconoscere il valore intrinseco delle esperienze umane, sostituendolo con una logica transazionale e performativa. Questa osservazione dialoga profondamente con le prospettive dell'Embodied Cognition e con le più recenti ricerche neuroscientifiche, che riconoscono nel corpo, nell'emozione e nella relazione elementi costitutivi della conoscenza e non semplici strumenti funzionali all'apprendimento. In ambito scolastico, ciò implica la necessità di ripensare la didattica non come mera trasmissione efficiente di contenuti, ma come costruzione di contesti esperienziali significativi nei quali il bambino possa sentirsi coinvolto nella sua totalità corporea, emotiva e cognitiva. La scuola primaria, in particolare, può diventare uno spazio nel quale il sapere scientifico recupera il proprio carattere originario di esplorazione del mondo, di stupore e di ricerca di senso.



Fig. 2: Illustrazione di Beatrice Bandiera, dall'articolo di *Internazionale*

In questo quadro, le pratiche corporee e meditative non devono essere considerate esclusivamente come tecniche compensative o strumenti per incrementare il rendimento scolastico, ma come esperienze educative autentiche capaci di favorire una relazione più profonda con sé stessi, con gli altri e con i fenomeni naturali. Il laboratorio proposto in questa ricerca si colloca dunque in una prospettiva educativa che riconosce il valore della lentezza, dell'ascolto, della presenza e della consapevolezza corporea, opponendosi implicitamente a una visione puramente utilitaristica dell'apprendimento e della formazione.

2 Capitolo due: basi teoriche della tesi

La scienza non è semplicemente una descrizione e spiegazione della natura; essa è una parte dell'azione reciproca tra noi e la natura (Heisenberg).

Le radici della fisica, come di tutta la scienza occidentale, si devono far risalire al primo periodo della filosofia greca nel VI sec. a.C., nell'ambito di una cultura in cui scienza, filosofia e religione non erano separate.

I saggi della scuola di Mileto, nella Ionia, non si curavano di tali distinzioni. Il loro scopo era scoprire la natura essenziale, ossia la reale costituzione, delle cose che chiamavano *physis* (TRECCANI enciclopedia, s.d.). La parola fisica deriva da questo termine greco e quindi in origine indicava il tentativo di scorgere la natura essenziale di tutte le cose. Tali pensatori furono chiamati successivamente “*quelli che pensano che la materia sia viva*”, perché non facevano alcuna distinzione tra animato e inanimato, tra spirito e materia. Così Talete, affermava, che tutte le cose sono piene di dèi e Anassimandro concepiva l'universo come una sorta di organismo che era alimentato dallo *pneuma*, il respiro cosmico, nello stesso modo in cui il corpo umano è alimentato dall'aria.

Sebbene le tradizioni spirituali, come lo yoga, differiscono in molti aspetti particolari, la loro concezione del mondo è essenzialmente la stessa. Si tratta di una visione che si basa sull'esperienza diretta, non intellettuale, della realtà. La caratteristica più importante della concezione del mondo orientale è la consapevolezza dell'unità e reciproca interrelazione di tutte le cose e di tutti gli eventi, l'esperienza di tutti i fenomeni del mondo come manifestazioni di un'unità fondamentale. Tutte le cose che sono concepite come parti interdipendenti e inseparabili di questa totalità cosmica; come manifestazioni differenti della medesima realtà ultima.

Nella vita odierna, non siamo consapevoli di questa unità di tutte le cose, ma suddividiamo il mondo in oggetti ed eventi separati. Tale divisione, naturalmente, è utile e necessaria per affrontare il nostro ambiente quotidiano, ma non è una caratteristica fondamentale della realtà. È un'astrazione escogitata dal nostro intelletto che tende a fare distinzioni e a classificare. Lo scopo principale delle tradizioni mistiche orientali, come lo yoga, è pertanto, riadattare la mente focalizzandola e acquietandola mediante la meditazione; il termine sanscrito per indicare la meditazione – *samādhi*- significa alla lettera “*equilibrio mentale*”, e si riferisce allo stato equilibrato e tranquillo della mente in cui si fa esperienza dell'unità fondamentale dell'universo.

2.1 Educazione Spaziale

Prestare attenzione. È questo il nostro imperituro e giusto lavoro.

Mary Oliver

Il cuore della ricerca nel campo dell'apprendimento attraverso il movimento risiede nell'educazione delle abilità di ascoltare e di percepire, più che nell'applicare della tecnica. Il riconoscimento di pattern posturali e di movimento è un'abilità essenziale per quella che potremmo definire educazione spaziale, ossia per lo studio di come ci sviluppiamo, come stiamo in piedi, gestiamo i carichi, ci muoviamo nel nostro ambiente e occupiamo lo spazio e di come percepiamo il nostro stesso corpo.

L'idea alla base del presente elaborato di tesi è quella secondo cui lo yoga, come strumento educativo alla scuola primaria, ci consegna una prospettiva di questo genere: un modo globale di guardare ai pattern muscolo scheletrici che porta a nuove strategie educative.

Che cosa possiamo apprendere dall'osservazione dei rapporti sinergici legando le nostre parti l'una all'altra anziché dividendole ulteriormente?

La maggior parte del nostro pensiero per almeno cinque secoli si è basato su un modello meccanicistico e riduzionistico; continuiamo a esaminare le cose scomponendole in parti sempre più piccole per analizzare il ruolo di ogni parte. Introdotto da Aristotele ma compendiato da Isaac Newton e René Descartes, questo tipo di approccio meccanicistico ha consegnato alla fisica libri pieni di angoli goniometrici e di vettori di forza che disegnano nel modo più simile all'originale ogni singola inserzione muscolare (Myers T. W., 2014).

All'inizio del XX secolo, grazie ad Einstein, Bohr e altri scienziati, la fisica entrò in un universo relativistico basato su un linguaggio di rapporti, piuttosto che di causa ed effetto lineari, che Jung avrebbe, poi, applicato alla psicologia e a molti altri vari settori. Ci è voluto, comunque, tutto quel secolo perché questo punto di vista si diffondesse fino a raggiungere anche altri ambiti.

Non basta dire semplicemente che “ogni cosa è connessa a ogni altra cosa”. Sebbene questo pensiero sia giusto, tale premessa lascia l'insegnante in un mondo nebuloso, vuoto, senza niente che lo guidi se non il suo intuito (Myers, 2014).

La straordinaria teoria della relatività di Einstein non negava le leggi di Newton, piuttosto, le includeva in un disegno più vasto. Come tale, lo yoga è una piccola parte di una più

ampia “*revisione*” di noi stessi, concepiti non più come una “*macchina leggera*” di Cartesio (Scribano, 2015) ma come un sistema informativo integrato, cioè, ciò che i matematici che si occupano di dinamica non lineare definiscono: *sistemi autopoietici*; che si formano da sé!

2.2 La cinestesia

La cinestesia è la nostra percezione del corpo nello spazio e in movimento, è unica tra i sensi al punto che è difficile immaginare una vita senza di essa. Riusciremo a immaginare di essere ciechi o sordi, di vivere senza olfatto, ma il nostro senso di noi è talmente legato a quanto proviamo nei nostri corpi che ci si chiede: “*potremmo vivere senza?*”

Spesso viene chiamata il sesto senso, ma in realtà, comprende diversi sensi. La percezione della nostra interiorità si è evoluta da un semplicissimo senso di stiramento dei tessuti a una complessa e sofisticata coordinazione necessaria per, ad esempio: suonare il flauto, scalare una parete rocciosa o gestire le emozioni.

Tuttavia, possiamo isolare la cinestesia facilmente, ad esempio chiudendo gli occhi e toccandoci il naso con l'anulare della mano non dominante. Solo il nostro senso cinestetico può aiutarci a farlo.



Fig. 3: dimostrazione pratica dell'esercizio riportato sopra

Di seguito dividerò la cinestesia in: propiocezione ed enterocezione.

Sebbene siano entrambe intimamente intrecciate nella nostra intelligenza cinestetica vale la pena differenziare la propiocezione dall'enterocezione; la prima ci permette di sapere dove ci troviamo nello spazio, senza alcun giudizio, promuove la centratura articolare, l'allineamento generale, così come l'esecuzione coordinata, fluida e tempestiva dei movimenti che ripetiamo.

La seconda è l'abilità inconscia o conscia di percepire come si sente il corpo circa quanto prova, gli effetti del movimento negli stati emotivi, cosa che, a sua volta, motiva i cambiamenti comportamentali orientati al benessere.

Potremmo riassumere che la propiocezione è più obiettiva, risponde alla domanda: *“dove mi trovo nello spazio?”* L'enterocezione è più soggettiva: *“come mi sento rispetto a quanto percepisco?”*

Sono entrambe molto importanti, e tutte dipendono profondamente da quanto siamo educati a sentire il nostro corpo dall'interno.

2.3 Propriocezione

Può essere definita come il senso di sé nello spazio e deriva da un insieme di fonti diverse: l'orecchio interno, gli occhi quando sono aperti, l'articolazione temporo-mandibolare, l'articolazione dell'anca e i sensori cutanei sul fondo del piede figurano ampiamente nel nostro senso dell'orientamento interno, ma altrettanto fanno le terminazioni nervose e dislocate in ogni parte dei tessuti miofasciali e fasciali. Queste terminazioni nervose devono imparare a lavorare, non lo fanno automaticamente.

Questo apprendimento avviene soprattutto durante il nostro primo anno sul pianeta, quando, dopo qualche mese di cadute, diventiamo piuttosto bravi a coordinare il nostro senso interiore del corpo con il mondo esterno. Propriocezione è il termine dato specificamente al nostro senso di posizione nello spazio e di come si muove.

Assieme al sistema vestibolare e ai numerosi sensori cutanei abbiamo assolutamente bisogno di tutti i sensori fasciali per sapere che cosa accade al nostro corpo nello spazio. La proprioccezione fa uso di cinque terminazioni ricettive di base nel corpo miofasciale: fusi muscolari, organi tendinei del Golgi (GTO), corpuscoli paciniformi, terminazione di Ruffini e terminazioni nervose libere (Myers T. W., Meridiani miofasciali, 2014).

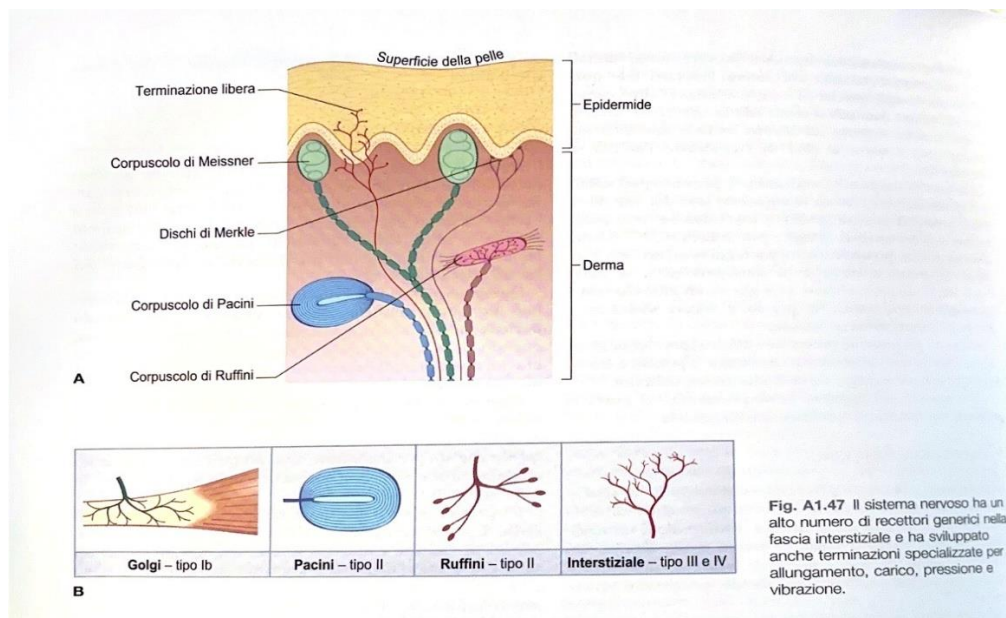


Fig. 4: schema riassuntivo delle cinque terminazioni ricettive di base

I propriocettori ci danno il senso della nostra posizione nello spazio e della sua progressione nel movimento.

2.4 Enterocezione

Qualsiasi cosa stia accadendo nel corpo, questi sta comunicando anche con il sistema nervoso.

Il sistema nervoso è il realizzatore di significato e la nostra elaborazione del significato comprende un certo numero di strati. L'enterocezione è parte di quel processo di deciframento dei dati rilevanti da trarre dalla miriade di infiniti segnali che riceviamo dal corpo.

Studiando il modo in cui il cervello monitora il corpo in cinestesia, gli scienziati hanno distinto la proprioccezione dall'enterocezione. Tradizionalmente, la proprioccezione è stata applicata al nostro senso di posizionamento nello spazio. L'enterocezione, invece, in origine veniva assegnata ai segnali provenienti dai nostri organi. Gli enterocettori sono anch'essi, come i propriocettori, sostanzialmente delle modificazioni di recettori dello

stiramento ma comprendono anche i termoconvettori e altri parametri regolatori della percezione dello stiramento nella vescica o nel retto, ad esempio, che ci dicono che abbiamo “bisogno di trovare una toilette” (Myers T. W., Meridiani miofasciali, 2014).

I recettori di stiramento nei polmoni modulano la respirazione e i recettori simili nelle arterie aiutano a regolare la pressione sanguigna. In pratica, l'apprendimento enterocettivo richiede movimenti consci che apportano una consapevolezza alla percezione della sensazione corporea e alle reazioni emotive; a quanto si prova, appunto, per quanto riguarda la scelta degli esercizi, le variazioni, lo stiramento attivo e lo scioglimento dei muscoli e della fascia devono essere misurate ed eseguite in maniera consapevole.

La respirazione, ad esempio, è uno strumento potente per trasformare la sensazione enterocettiva da negative a positive, promuovendo così, una percezione di benessere. In altre parole, l'enterocezione può essere descritta come un senso della posizione fisiologica del corpo in opposizione al senso letterale della posizione dei propri recettori e quindi come un collegamento a “*come ci sentiamo circa quello che sentiamo*”. L'enterocezione è il senso che ci permette di rappresentare il nostro corpo dall'interno, al contrario, tramite il senso cutaneo somestesico e la propriocezione rappresentiamo il modo in cui il nostro corpo si relaziona con il mondo esterno: che cosa stiamo toccando, qual è il suo peso e in che cosa ci stiamo muovendo.

Questo, consente di fare una distinzione netta ma, come molte delle supposizioni circa la meccanica del corpo, mai così semplice quanto vorremmo.

Recenti studi hanno scoperto che l'enterocezione si estende nel nostro corpo muscolo scheletrico così come ai nostri organi.

Come ti senti circa quello che senti è presente nel nostro movimento in sé così come nella nostra fisiologia in sé. Gli enterocettori, si estendono nelle miofasce per darci un senso della condizione della fisiologia in quel determinato punto. Questi segnali, che vanno all'insula anteriore e non alla corteccia parietale, come quelle della propriocezione, suscitano le motivazioni omeostatiche, guidando i componenti comportamentali adattivi con una forte qualità affettiva che ci spinge a recuperare e mantenere l'equilibrio.

2.4.1 Esperienze

Ad esempio, se proviamo semplicemente a distendere un braccio lateralmente a livello della spalla: in altre parole, abduzione della spalla a gomito disteso.



Fig. 5: dimostrazione pratica dell'esercizio riportato sopra

Proviamo a mantenere la posizione per un po', sin dall'inizio si potrebbe apprezzare la propriocezione: la contrazione del deltoide e del trapezio i recettori articolari che ci dicono dove si trova il nostro braccio e questo quanto pesa senza doverlo guardare.

Man mano che il tempo passa, tuttavia, potremmo cominciare a notare altre sensazioni. Potreste cominciare a cercare delle scuse per abbassare il braccio.

Non è doloroso, non esattamente, e continuare a tenere il braccio in quella posizione per qualche minuto non creerà alcun danno al tessuto, ma, ora sappiamo che sono gli enterocettori a farci sapere come ci sentiamo circa quello che sentiamo persino nella fascia nei muscoli e nelle articolazioni.

Alla fine, abbasseremo il braccio ma mantenere la posizione quanto più a lungo possibile è un test interessante per analizzare il processo di enterocezione e quanto seccati e agitati potremmo diventare man mano che le sensazioni aumentano.

La propriocezione è emotivamente neutrale, l'enterocezione ha in sé una forza motivante.

La differenza di sensazione dipende dal fatto che le terminazioni enterocettive sollecitano una parte diversa del cervello rispetto a quella sollecitata dalle terminazioni propriocettive. Secondo il ricercatore fasciale Robert Schleip, queste sensazioni sono innescate dalla stimolazione delle terminazioni nervose sensoriali amieliniche; terminazioni nervose libere, proiettate verso la corteccia insulare piuttosto che verso la corteccia somatosensoriale primaria che è, di norma, considerata come l'obiettivo principale delle sensazioni propriocettive (Schleip). Sebbene le terminazioni enterocettive ci aiutino a mantenere l'omeostasi, queste sensazioni non hanno solo un aspetto sensoriale, ma anche aspetti affettivi, stimolanti o emotivi, legati ad esempio al sollievo che abbiamo provato quando nostra madre ci ha massaggiato dopo esserci fatti male.

Una enterocezione poco sviluppata o un processamento insulare alterato vengono associati e condizioni come la sindrome dell'intestino irritabile, disordini alimentari, ansia, depressione, alessitimia (cecità emotiva), schizofrenia e disturbo da stress post traumatico (Myers T. W., Meridiani miofasciali, 2014). Gli enterocettori possono essere visti come un'estensione della natura organica verso quella neuromotoria. Le loro reazioni si integrano senza soluzioni di continuità con l'allarme del sistema nervoso simpatico e con la calma rigenerante di quello parasimpatico. Si tratta tuttavia di questioni che vanno oltre il nostro ambito in questa sede che sono trattate con maggiore competenza altrove.

2.5 Strumenti per valutare il senso di sé

Nell'attività fisica, la velocità è il nemico della sensibilità; più piano andiamo, più riusciamo a sentire. Quando facciamo esercizi dei movimenti lenti come, ad esempio, lo yoga; quando concediamo alla mente di andare oltre la sequenza che stiamo effettuando in quel momento (aspetto propriocettivo), possiamo spostare l'attenzione su come i movimenti sono percepiti nel corpo (aspetto enterocettivo).

Questo rallentamento si dimostra particolarmente efficace per il sistema autonomo quando viene applicato alla respirazione, o alla meditazione con respirazioni semplici. Concentrarsi, ad esempio, sulla freschezza dell'aria mentre si inspira o sul tepore dell'aria

quando si espira; grazie alla respirazione più lenta, riusciamo a visualizzare meglio le sensazioni dentro di noi.

Chiunque si sia preso il tempo di insegnare a un bambino a giocare a calcio o a lanciare una palla dentro un canestro, avrà notato una graduale transizione del corpo da uno stile di movimento neuromotorio “singolo muscolare” all'assunzione di uno stile più armonioso che coinvolge unità motorie coordinate entro lunghe catene cinetiche. Quando si eseguono movimenti complessi quali: lanciare, correre o saltare, fare affidamento sui singoli muscoli produce un movimento sottopotenziato a ridotta precisione e ripetibilità. Anche un osservatore occasionale riesce a notare la differenza quando, invece, l'intero corpo viene coinvolto in una performance.

2.6 Elasticità

I concetti della meccanica applicati all'anatomia umana e animale ci hanno portato molte informazioni sulle azioni dei singoli muscoli in termini di leve, angoli e forze.

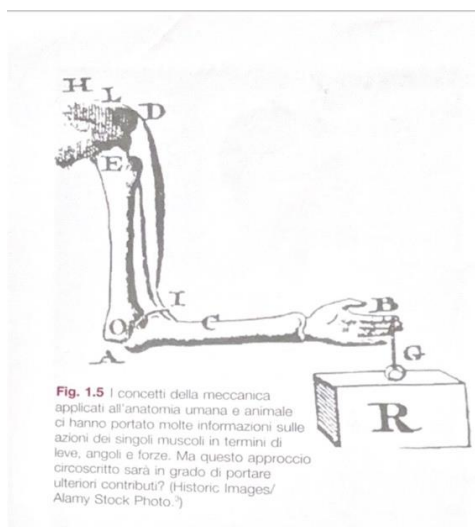


Fig. 6: esempio di leva applicato al corpo umano

Numerosi studi scientifici hanno svelato che correndo, camminando e nella maggior parte dei salti, l'energia elastica venga temporaneamente immagazzinata nelle parti fasciali della struttura miotendinea.

Il muscolo opera in efficienza quasi isometrica, tenendosi solo il necessario per mantenere la sua lunghezza.

L'energia immagazzinata viene restituita una frazione di secondo dopo, cosa che può essere usata vantaggiosamente da un corridore, un saltatore o un ballerino.

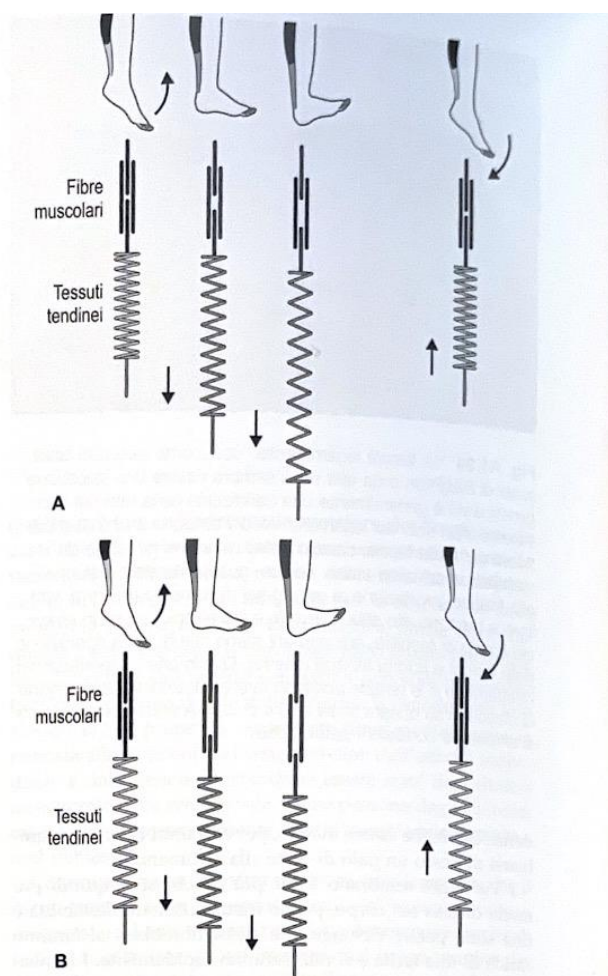


Fig.7: esempio di forze elastiche in camminata (Kawakami Y.)

La fascia combina sia la proprietà elastica sia proprietà visco-elastiche, queste proprietà possono essere allenate. Uso comune dell'elasticità fasciale è quello del diffuso ciclo stiramento accorciamento, ciclo in cui la fascia e il muscolo viene allenata da un movimento opposto: accovacciarsi prima di saltare, portare la racchetta indietro prima di un colpo o far oscillare all'indietro un kettlebell prima di rialzarla in avanti sono tutti esempi di questa diffusa strategia. I contro movimenti preparatori rendono lo sforzo successivo più lineare e meno soggetto a infortuni. Un corridore a piedi scalzi che voglia trarre il massimo vantaggio dal rimbalzo elastico terrà il tibiale posteriore, per dare un esempio lampante, in contrazione isometrica. Nella fase di accettazione del peso l'unità muscolo tendinea è distesa ma il muscolo non si allunga in maniera apprezzabile mantenendo un limite efficiente sullo sforzo eccentrico nel muscolo. Tutto ciò trasferisce

la deformazione al tendine che si allunga e che poi balza indietro e spingendolo in avanti, il corridore, ha un costo inferiore di quello che comporterebbe un effettivo allungamento e accorciamento concentrico del muscolo. L'elasticità è vantaggiosa specialmente nello sforzo di resistenza. Immaginiamo un giocatore di pallacanestro che atterra dopo un salto volendosi girare, l'esigenza non è quella di immagazzinare il rimbalzo elastico, ma di ammortizzarlo. Coordinando il muscolo per rilassarlo e allungarlo, l'energia elastica viene riassorbita dal tendine senza movimento. L'elasticità dei legamenti dell'anca e dei legamenti spinali, in particolare il grosso legamento nucale tra i lati del collo, e i legamenti del piede rappresenta una delle aree privilegiate in cui la proprietà elastica assume valore.

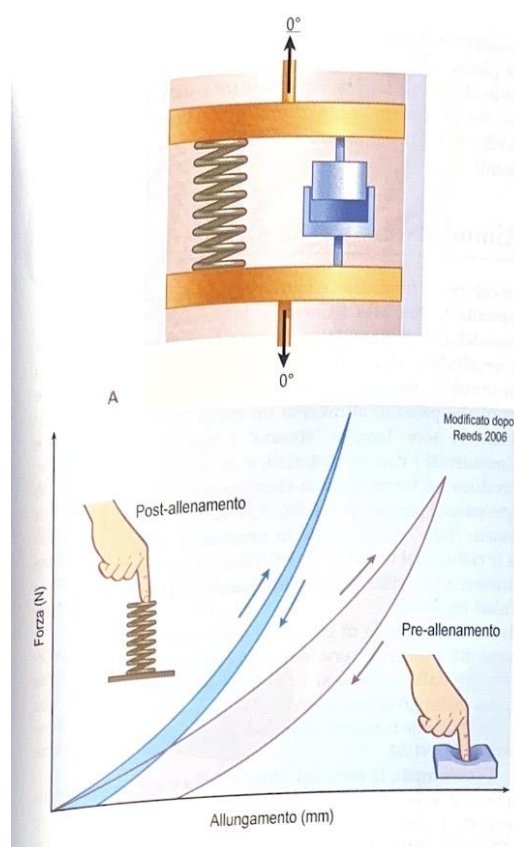


Fig. 8: il movimento combina sia di proprietà elastiche sia proprietà scheletriche (Schleip, fascianet.com, s.d.)

Chi non ha mai provato la differenza tra una lunga camminata a passo svelto lungo i sentieri di un bosco o tra le vie della città; ci si sente come se si potesse camminare in eterno, invece, una lenta passeggiata in un padiglione fieristico o al centro commerciale in cui ci si ritrova con i piedi e le gambe stanchi o la schiena dolorante trasformando il pomeriggio in una esperienza spiacevole o dolorosa.

A questi due tipi di deambulazione si può anche dare lo stesso nome ma la meccanica coinvolta è decisamente diversa. Diciamo che, la differenza consiste nel fatto che la prima camminata fa un uso efficiente dell'elasticità immagazzinata mentre la natura non elastica della seconda fatta di risposte e ripartenze, per sua stessa natura, richiede più di un isolato tipo di movimento singolo muscolare.

La deambulazione viene spesso descritta come una caduta controllata: ad ogni passo dobbiamo impedirci di accelerare verso il suolo. Per stare dritti e continuare a muoverci in avanti usiamo la limitata stabilità dello scheletro per contrastare la gravità che ci attira verso il basso. L'interazione tra la gravità e le forze di reazione nel momento in cui il tallone tocca a terra crea una serie di onde nel corpo in ogni livello articolare e a quasi ogni livello motorio. L'adattamento delle giunture, guida le forze nei tessuti molli del corpo ritardando e decelerando la nostra “caduta al suolo”.

Il corpo in tal modo trasferisce l'energia cinetica (la caduta verso il basso) in energia potenziale (l'energia immagazzinata nei tessuti muscolari elastici) e poi di nuovo in energia cinetica nella direzione opposta (contraccolpo elastico) ecco l'intero ciclo stiramento-accorciamento.

Gravità, forza di reazione, quantità di moto e struttura articolare interagiscono tra loro creando una miriade di forze con direzione diversa nel corpo che deve essere adattata e dalla quale riprendersi, preferibilmente con il minor consumo energetico possibile.

Le variazioni di ritmo pendenza o curvature richiederanno un lavoro muscolare extra. Usiamo comunque molte di queste dinamiche fondamentali in un'ampia varietà di condizioni. Lo sforzo di reazione alla gravità e la quantità di moto si alternano, invece, in funzione dell'attività del terreno, delle calzature e della lunghezza degli arti e di molte altre variabili.

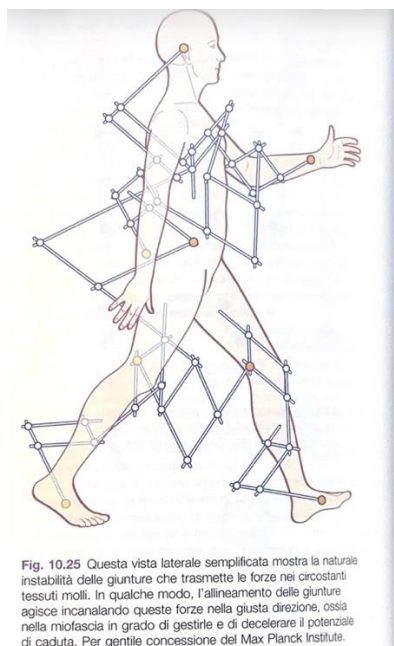


Fig.9: esempio di camminata in cui la naturale instabilità delle giunture trasmette le forze nei circostanti tessuti molli.

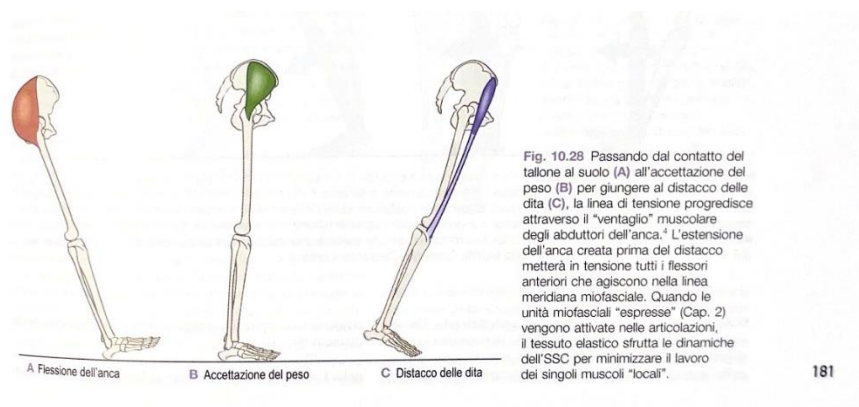


Fig. 10: passaggio dal contatto al suolo all'accettazione del peso, al distacco delle dita durante la camminata.

2.7 La fisica che c'è dietro

Se appendiamo un peso a una molla, questa si allunga. Se aggiungiamo altri pesi, la molla si allunga maggiormente. Se eliminiamo i pesi, la molla ritorna alla lunghezza iniziale. Diciamo che, la molla è elastica. Quando un battitore colpisce una palla da baseball, egli modifica temporaneamente la forma della palla, quando un arciere lancia una freccia egli prima flette l'arco, il quale ritorna rapidamente alla forma iniziale quando la freccia viene scoccata. La molla, la palla da baseball e l'arco sono esempi di corpi elastici. L'elasticità è definita come: *quella proprietà di un corpo grazie alla quale esso subisce una*

modificazione della forma quando su di esso agisce una forza deformante e grazie alla quale esso ritorna alla forma iniziale quando la forza deformante viene eliminata (G.Hewitt, 1990). Non tutti i materiali ritornano alla forma iniziale quando viene eliminata la forza deformante che è stata applicata a essi. I materiali che non riacquistano la forma iniziale dopo essere stati deformati sono detti *anelastici*. L'argilla, lo stucco e l'impasto per il pane sono materiali anelastici. Quando applichiamo un peso a una molla applichiamo alla molla una *forza*. Risulta che l'allungamento e l'accorciamento, ossia la deformazione, della molla è direttamente proporzionale alla forza applicata.

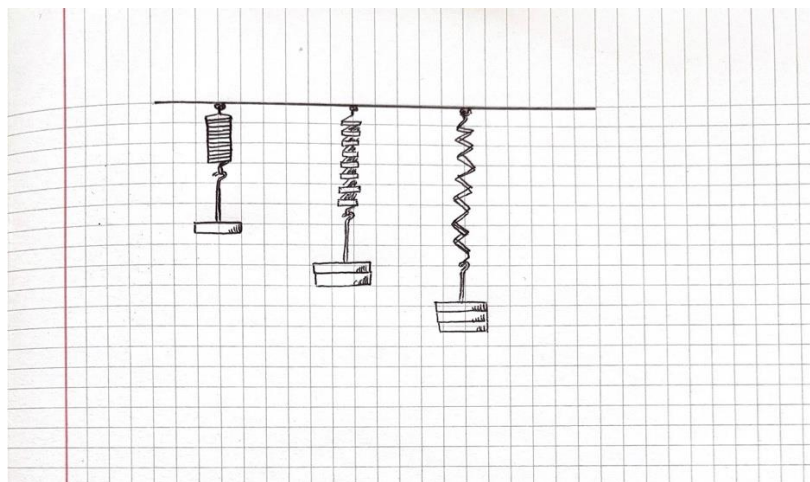


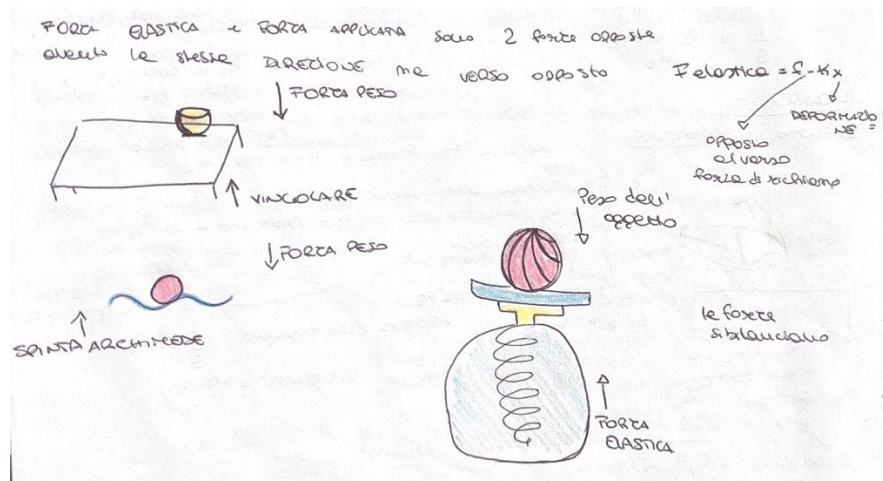
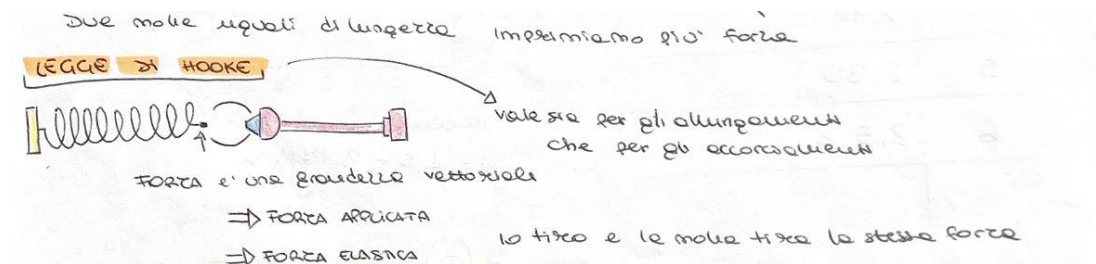
Fig. 11: L'allungamento della molla è direttamente proporzionale alla forza applicata: se il peso raddoppia, l'allungamento della molla raddoppia.

questa relazione stabilita alla metà del XVI secolo dal fisico inglese Robert Hooke contemporaneo di Isaac Newton, è nota come legge di Hooke. L'allungamento e l'accorciamento, ossia la deformazione x è direttamente proporzionale alla forza applicata F .

In simboli:

$$F \propto x$$

Se un materiale elastico viene sollecitato a trazione o a compressione (allungamento o accorciamento) oltre un certo limite, esso non ritorna al suo stato iniziale, bensì la massima sollecitazione oltre la quale si produce una deformazione permanente è detta limite elastico o limite di elasticità. La legge di Hooke vale soltanto finché la forza che sollecita attrazione compressione il materiale non supera il limite elastico (Hewitt, 1990).



2.8 Energia potenziale

Un corpo può immagazzinare energia in virtù della sua posizione. L'energia che viene immagazzinata e tenuta pronta per essere utilizzata è detta energia potenziale (E_{pot}), poiché nello stato immagazzinato ha la potenzialità di compiere lavoro. Una molla allungata o accorciata, per esempio, ha la potenzialità di compiere lavoro. Quando un arco è teso, nell'arco è immagazzinata energia. Un elastico teso possiede energia potenziale in virtù della sua posizione poiché, se fa parte di una fionda, è capace di compiere lavoro. Questa si rende disponibile quando la posizione delle cariche elettriche entro e tra le molecole vengono modificate, cioè quando avviene una trasformazione chimica.

¹ Le immagini prive di specifica didascalia o riferimento bibliografico sono tratte dagli appunti personali elaborati durante il corso di Elementi di Fisica e rielaborate ai fini della presente ricerca.

È necessario compiere lavoro per sollevare i corpi contro la forza di gravità della Terra. L'energia potenziale che i corpi possiedono in virtù della posizione elevata che occupano è detta *energia potenziale gravitazionale*.

2.9 Energia cinetica

Se esercitiamo una spinta su un corpo in quiete, possiamo porlo in moto. Se un corpo si muove, in virtù del suo moto esso è capace di compiere lavoro. L'energia associata al moto è detta energia cinetica (E_{cin}). L'energia cinetica di un corpo dipende sia dalla massa del corpo sia dalla sua velocità. È uguale alla metà del prodotto della massa per il quadrato della velocità:

$$\begin{aligned}(\text{energia cinetica}) &= \frac{1}{2} (\text{massa}) \times (\text{velocità})^2 \\ E_{cin} &= \frac{1}{2} mv^2\end{aligned}$$

Quando lanciamo una palla, compiamo su di essa lavoro per impartirle la velocità che possiede quando abbandona la nostra mano. La palla in moto può poi colpire qualcosa ed esercitare contro di esso una spinta, compiendo lavoro su ciò che colpisce. *L'energia cinetica di un corpo in moto con una certa velocità è uguale al lavoro necessario per portarlo a quella velocità dalla quiete oppure al lavoro che il corpo è capace di compiere quando viene arrestato* (Hewitt, Fisica per concetti, 1990).

(forza risultante) x (spostamento) = (energia cinetica)

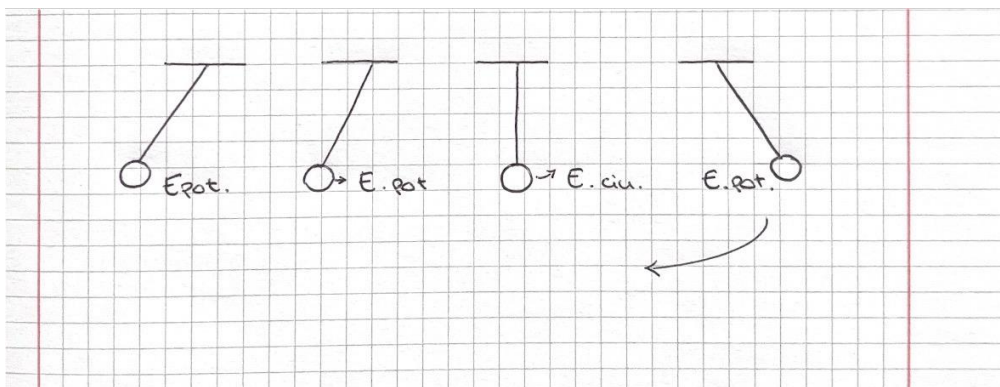
$$F_s = \frac{1}{2} mv^2$$

È importante notare che la velocità è elevata al quadrato e quindi, se la velocità di un corpo raddoppia, la sua energia cinetica si quadruplica ($2^2 = 4$).

Ciò significa che è necessario un lavoro quadruplo per raddoppiare la velocità di un corpo e anche che un corpo che si muove con una velocità pari al doppio di quella di un altro corpo richiede un lavoro quadruplo per venire arrestato.

2.10 Conservazione dell'energia

Più importante di essere capaci di definire che cos'è l'energia è capire come si comporta, e cioè, come si converte o si trasforma. Si riescono a spiegare meglio i processi ad ogni trasformazione che si producono in natura se si analizzano tali trasformazioni facendo riferimento ad una conversione di energia da una forma in un'altra. Se si tira all'indietro il sasso di una fionda si compie lavoro nel tendere l'elastico: l'elastico possiede quindi un'energia potenziale. Quando viene lasciato libero, il sasso, ha un'energia cinetica uguale alla sua energia potenziale e comunica tale energia cinetica al suo bersaglio. Il prodotto del lieve spostamento del paletto per la forza d'urto media non è affatto uguale all'energia cinetica del sasso: il bilancio dell'energia non quadra. Ma, se approfondiamo la nostra indagine, troviamo che sia il sasso sia il paletto sono un po' più caldi. Di quanto? Della differenza di energia. L'energia si converte da una forma in un'altra. Si converte senza perdita netta o guadagno netto.



Lo studio delle varie forme di energia e delle loro conversioni da una forma in un'altra ha condotto a una delle massime generalizzazioni della fisica nota come **principio di conservazione dell'energia**: *l'energia non può essere creata né distrutta; può essere convertita da una forma in un'altra, ma la quantità totale di energia non varia mai.*

Quando consideriamo un sistema qualsiasi nella sua interezza, sia esso un sistema semplice come un pendolo oscillante o un sistema complesso come una galassia in esplosione, c'è una grandezza che non varia: l'energia.

Essa può cambiare forma, o può semplicemente trasmettersi da un luogo a un altro ma il bilancio dell'energia totale rimane costante.

Questo bilancio dell'energia tiene conto del fatto che gli atomi che costituiscono la materia sono essi stessi pacchetti concentrati di energia. Quando i nuclei degli atomi si riorganizzano, possono venire liberate quantità enormi di energia. Il sole brilla poiché una parte di questa energia si trasforma in energia raggiante. Nei reattori nucleari molto di questa energia si converte in calore. Parte dell'energia che proviene dal Sole fa evaporare l'acqua del mare e una parte di questa energia ritorna sulla Terra sotto forma di pioggia che può venire intrappolata dietro una diga. In virtù della sua posizione, l'acqua accumulata dietro una diga possiede energia che può venire utilizzata per azionare una centrale elettrica situata a valle della diga, dove verrà convertita in energia elettrica. L'energia elettrica si trasmette lungo fili conduttori giungendo alle case, dove viene utilizzata per illuminare il riscaldare gli ambienti, cuocere i cibi e azionare gli elettrodomestici. *L'energia si converte da una forma in un'altra!*

2.11 Energia per la vita

Ogni cellula viva di ogni organismo è una macchina vivente. Come qualsiasi macchina ha bisogno di un apporto di energia. La maggior parte degli organismi che vivono sul nostro pianeta si nutre di vari carboidrati che liberano energia quando reagiscono con l'ossigeno. È questa differenza di energia che mantiene la vita, il principio della combustione nella digestione del cibo nell'organismo è identico a quello della combustione dei combustibili fossili nei motori meccanici. La differenza principale è la velocità con cui si svolgono le reazioni. Nella digestione la velocità della reazione è molto più bassa, l'energia viene liberata quando si rende necessaria. Il carbonio si combina con l'ossigeno per formare anidride carbonica, il processo inverso è più difficile. Soltanto le piante verdi e certi organismi unicellulari sono capaci di fare combinare l'anidride carbonica con l'acqua per produrre carboidrati come lo zucchero. Questo processo è la *fotosintesi* e richiede un apporto di energia, che di solito proviene dalla luce solare. Lo zucchero è l'alimento più semplice; tutti gli altri carboidrati (proteine e grassi) sono anch'essi composti di sintesi di carbonio, idrogeno e ossigeno. È per noi una vera fortuna che le piante verdi siano capaci di utilizzare l'energia della luce solare per sintetizzare

alimenti che forniscono l'energia necessaria a noi e a tutti gli altri organismi che si nutrono di cibo. *Ecco perché esiste la vita sulla terra.*

2.12 Aria

I gas (o aeriformi) sono simili ai liquidi in quanto anche essi *fluiscono*; quindi, gli uni e gli altri vengono detti collettivamente fluidi. La principale differenza fra i gas e i liquidi è la distanza fra le molecole. In un liquido, le molecole sono vicine tra loro e sono soggette a forze esercitate dalle molecole circostanti. Queste forze influenzano fortemente il moto delle molecole. In un gas, le molecole sono distanti ciascuna dalle altre e non sono soggette a forze esercitate dalle molecole circostanti. Esse sono in grado di muoversi con minori restrizioni. Quando le molecole di un gas urtano tra loro o contro le pareti del recipiente, esse rimbalzano senza perdere energia cinetica.

Un gas si espande per occupare tutto lo spazio che ha a disposizione e assume la forma del recipiente che lo contiene. Soltanto quando la quantità di gas è molto grande, come nel caso dell'atmosfera della Terra o di una stella, la forma del gas è determinata dalla gravitazione.

2.13 Atmosfera

Viviamo in un mare di gas, l'atmosfera!

Non dobbiamo cercare distante per trovare un campione di gas. Le molecole dell'aria occupano uno spazio che si estende per molti chilometri al disopra della superficie della Terra e, grazie all'energia che ricevono dalla luce solare, sono continuamente in moto. In assenza della forza di gravità della Terra, volerebbero via disperdendosi nello spazio esterno. E, senza l'energia ricevuta dal Sole, costituirebbero semplicemente una parte della materia presente sul suolo.

Ma, per fortuna, ci sono l'energia solare e la forza di gravità e quindi abbiamo un'atmosfera.

A differenza del mare, che ha una superficie definita, l'atmosfera terrestre non ha una superficie definita. E, a differenza della massa volumica costante di un liquido a qualsiasi profondità, la massa volumica dell'atmosfera varia con la quota. L'aria è più compressa al

livello del mare che a quote più alte. Come in un enorme mucchio di piume, quelle alla base sono più compresse di quelle vicine alla sommità. L'aria diventa sempre più rarefatta (meno densa) al crescere della quota finché la sua massa volumica non si annulla nello spazio.

Anche nelle regioni vuote dello spazio interplanetario c'è una densità di gas di circa 1 molecola/cm³. Questo gas è costituito principalmente da idrogeno, l'elemento più abbondante nell'Universo.

Il 50% dell'atmosfera si trova al disotto di una quota di 5,6 km, il 75% al disotto di 11 km, il 90% al disotto di 17,7 km e il 99% al disotto di una quota di 30 km.

Rispetto al raggio della Terra, 30 km sono una quota molto piccola. Per farsi un'idea, di quanto è piccola, lo «spessore» dell'atmosfera rispetto al raggio della Terra è “come lo spessore del fiato condensato su una palla da biliardo”.

La nostra atmosfera è finita ecco perché dobbiamo prendercene cura.

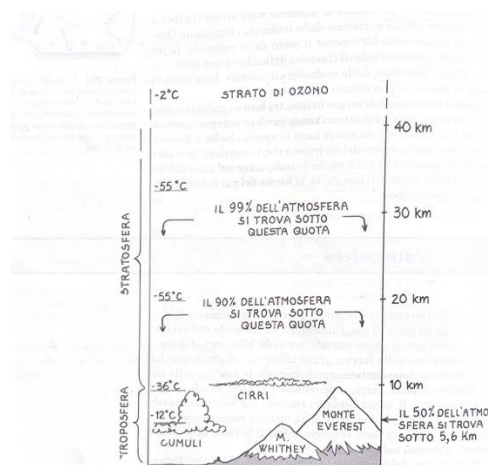


Fig 14: gli strati di gas presenti nell'atmosfera

2.14 Pressione atmosferica

Viviamo sul fondo del nostro mare d'aria.

L'atmosfera, come l'acqua in un lago, esercita una pressione. E, come la pressione dell'acqua è causata dal peso dell'acqua, la pressione atmosferica è causata dal peso

dell'aria. Siamo talmente abituati all'aria invisibile che talvolta dimentichiamo che ha un peso. Forse un pesce «dimentica» nello stesso modo il peso dell'acqua.

Tabella 20.1 Masse volumiche di vari gas		
Gas	Massa volumica (kg/m ³)*	
aria secca	0 °C	1,29
	10 °C	1,25
	20 °C	1,21
	30 °C	1,16
elio		0,178
idrogeno		0,090
ossigeno		1,43

* Alla pressione atmosferica al livello del mare e a 0 °C (salvo che non sia specificato altrimenti).

Fig. 15: Tabella di masse volumiche dei vari gas

Al livello del mare, 1 m³ di aria a 20 °C ha una massa di circa 1,2 kg. Calcolando il volume in metri cubi della stanza in cui ci troviamo e moltiplicandolo per 1,2 kg/m³, troviamo la massa dell'aria contenuta nella stanza (Hewitt, Fisica per concetti, 1990). Non dobbiamo restare sorpresi se la massa trovata è maggiore di quella di un bambino: l'aria è pesante se è in quantità sufficiente.

La pressione dell'atmosfera non è uniforme. Oltre a variare con la quota, la pressione atmosferica in una qualsiasi località varia a causa di correnti d'aria e di temporali. La misurazione delle variazioni della pressione atmosferica è importante per i meteorologi nella previsione del tempo.

2.15 Onde e oscillazioni

Tutt'attorno a noi le cose oscillano e vibrano. Anche corpi troppo piccoli per poter essere visti, come gli atomi, sono soggetti a continue oscillazioni e vibrazioni. Un'oscillazione (o una vibrazione) è un moto periodico di andirivieni. Essa non può esistere in un unico istante, ma impiega tempo per svolgersi avanti e indietro. Se battiamo una campana, le vibrazioni continueranno per un certo tempo prima di estinguersi.

Un'oscillazione nello spazio e nel tempo è detta onda. Un'onda non può esistere in un unico punto dello spazio, ma deve estendersi da un punto a un altro. La luce e il suono sono entrambi forme di energia che si propagano attraverso lo spazio sotto forma di onde.

2.15.1 Oscillazione di un pendolo

Se sospendiamo un bullone all'estremo di un filo, abbiamo un pendolo semplice. I pendoli oscillano avanti e indietro con una regolarità tale che vengono usati da lungo tempo per regolare il moto degli orologi. Galileo scoprì che l'intervallo di tempo che un pendolo impiega per compiere oscillazioni di piccola ampiezza non dipende dalla massa del pendolo né dall'ampiezza dell'oscillazione. L'intervallo di tempo impiegato per compiere un'oscillazione completa avanti e indietro, detto *periodo dell'oscillazione*, dipende soltanto dalla lunghezza del pendolo e dall'accelerazione di gravità.

I termini *oscillazione* e *vibrazione* designano lo stesso fenomeno e quindi sono sinonimi. Però, si tende a usare il termine vibrazione per designare le oscillazioni di periodo molto piccolo rispetto all'intervallo di tempo in cui si studia il fenomeno, o le oscillazioni di un sistema meccanico quando l'ampiezza dell'oscillazione ad alta frequenza è molto minore delle dimensioni del sistema. Si parla così di vibrazioni di un diapason ma di oscillazioni di un pendolo.

La relazione esatta per il periodo T di un pendolo semplice è

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

dove l è la lunghezza del pendolo e g è l'accelerazione di gravità.

Un pendolo più lungo ha un periodo più lungo di quello di un pendolo più corto; cioè, oscilla avanti e indietro più lentamente rispetto a un pendolo più corto. Quando camminiamo, permettiamo alle nostre gambe di oscillare con l'aiuto della forza di gravità, come se fossero un pendolo. Come un pendolo più lungo ha un periodo più lungo, così una persona con le gambe più lunghe tende a camminare con un'andatura più lenta rispetto a una persona con le gambe più corte. Questo fatto è particolarmente evidente negli animali dalle gambe lunghe, come le giraffe, i cavalli e gli struzzi, che corrono con un'andatura più lenta rispetto agli animali dalle zampe corte come i cani bassotti, i criceti e i topi.

2.15.2 Descrizione delle onde

La lunghezza d'onda di un'onda è la distanza fra due creste (o due valli) consecutive o, ciò che è equivalente, è la distanza fra due punti corrispondenti consecutivi dell'onda. Le lunghezze d'onda delle onde sulla superficie del mare sono dell'ordine dei metri, quelle delle increspature in uno stagno sono dell'ordine dei centimetri, quelle della luce sono dell'ordine dei micrometri. Il numero di oscillazioni riferito all'intervallo di tempo in cui si compiono costituisce la frequenza dell'onda. La frequenza di un pendolo oscillante specifica il numero di oscillazioni complete (andata e ritorno) che esso compie in un dato intervallo di tempo (di solito in 1 s). Se l'oscillazione completa si compie in 1 s, la frequenza è 1 oscillazione al secondo. Se in 1 s si compiono 2 oscillazioni complete, la frequenza è di 2 oscillazioni al secondo.

Nel Sistema Internazionale, l'unità di frequenza è l'hertz (simbolo Hz), così chiamato in onore di Heinrich Hertz, che dimostrò sperimentalmente le radioonde nel 1886. Una frequenza di 1 Hz equivale a 1 oscillazione al secondo; una frequenza di 2 Hz a 2 oscillazioni al secondo; e così via. Le frequenze più alte vengono misurate in kilohertz (kHz) e quelle ancora più alte in megahertz (MHz).

La sorgente di ogni onda è qualcosa che oscilla. La frequenza della sorgente oscillante e la frequenza dell'onda che produce sono identiche.

Se si conosce la frequenza di un corpo, si può calcolare il suo periodo, e viceversa. Supponiamo, per esempio, che un pendolo compia 2 oscillazioni in 1 s. La sua frequenza è 2 Hz. L'intervallo di tempo necessario per compiere un'oscillazione completa, e cioè il periodo di oscillazione, è (1/2) s. Oppure, se la frequenza di oscillazione è 3 Hz, il periodo di oscillazione è (1/3) s. La frequenza e il periodo sono l'una l'inverso dell'altro, o viceversa:

$$(\text{frequenza}) = \frac{1}{(\text{periodo})}$$

o viceversa

$$(\text{periodo}) = \frac{1}{(\text{frequenza})}$$

2.15.3 Propagazione per onde

La maggior parte delle informazioni che riceviamo ci giunge sotto forma di onde. Il suono è energia che raggiunge i nostri orecchi sotto forma di una specie di onda (un'onda sonora). La luce è energia che raggiunge i nostri occhi sotto forma di una differente specie di onda (un'onda elettromagnetica). I segnali che raggiungono i radioricevitori o i televisori si propagano anche essi sotto forma di onde elettromagnetiche.

Quando l'energia viene trasportata da un'onda da una sorgente oscillante a un ricevitore distante, tra i due punti *non avviene un trasporto di materia*. Per capirlo, consideriamo la semplicissima onda che si produce scuotendo su e giù un estremo di una corda tesa orizzontalmente (Fig.n).

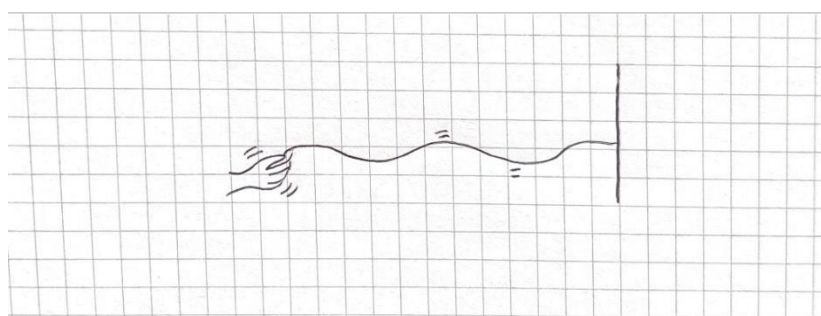


Fig. 16: esempio di corda che viene scossa su e giù

Dopo che l'estremo della corda è stato scosso, lungo la corda si propaga una perturbazione ritmica. Ogni parte della corda si muove su e giù, mentre la perturbazione si propaga orizzontalmente lungo l'estensione della corda. *È la perturbazione che si muove lungo la corda, non parti della corda stessa.*

Se lanciamo un sasso in uno stagno calmo produciamo un'onda che si allontana dal centro (dal punto di caduta del sasso) in cerchi che vanno allargandosi. E' la perturbazione che si muove, non l'acqua, poiché, dopo che la perturbazione è passata, l'acqua si trova nella posizione in cui era prima che si producesse l'onda.

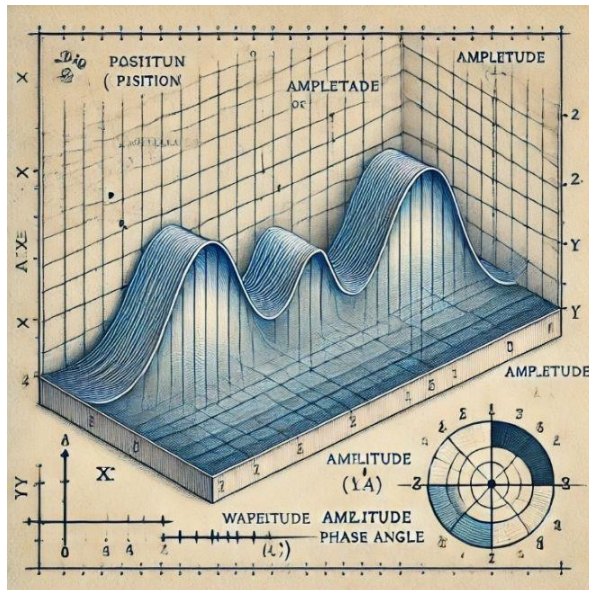
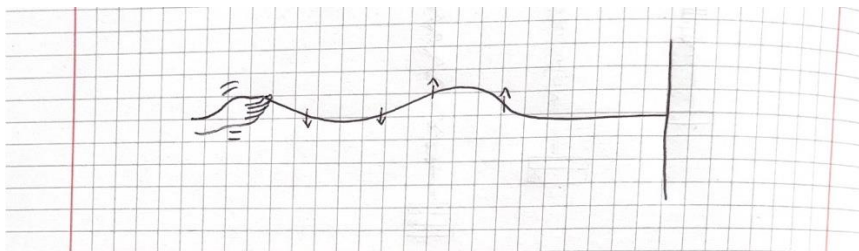


Fig. 17: immagini di onde sull'acqua

Quando qualcuno ci parla dall'altro lato della stanza, l'onda sonora che giunge ai nostri orecchi è una perturbazione dell'aria che si propaga attraverso la stanza. Le molecole dell'aria stesse non si muovono attraverso la stanza, come farebbero nel caso di un vento. L'aria, come la corda e l'acqua negli esempi precedenti, è il mezzo attraverso cui si propaga l'energia dell'onda. L'energia che si trasmette da una sorgente oscillante (o vibrante) al ricevitore viene trasportata da una perturbazione in un mezzo, non da materia che si muove da un punto a un altro all'interno del mezzo.

2.15.4 Onde trasversali

Supponiamo di generare un'onda lungo una corda scuotendo su e giù l'estremo libero. In questo caso, il moto della corda (rappresentato dalle frecce rivolte verso l'alto e verso il basso) è perpendicolare alla direzione in cui si propaga l'onda.



Quando il moto del mezzo (della corda in questo caso) è perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda, questa è detta onda trasversale. Le onde che si stabiliscono nelle corde tese degli strumenti musicali e sulla superficie dei liquidi sono onde trasversali.

2.15.5 Onde longitudinali

Non tutte le onde sono trasversali. Talvolta le particelle del mezzo si muovono avanti e indietro nella stessa direzione in cui si propaga l'onda. Le particelle del mezzo si muovono lungo la direzione di propagazione dell'onda, anziché perpendicolarmente a essa. Questa specie di onda è detta onda longitudinale.

Entrambe le specie di onde quelle trasversali e quelle longitudinali, possono essere dimostrate sperimentalmente con una molla a spire lasse, detta con termine inglese *slinky*. Scuotendo su e giù l'estremo libero di avanti e indietro, si può generare un'onda longitudinale. In questo caso, si può osservare che il mezzo oscilla nella direzione di trasmissione dell'energia. Le onde sonore sono onde longitudinali.

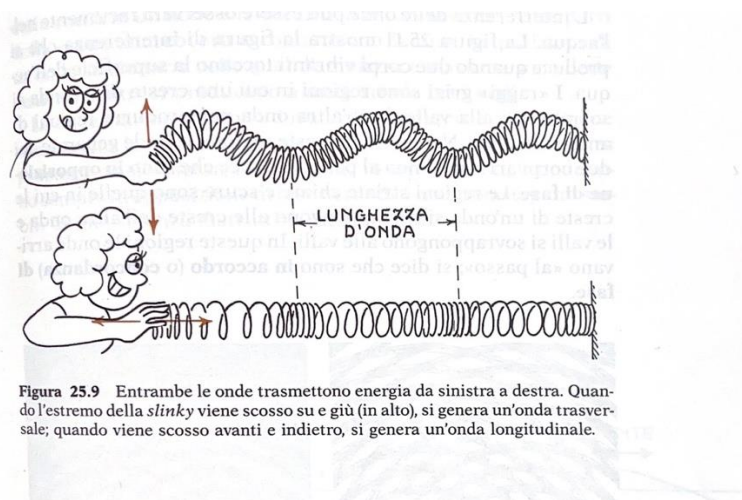


Figura 25.9 Entrambe le onde trasmettono energia da sinistra a destra. Quando l'estremo della *slinky* viene scosso su e giù (in alto), si genera un'onda trasversale; quando viene scosso avanti e indietro, si genera un'onda longitudinale.

Fig. 19: immagine del funzionamento di una slinky

2.15.6 Interferenza

Un corpo materiale come un sasso non può condividere con un altro sasso lo spazio che occupa. Invece, nello stesso spazio possono coesistere simultaneamente più oscillazioni od onde. Per esempio, se lanciamo due sassi nell'acqua, le onde prodotte da ciascuno di essi possono sovrapporsi e formare una figura di interferenza, al cui interno gli effetti delle onde possono rinforzarsi, attenuarsi o elidersi mutuamente.

Quando la cresta di un'onda si sovrappone alla cresta di un'altra onda, i loro singoli effetti si sommano, producendo un'onda di maggiore ampiezza. Questo fenomeno di rinforzo è detto interferenza costruttiva. Quando la cresta di un'onda si sovrappone alla valle di un'altra onda, i loro singoli effetti si riducono: la parte alta di un'onda riempie semplicemente la parte bassa di un'altra. Questo fenomeno di elisione è detto interferenza distruttiva. L'interferenza delle onde può essere osservata facilmente nell'acqua.



Fig.20: interferenze sull'acqua

La figura n. 17 mostra la figura di interferenza che si produce quando due corpi vibranti toccano la superficie dell'acqua.

L'interferenza è caratteristica di tutti i fenomeni di propagazione per onde, siano queste onde in acqua, onde sonore, od onde luminose.

2.15.7 Onde stazionarie

Se leghiamo una corda a una parete e scuotiamo su e giù l'estremo libero, produciamo un'onda nella corda. La parete è troppo rigida per scuotersi e quindi l'onda si riflette a ritroso lungo la corda verso di noi. Scuotendo la corda nel modo appropriato riusciamo a far sì che l'onda incidente (iniziale) e l'onda riflessa formino un'onda stazionaria, nella quale parti della corda, dette nodi, rimangono in quiete (stazionarie).

È un fatto interessante che potremmo tenere le dita dai due lati della corda in un nodo e la corda non le toccherebbe. Altre parti della corda andrebbero a contatto con le dita. Le posizioni di un'onda stazionaria nelle quali l'ampiezza è massima sono dette ventri. I ventri si producono a metà strada fra i nodi.

Le onde stazionarie sono dovute all'interferenza. Quando due onde aventi la stessa ampiezza e la stessa lunghezza d'onda si propagano nella stessa direzione, ma in versi opposti, le onde sono sempre in opposizione di fase nei nodi. I nodi sono regioni stabili di interferenza distruttiva.

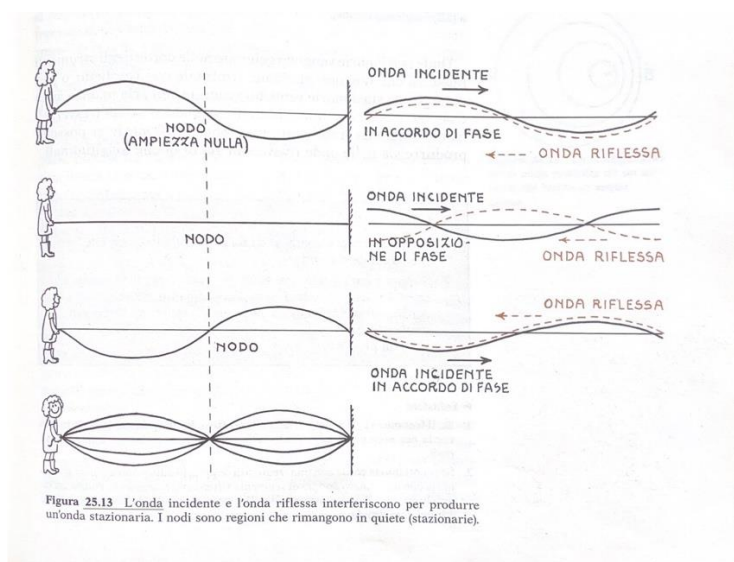


Fig. 21: le onde stazionarie sono dovute all'interferenza

Possiamo produrre un'ampia varietà di onde stazionarie scuotendo la corda con differenti frequenze. L'onda stazionaria più facile da produrre è costituita da un solo segmento. Raddoppiando la frequenza di scuotimento, produciamo onde più interessanti. Onde

stazionarie vengono generate nelle corde degli strumenti musicali che vengono pizzicate, strofinate con l'archetto, o percosse. Onde stazionarie vengono generate nell'aria in una canna d'organo e nell'aria di una bottiglia quando si soffia trasversalmente sulla sua imboccatura. Le onde stazionarie si possono produrre sia nelle onde trasversali sia in quelle longitudinali.

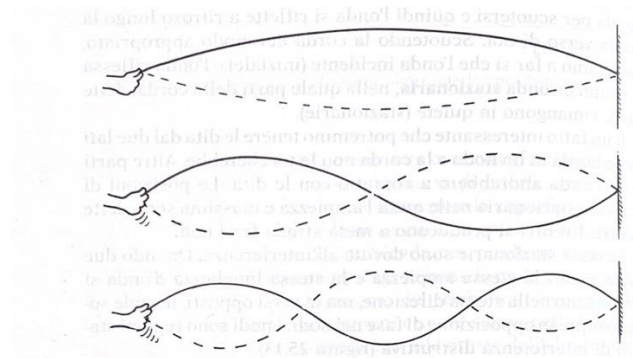


Fig. 22: esempi di onde con corda

2.16 Intervista a Olga Mautone

Per introdurre il presente lavoro di tesi è necessario che io racconti la mia conoscenza con Olga Mautone; insegnante con una notevole esperienza nel campo della innovazione didattica.

Ho avuto l'occasione di discutere dell'idea del valore educativo svolto dalle pratiche corporee, come lo yoga e la meditazione e di come possano giocare un ruolo fondamentale, nella comprensione di concetti di tipo scientifico e fisico a partire dall'esperienza di una docente esperta nel settore.

Ho riflettuto sulle varie forme della generosità, una di queste è, secondo me, quella di condividere le proprie esperienze con gli altri in modo aperto e sincero. Olga Mautone, nel condividere con me parole e concetti che hanno fatto parte del suo personale bagaglio di esperienze è stata una testimonianza di grande fiducia e speranza nel futuro. Ho immaginato questo scambio tra noi come il gesto simbolico del dono di alcuni semi; con la speranza che possano crescere, cambiare forma, sopravvivere al tempo e continuare ad evolvere.

Olga Mautone, nel nostro interagire mi ha concesso di prendere e portare con me alcuni concetti, per cui le sono etenramente grata.

Di seguito, provo restituire parte della ricchezza di idee e spunti che sono stati utili alla strutturazione e progettazione del mio intervento di sperimentazione in classe.

Fin da subito, è stato chiaro che Olga Mautone avesse dedicato la sua intera vita come insegnante di scuola primaria alla ricerca-azione e che il suo intero percorso di ricerca intendesse dare valore alla centralità del corpo.

La “sua” classe, mi racconta, era una classe caratterizzata dalla libertà di movimento, ma soprattutto di espressione, *“tutti potevano intervenire quando volevano”*, una classe *“circolare e non lineare”*, in cui, *“i ruoli di insegnante ed alunni non erano un limite ma una opportunità di scambio continuo e arricchimento reciproco”*.

I bambini, liberi di poter prendere parola per dire la propria opinione, erano educati al rispetto dei tempi: propri e altrui, le ore passate in classe si prefiggevano l’obiettivo di essere produttive ma soprattutto volte allo *“star bene”*.

L’idea di fondo del lavoro di Olga Mautone è quella di introdurre il corpo come attore protagonista, costruttore di significato.

La sua esperienza si basa sulla ricerca sia all’interno del movimento di cooperazione educativa (MCE) che nel dipartimento di matematica e fisica della Università Federico II di Napoli ma la sua, mi dice, *“è stata una ricerca-azione quotidiana”*.

Parallelamente, alla sua esperienza come docente in classe, Olga Mautone incontra una scuola di “yoga dinamico” denominata “Rio Abierto”, fondata negli anni 50 da una ballerina una psicologa e un medico: *Claudia Casanovas, Maria Clotilde Robustelli e Vincenzo Rossi*.

Olga Mautone, riconosce immediatamente il valore educativo di questa disciplina; comprendendo che il lavoro sul corpo, non solo fisico ma sul corpo emozionale, mentale, spirituale, sia alla base di una educazione volta all’ integrazione di mente, corpo e spirito, con l’obiettivo di un benessere totale della persona.

Durante la sua attività di docente si è occupata di portare a scuola alcuni principi imparati dalla pratica di questa disciplina, sostenendo l’importanza del processo creativo, che

diviene un processo liberatorio, e permettendo una creazione non materiale ma una liberazione espressiva, e una ricerca di armonia.

È lei a parlarmi di enattivismo: teoria secondo la quale le strutture cognitive della mente emergerebbero dalle dinamiche senso-motorie ricorrenti fra l'agente incarnato (*embodied*) e inserito in un ambiente naturale (*embedded*), le quali permettono all'azione di essere guidata percettivamente. Secondo le tesi dell'enattivismo, le esperienze coscienti vengono a essere costitutivamente connesse alle interazioni senso-motorie fra soggetto e ambiente esterno (Enciclopedia Treccani, s.d.).

L'idea di fondo della didattica sostenuta da Olga è quella di avere attenzione a tutti gli aspetti dell'essere umano, senza frammentare e creare separazione; un approccio, quindi, di tipo olistico.

All'interno della scuola di Rio Abierto si è perlopiù interessata alla sezione educativa:

Cosa si può fare per usare il corpo come protagonista, come attore in classe?

Il corpo parla, è colui che sente, percepisce, immagina, crea idee, forma geometrie nello spazio e quindi, danza.

L'importanza dello star bene a scuola è stata un fulcro nella sua ricerca didattica, non solo per i bambini ma anche con i docenti perché potessero ritrovare quel piacere nel loro lavoro di insegnanti, che “*passa sempre dal corpo*”.

Come era organizzata la tua programmazione settimanale? C'era un tempo dedicato al corpo?

Nella mia programmazione c'era un giorno dedicato completamente al corpo, si chiamava: laboratorio di movimento. Era un pomeriggio dedicato al movimento e all'esperienza corporea, ma, nella pratica quotidiana provavo a cogliere ogni opportunità di partire dal corpo. Durante gli anni di lavoro presso la scuola “Madonna Assunta”, dove ho lavorato per tanti anni, avevamo “l'aula di meditazione”, ho utilizzato la meditazione guidata, accompagnata da musica classica, per concedere agli alunni e a me stessa un momento di silenzio e contatto interiore. Di fronte alla scuola c'era il mare, e spesso finivamo ad osservare i colori della luce, la riproduzione del paesaggio che cambiava sotto i nostri occhi, tale osservazione del cielo, ci permetteva alcuni spunti su

cui riflettere, ad esempio osservavamo le ombre e ripercorrevamo il cammino del sole nel cielo.

L'idea di base era quella di partire sempre da qualcosa che vedeva il corpo come protagonista, diventava attore, con la mente con gli occhi con tutti i sensi e le percezioni. Le attività nascevano sempre prima come gioco e poi diventavano un lavoro organizzato, con il momento conclusivo della riflessione e riorganizzazione razionale di quello che si era sperimentato.

Come predisponevi lo spazio per svolgere questi lavori con la classe?

I lavori si svolgevano per lo più in cerchio: questo, ci permetteva alcune riflessioni sulla gestione dello spazio: in cerchio siamo tutti equidistanti dal centro, ci guardiamo negli occhi possiamo parlare in maniera libera, la maestra sta all'interno del cerchio allo stesso modo degli alunni e con il banco uguale a quello dei bambini.

I banchi, inoltre, non erano fissi, ma si potevano spostare per cambiare disposizione all'aula all'occorrenza, ad esempio durante il lavoro di gruppo si potevano creare delle isole: dei piccoli agglomerati di banchi in cui lavorare in piccolo gruppo.

Come descriveresti la risposta dei bambini a stimoli di questo tipo?

I bambini hanno tantissima energia, la sfida era utilizzare tutta l'energia ed incanalarla, durante i laboratori utilizzavo per lo più il corpo senza usare altri materiali. Questo rendeva le esperienze accessibili a tutti, e in tutti i contesti. Ad esempio, una volta provammo a sentire tutta la sua forza del proprio corpo come se fosse energia in potenza ferma, statica, sentivamo che si poteva trasformare questa potenza in atti, lo sentivano prima nel corpo, prima che diventasse atto, rendendo l'energia potenziale contatto silenzioso con il proprio corpo, che poi, solo alla fine, si trasformava in azione.

Di solito, dopo aver fatto movimento e aver trovato un momento di contatto con il proprio corpo e il proprio sentire, facevo dei rilassamenti guidati, durante questo tempo provavo a far immaginare di tutto ai bambini: ad esempio un momento della storia: dicevo ai bambini, ad esempio di chiudere gli occhi e immaginare di essere tutti quanti uomini preistorici che devono procurarsi il cibo" alla fine della visualizzazione, la cosa meravigliosa era che tutti i bambini avevano qualcosa da dire, nessuno si sentiva di non

essere preparato. Ecco la vera rivoluzione della mia ricerca: partendo dal corpo, partendo dal sentire, poiché il corpo è la casa di tutti, ognuno sente qualcosa, se il pensiero parte da questo (da questa casa che è il mio corpo) ogni bambino, ogni essere umano ha qualcosa da dire.

Nelle visualizzazioni potevamo viaggiare anche in contesti storici e immaginare argomenti didattici, in questo modo quell'argomento diventava patrimonio di tutti, tutti riuscivano a parlare a partire dall'assunto "io ho sentito, io ho pensato" che è diverso da "io so", poiché il sentire non poteva essere messo in discussione da nessuno, non c'era paura dell'errore, quello che hai sentito hai sentito, il giudizio si sospende.

Hai detto che utilizzavi questo tipo di approccio anche con gli adulti, ti va di parlarne?

Il corpo docente è un corpo come suggerisce la parola stessa, ma spesso i docenti, gli adulti in generale, perdono il contatto con il proprio corpo, smettono di ascoltarlo, sono anestetizzati.

Durante le formazioni utilizzavo, spesso, un gioco, "il gioco di Madama Fifi" consisteva nel domandare "Sai chi è Madama Fifi? "Madama Fifi è quella che fa così" seguito da un gesto corporeo che i presenti dovevano copiare, eravamo tutti disposti in fila e dopo una serie di movimenti liberi, quando tutto il "corpo docente" si era affidato si faceva l'ultimo movimento: una spinta, che portava tutte le maestre e i maestri a "cadere" per terra, di solito accompagnati da risate e stupore.

A chi ti sei ispirata durante questi anni di esperienza?

Io ho avuto la fortuna di essere accompagnata da maestri davvero eccezionali. Tra questi Paolo Guidoni ed Emilio Balzano. Un grande maestro spirituale Claudio Naranco che fondò un dipartimento di scuola e educazione, che affermava che solo investendo nell'educazione si potesse cambiare il mondo".

Poi Jean Sauvy che svolge la sua principale attività nel ramo ingegneristico, ma si interessa di studi etnologici e dedica inoltre molto tempo alla formazione degli adulti (genitori e insegnanti), mentre sua moglie, psicologa, lavora presso scuole elementari, e in particolare presso l'Ecole Décroly di Parigi.

Nicoletta Lanciano, la quale per il gruppo nazionale MCE ha lavorato dando importanza al rapporto diretto con la natura e in particolare con quella parte della natura che è ovunque, gratuita e a disposizione di tutti, anche delle situazioni più svantaggiate: il cielo. Organizza corsi residenziali di formazione per gli insegnanti e gli educatori, attività di sostegno alle classi della scuola dell'Infanzia, all'Università, ai Comuni, ai Parchi, e ai Musei, proponendo temi legati all'astronomia. Promuove un rapporto di amicizia con le radici culturali e interculturali dell'organizzazione dello spazio e del tempo attraverso l'osservazione diretta dei corpi celesti, la costruzione e l'uso di semplici strumenti, il racconto di miti e la ricerca degli aspetti antropologici legati all'osservazione dei fenomeni del cielo (MCE Movimento di cooperazione educativa, s.d.).

Altre personalità citate, tra cui, Lorenzo Cioffi e il suo documentario dal titolo “*tempo pieno*” che ritrae proprio la docente Olga Mautone in cui sono rappresentati alcuni allievi ormai adulti che si raccontano ancora come studenti della scuola Madonna Assunta, testimoniando un legame fortissimo.

È chiaro che questo approccio apra la strada ad un tipo di apprendimento sereno e ricco di significato, ma cosa notavi rispetto al carattere dei singoli individui?

Il poter vivere con il proprio corpo un concetto è qualcosa che favorisce bambini e adulti, ad esempio se prima di analizzare concetti complicati metti in forma esperienze con il tuo corpo, troverai degli agganci, metterai insieme le esperienze dando forma a un ragionamento in cui il corpo contribuisce come mediatore di senso alla formazione del concetto.

Le esperienze sono sempre partite da una esperienza di movimento, di corpo, da un approccio “fisico”. Con Ciro Minichini (docente del corso di Didattica della matematica presso l'università Suor Orsola Benincasa) cominciammo ad approcciare a delle rappresentazioni matematiche più complesse, e per farlo passavamo attraverso dei segni, delle rappresentazioni, apparentemente, poco significative dal punto di vista matematico per poi arrivare a una rappresentazione più coerente.

Alla fine della sperimentazione libera ponevamo sempre delle domande aperte: prima “cosa hai fatto?” producendo una riflessione sul piano della azione fisica

Successivamente “*Cosa hai scoperto*” potevano essere cose matematiche, fisiche, di qualsiasi tipo.

Infine “*cosa hai provato?*” questo ci portava ad un livello più personale, emotivo

Questo approccio prendeva spunto da “*il metodo naturale*” di Celestine Freinet, il quale era solito chiedere alle persone di fare una creazione matematica. Ciò li scombussola completamente, perché essi non potevano attaccarsi a nulla di ciò che conoscevano, né ripiegare su delle posizioni strategiche usate in precedenza. Rendeva così gli alunni: nuovi a questa circostanza e ciò li portava a reagire alla nuova situazione, a partire da ciò che essi sono veramente, emettendo dei segnali di comportamento chiari che non pensano di nascondere (Angela Maltoni scuola, intercultura, plurilinguismo, s.d.).

Questo tipo di approccio mi ha permesso di comprendere fin da subito che in una classe di, ad esempio venticinque bambini, ci sono venticinque percorsi uno diverso dall'altro, venticinque movimenti, venticinque progressioni diverse nell'apprendimento.

Un approccio di questo tipo pone il bambino come costruttore delle proprie conoscenze, il bambino incarna il sapere ancor prima di codificarlo. E permette a noi docenti la possibilità di seguire i singoli percorsi dando valore ad ognuno per quello che è.

2.17 Il Pensiero spontaneo; esperienze laboratoriali per il Progetto MusEdu

Nel corso dell'ultimo anno accademico, da novembre 2025 a marzo 2026, ho avuto la possibilità di far parte del progetto MusEdu; un progetto ideato e finanziato da Fondazione De Agostini, rivolto agli alunni delle scuole primarie che si trovano in contesti socioculturali difficili. L'idea è di portare al museo, un luogo di bellezza e cultura, bambini che, per vari motivi, non hanno la possibilità di accedervi con frequenza, inserendo la visita all'interno di un percorso di esplorazione e sperimentazione da svolgere preventivamente in classe. Il progetto, che per le scuole è interamente gratuito, viene portato avanti per un periodo di almeno due anni all'interno degli istituti scolastici, con l'obiettivo di fornire spunti e contenuti che rimangano patrimonio della comunità dei docenti e di offrire agli alunni la possibilità

di visitare, nell'arco di due anni, almeno due musei cittadini, uno in ambito artistico e uno in ambito scientifico.

Fondazione De Agostini è un ente filantropico del terzo settore che opera prevalentemente in ambito sociale, per rispondere con concretezza ed efficacia ai bisogni delle persone con disabilità, in situazioni di fragilità o emarginazione e con un'attenzione particolare alle giovani generazioni, che rappresentano il futuro del nostro Paese. La Fondazione è attiva nell'ambito dell'Educazione e Formazione con progetti rivolti a studenti delle scuole di diverso ordine e grado.

In Italia stiamo assistendo da tempo a una crescita delle disuguaglianze e a un aumento della povertà educativa, intendendo con questo “l'impossibilità per i minori di apprendere, sperimentare, sviluppare e far fiorire liberamente capacità, talenti e aspirazioni”². L'ISTAT la descrive come un fenomeno **multidimensionale** legato al contesto familiare, sociale ed economico in cui vivono i minori che incide sulla possibilità di godere pienamente dei più elementari diritti dei bambini: diritto allo studio, al gioco, alla partecipazione ad attività educative e formative idonee alla crescita culturale.

“MusEdu arte e scienza tra scuola e museo” si inserisce in una logica di contrasto alla povertà educativa e culturale, rispondendo in modo efficace al punto 10 dell'Agenda 2030, il cui obiettivo è, entro il 2030, quello di potenziare e promuovere l'inclusione sociale, economica e politica di tutti, a prescindere da età, sesso, disabilità, razza, etnia, origine, religione, status economico o altro³.

Il progetto offre la visita, nell'arco di due anni, in due musei cittadini per gli alunni delle scuole primarie, preceduti da incontri laboratoriali nelle classi tenuti da professionisti esterni.

Ad ogni scuola vengono proposti due percorsi, uno dedicato all'arte e uno alla scienza, ciascuno dei quali rivolto a un interclasse:

- Arte per le classi terze

² Definizione da Save The Children

³ <https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/04/agenda-2030-card-17-goals.pdf>

- Scienza per le classi quarte

Parte integrante e fondante del progetto è il percorso di formazione rivolto ai docenti, che verte sulle metodologie di insegnamento utilizzate negli incontri in classe e prevede un coinvolgimento attivo attraverso un approccio didattico esperienziale, come indicato nel goal 4 dell'agenda 2030, che ha come obiettivo quello di assicurarsi che tutti i ragazzi e le ragazze completino una istruzione primaria e secondaria libera, equa e di qualità che porti a rilevanti ed efficaci risultati di apprendimento⁴.

MusEdu, che per le scuole è interamente gratuito, viene portato avanti per un periodo di almeno due anni all'interno dell'istituto, con l'obiettivo di fornire spunti e contenuti che rimangano patrimonio della comunità dei docenti.

Il progetto è destinato ai bambini delle classi terze e quarte delle scuole Primarie di 4 istituti comprensivi di Napoli, per un totale di: 7 scuole primarie, 44 classi (22 terze e 22 quarte), circa 682 alunni e 200 insegnanti coinvolti, 12 studentesse universitarie di Scienze della Formazione Primaria retribuite impegnate nei laboratori, 2 Musei cittadini (Museo Nazionale di Capodimonte e Città della Scienza), 12 ore di formazione per ciascuna studentessa universitaria. Gli alunni partecipano a due laboratori di 2 ore ciascuno in classe (in orario scolastico) e ad 1 uscita al museo di Capodimonte/ Città Della Scienza.

2.18 Lavoro sul campo; il presente di incarnazione

Bisognerebbe inventare un tempo specifico per l'apprendimento: Il presente di incarnazione: "Sono qui in questa classe e finalmente capisco! Ci siamo! Il mio cervello si propaga nel mio corpo: si incarna. Quando non succede, quando non capisco, mi sfaldo, mi disintegro in questo tempo che non passa. Mi riduco in polvere e un soffio basta a disperdermi".⁵

Partiamo dall'inizio.

⁴ <https://www.agenziacoesione.gov.it/wp-content/uploads/2020/04/agenda-2030-card-17-goals.pdf>

⁵ Daniel Pennac "Diario di scuola"

Le selezioni per partecipare a questo progetto hanno visto me e le mie colleghe universitarie impegnate nel faticoso esercizio di “calarci nei panni degli alunni”. Siamo entrate in un’aula, abbiamo preso posto in cerchio, ci siamo presentate, siamo state spettatrici di un breve esperimento, successivamente, siamo state divise in gruppi, la consegna:

Immaginate che tutti i colori del mondo siano scomparsi.

Il vostro gruppo è stato scelto per scoprirne uno nuovo: un colore che non esiste nella realtà, ma che deve avere un significato, una sensazione, una storia.

Rendetelo percepibile con i mezzi che avete: materiali, parole, suoni, movimento, oggetti, metafore. L’obiettivo non è semplicemente descriverlo, ma farlo vivere agli altri.

Avevo molti dubbi, ma, neanche il tempo di pormi alcune domande, che già mi trovavo in un gruppo di quattro ragazze della mia età, che condividevano con me il percorso di studi, a ragionare sul da farsi; proporre delle idee, provare a dire le nostre opinioni, c’era chi si esprimeva di più, chi meno, chi con maggiore assertività, chi voleva solo che il tempo terminasse in fretta, ma, in ogni caso, alla fine dei 15 minuti che avevamo a disposizione per portare a termine il compito avevamo costruito un’idea, ci piaceva ed eravamo pronte a metterla in scena.

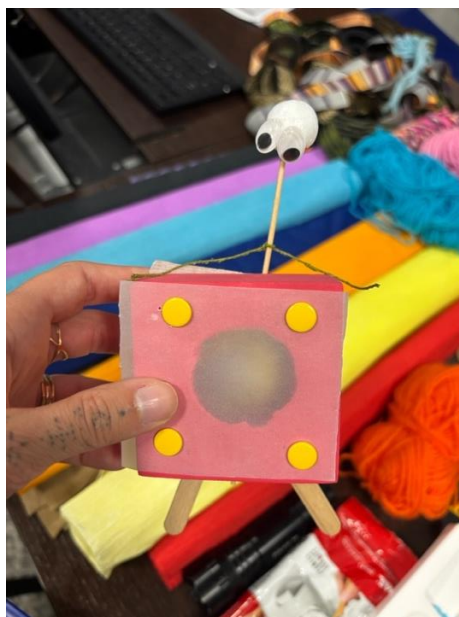


Fig 23: L'omino "Nonsoché" che le mie colleghe ed io, abbiamo creato per la selezione al Progetto MusEdu

La nostra idea consisteva nella storia del signor "Nonsoché" (**Figura 1**) che aveva lo scopo di proiettare i colori con quella sua scatola che aveva al posto della pancia, ma, quella mattina, essendosi svegliato in un mondo privo di colori, non sapeva più che farsene, non aveva più uno scopo.

Poiché *"ridotti a noi stessi siamo ridotti a nulla"*⁶, l'omino "Nonsoché" andava in giro con la sua ingombrante scatola bucata in cerca di uno scopo. Nel suo camminare, incontrava varie persone che, gli proponevano di mettere nel suo buco vari oggetti, altre volte, per disperazione, prendeva gli oggetti degli altri con la forza, ma nessuno di questi riempiva quel vuoto, dopo vari tentativi e vari incontri, capì che non erano gli oggetti che le persone gli davano o che lui prendeva con la forza, ma l'incontro con l'altro, a produrre delle ombre nella sua "pancia", così gli venne in mente di inventare un nuovo colore a cui diede il nome: "incontro", dal quale nascevano tante cose belle.

Questa è la storia che, con qualche buco di trama, avevamo inventato le mie colleghe ed io, e che ha permesso a me e ad altre di entrare a far parte del progetto.

⁶ Daniel Pennac, Diario di scuola

Alla fine della rappresentazione, ci siamo rimesse in cerchio, questa volta in piedi, e abbiamo seguito una delle referenti Cira, in un gioco di magia, la consegna era: *“andiamo a tempo con questo battito delle mani, vi mostrerò che andremo tutte allo stesso tempo, un unico battito a confermare che siamo tutte in sincronia, pronte? clap”*, siamo andate tutte a tempo, eravamo davvero sincronizzate!

Non sapevo allora quanta ricchezza ci fosse nell'esperienza appena vissuta, quella ricchezza che poi mi avrebbe accompagnata in classe con i bambini, e da cui avrei attinto senza tregua una volta entrata in classe. Una *esperienza incarnata*, come direbbe lo scrittore Daniel Pennac nella citazione precedente.

Quando, successivamente, sono entrata in classe avevo incorporato alcuni passaggi; sapevo, ad esempio, che durante queste attività laboratoriali ed esperienziali, quando si dà uno spazio libero ai bambini si può generare confusione, ma potremmo chiamarla creatività; sapevo che lavorare in piccolo gruppo non è sempre facile, si può essere in disaccordo e, perché no, si può anche discutere. Sapevo anche, che quel brusio che si sarebbe creato poi in classe era movimento di pensieri, era *incontro*, e avrei dovuto custodirlo, non spegnerlo.

Avevo anche imparato un metodo infallibile per chiedere l'attenzione della classe: consisteva nel dire *“ora tutti mani su”* (ho imparato in seguito ad aver cura di non dire *“mani in alto”* perché con i bambini diventa uno spunto facile per imitare la scena di un arresto), *“ingoio il respiro, portando le mani davanti alla bocca, poi nel cuore, incrocio le braccia, posizione di ascolto”* questa tecnica semplice era stata utilizzata dalla referente del progetto di arte, Cira, per richiamare noi studentesse all'attenzione, ed era stata molto efficace.

Successivamente, abbiamo partecipato al primo incontro di formazione, eravamo tutte insieme, gruppo di scienze e di arte, le formatrici ci hanno proposto una attività di cianotipia; una tecnica di stampa che si ottiene grazie alla miscela di due sali di

ferro sensibili alla parte ultravioletta della luce solare.



Fig. 24: esempio di stampa con cianotipia

Si tratta di una tecnica di **stampa a contatto**, il negativo o l'oggetto che si vuole ottenere sull'immagine, viene posto a diretto contatto con la carta sensibile e quindi esposto alla luce del sole, è un processo semplice che può essere realizzato anche a casa.

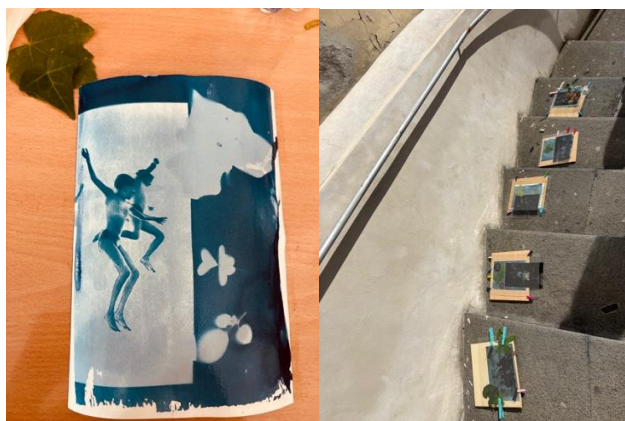


Fig. 25-26: Lavoro di stampa su cianotipia, risultato del primo incontro di formazione.

Questo primo incontro voleva essere un modo per introdurci nel mondo dell'apprendimento laboratoriale, unendo l'arte alla scienza e consegnando a noi studentesse alcuni strumenti e, nuovamente, la possibilità di calarci nei panni dei bambini, sperando in prima persona la meraviglia di imparare cose nuove, la gioia e la soddisfazione di capire.

2.19 Formazione, i laboratori:

Durante il secondo incontro di formazione, ci rechiamo nel laboratorio di fisica dell'università Suor Orsola Benincasa per parlare del primo laboratorio che avremo

portato in classe. La nostra formatrice, Roberta, dopo averci raccontato del suo lavoro di scienziata, ci dice che si è imbattuta in un “problema” e che è qui per risolverlo, ci pone subito davanti ad un quesito: *“se ho in una mano una matita e nell’altra una piuma e le lascio cadere nello stesso momento, quale toccherà prima il suolo?”* Tutte abbiamo risposto *“la matita”*, Roberta allora ci ha chiesto *“bene, perché?”* e tutte in coro *“perché è più pesante”*. Così ci ha mostrato due barattoli di plastica, uno vuoto (quindi pieno di aria) e l’altro con dell’acqua dentro, sistema un piano inclinato formato da un’asse di legno appoggiato ad una sedia, ci chiede: *“quale dei due andrà più veloce?”* e noi in coro *“quello con l’acqua”*, osserviamo che effettivamente arriva ai piedi di una delle mie colleghe, che subito è pronta a parare il barattolo con i piedi (cosa che poi avrebbero fatto anche i bambini, divertendosi molto), prima quello pieno di acqua, Roberta chiede *“perché?”* e noi *“perché è più pesante!”*. A questo punto ci mostra un barattolo di plastica contenente dei fagioli secchi, e ci chiede come potremmo misurare se pesa più o meno del barattolo contenente l’acqua, le chiediamo una bilancia, lei ci mostra, pesando entrambi i barattoli, che i fagioli hanno un peso superiore al barattolo di acqua, per cui ci chiede *“quale andrà più veloce?”*, qualcuna dice i fagioli e qualcuna dice l’acqua, ma la maggior parte di noi pensa i fagioli, la ragione: perché sono più pesanti. Osserviamo, Roberta fa rotolare i barattoli e arriva prima l’acqua. *“Questo, ci dice Roberta, è il problema che mi sono ritrovata a sperimentare in laboratorio, secondo voi allora da che dipende il rotolamento più o meno veloce dei corpi che cadono?”*. Formuliamo varie ipotesi, Roberta ascolta, alla fine ci dice la risposta corretta. *Questo è l’esperimento che porteremo in classe la prima volta, vi piace?* Io ero estasiata.

2.20 Entriamo in classe

Quando entriamo in classe, spesso i bambini non sono stati avvertiti di ciò che sta per succedere, sono seduti sui banchi intenti a studiare matematica o storia o scienze o inglese, quando entriamo in classe, sono sorpresi. Di solito non si lasciano andare a grandi manifestazioni emotive, forse temono una lezione uguale alle altre. Così dopo averli salutati calorosamente ed esserci presentate con il nostro nome, chiediamo ai bambini di darci una mano a rendere questa classe un laboratorio, chiedendo di aver cura di sollevare i banchi e le sedie per spostarli in modo da lasciare libero lo spazio al centro, *via tutto il materiale dai banchi, via le cartelle, la classe deve diventare un laboratorio*. Chiediamo ai bambini di mettersi in cerchio, seduti a terra, insieme a noi, per iniziare una prima fase

di dialogo, chiediamo ai bambini cosa pensano riguardo la scienza, gli piace o no? Possono dire quello che vogliono con il benestare della maestra che a volte ride della possibilità di sentire un giudizio negativo sulla materia, i bambini, superato l'imbarazzo, cominciano ad esprimere diversi giudizi, positivi per lo più, ma c'è anche chi dice *“a me non piace la scienza, non la capisco”*.



Fig. 27: cerchio iniziale in classe

Consegniamo ai bambini dei cartellini bianchi legati con del filo di cotone ritorto e annodato in modo da poter essere indossati al collo, chiediamo loro di scrivere il proprio nome con un pennarello e poi di disegnare qualcosa che gli fa venire in mente la parola “scienza”, utilizziamo i nostri pennarelli perché sono in numero limitato e i bambini devono passarli ai compagni per permettere a tutti di disegnare, in questo modo sono anche incentivati ad andare un po' più in fretta, gli spieghiamo che poi potranno tenere quei cartellini e che potranno terminare le loro opere (qualora volessero farlo) anche in seguito. Dopo qualche minuto, tutti i bambini indossano il cartellino al collo, comincia un giro di nomi; dire il proprio nome è un modo per guardare ogni bambino, sentire pronunciare il proprio nome con la voce delle formatrici, è come un secondo risveglio, far sentire loro di essere visti, che siamo lì per loro, ho notato che è un momento

importante. Ad ogni bambino, a turno, viene chiesto di esporre cosa aveva rappresentato sul cartellino e perché, cominciano una serie di disegni sulla natura, disegni, sui pianeti, sulle cellule, di solito in base a quello che stavano studiando in scienze in quel momento, in una classe abbiamo visto disegni di sole cellule animali o vegetali, in un'altra avevano disegnato tutti le piante, entrambi argomenti appena studiati con la maestra di scienze, qualcuno però, si lasciava anche trasportare dalla parola "scienza" e disegnava ampolle per fare esperimenti, fluidi verdi che uscivano da contenitori cilindrici di vetro, oppure elementi meteorologici, qualcuno disegnava se stesso come astrologo, scienziata, astronauta, alla fine di questa fase anche noi ripetiamo il nostro nome e descriviamo il disegno scelto, nel mio caso un paio di occhiali, *"per poter guardare meglio le cose"*. Cominciamo a raccontare ai bambini il motivo della nostra visita, diciamo loro che la mia collega ed io, siamo due scienziate, che il nostro lavoro ultimamente si sta soffermando sui corpi che cadono, cominciamo a chiedere loro cosa pensano che arrivi prima a terra se lascio cadere dalle mani contemporaneamente un sasso o una piuma, tutti in coro dicono:

"il sasso!", troppo facile,

"e perché?"

"perché è più pesante".

Esattamente come avevamo detto noi durante la formazione. Successivamente, predisponiamo il piano inclinato, avendo cura di far notare ai bambini la diversa inclinazione rispetto al loro banco, mostriamo loro i due barattoli di plastica pieni di acqua e di aria e di nuovo chiediamo quale arriverà prima? Tutti i bambini rispondono l'acqua perché è più pesante, eccoci allora ai fagioli, *"come facciamo a sapere quale dei due barattoli è più pesante?"*

"ci serve una bilancia"

"bene, si da il caso che ne abbiamo alcune con noi"



misuriamo i pesi del barattolo pieno di acqua e di quello pieno di fagioli,

“quale è il più pesante?”

“Quello con i fagioli”

“quale arriverà prima?”

“Quello con i fagioli”, invece, osserviamo, arriva prima l’acqua...

“Perché?”

Ecco spiegata la ragione della nostra visita in classe, diciamo loro che ultimamente non riusciamo a dormire per via di questa domanda e stiamo visitando alcune scuole di Napoli perché, ci hanno detto che, qui i bambini sanno risolvere i problemi, sanno tante cose, per cui *“abbiamo bisogno di voi, avete voglia di aiutarci?”*

Di solito tutti a questo punto, rese chiare le nostre intenzioni, si lasciano andare ad un sonoro ed entusiasta “*SIIII!*”.

Dividiamo i bambini in gruppi da 4, alcune volte abbiamo scelto noi i vari componenti dei gruppi in modo tale da renderli quanto più possibile eterogenei per genere e per “temperamento” basandoci su pure scelte casuali o sulle nostre prime sensazioni, oppure abbiamo chiesto consiglio alla maestra. Altre volte abbiamo preferito che i gruppi si creassero da soli, che i bambini decidessero liberamente, lasciandoci guidare da mani che si intrecciano con l’amica del cuore, sorrisi di intesa che sottendono la gioia di lavorare in classe insieme tra amiche o amici, ma è anche accaduto che alcuni bambini si ritrovassero alla fine delle divisioni fuori dai gruppi, o peggio, rimbalzati da un gruppo all’altro.

Tutt’ora non so dire quale dei due metodi sia migliore, tendo a pensare che sia più equo far ricadere sull’adulto di riferimento la responsabilità della divisione in gruppo, per evitare che qualcuno possa essere escluso e sentirsi emarginato, ma non ne sono certa.

Nell’attesa dell’organizzazione di tutto il materiale viene chiesto ai bambini di decidere il nome del gruppo, questa è una prima attività che mette i bambini in relazioni l’uno all’altro, spesso provocando esiti sorprendenti, di seguito elenco alcuni nomi dei gruppi: “*Bulba Saur*” (il nome di un noto Pokemon),

“*Einstein*”

“*gli scienziati della Sanità*”

“*i gattini*”

“*i 4 moschettieri*”.

Alla fine di questa fase i bambini trovano le loro postazioni predisposte:

piano inclinato,

una bilancia per gruppo,

due barattoli per gruppo,

una spilletta di quaderno a quadretti per gruppo, su questo punto si fa una precisazione, gli si spiega che da questo momento diventeranno dei veri scienziati anche loro e che devono prendere nota di tutti i dati, di ogni misurazione per poi confrontare i dati e produrre delle ipotesi,

gli chiediamo di prendere una penna per gruppo,

gli mostriamo, infine, che sulla cattedra troveranno fagioli e riso,

alcuni cucchiaini per travasare,

dovranno venire alla cattedra a turno (i bambini a questo punto spesso vanno rassicurati del fatto che potranno fare l'esperimento più volte e che quindi tutti potranno andare alla cattedra a travasare il materiale nei barattoli), da questo momento, diciamo loro di sperimentare i corpi che cadono, di prendere nota di quale dei due barattoli arriva per primo, a questo punto spesso i bambini chiedono se possono misurare due barattoli di riso o due di fagioli, e spieghiamo loro che dare un giudizio ad un fenomeno in maniera assoluta è impossibile, ciò che occorre è il paragone, dobbiamo mettere a confronto materiali diversi.



In questa fase i bambini vengono lasciati liberi di sperimentare, cominciano ad organizzarsi nei ruoli, l'atmosfera nella classe cambia, c'è fermento, c'è movimento di aria e di pensieri, voci che si accavallano.

“E’ molto divertente pesare le cose, mo divento uno scienziato”

“questa cosa mi piace così tanto che non lo voglio mai lasciare, continuerò anche a casa, ho tante cose da pesare. Posso sperimentare la vita!”



alcune volte le maestre a questo punto intervengono per “calmare gli animi”, a volte ho la sensazione che lo facciano per non sentirsi giudicate da noi per il rumore della classe, per cui le rassicuriamo, per farlo basta ricordare loro di quando hanno fatto esperienza del laboratorio durante la fase di formazione docenti, e quasi sempre le maestre sorridono e si ricordano che anche loro in quella circostanza, quando hanno fatto l’esperimento con i colleghi in formazione, hanno fatto un “gran chiasso”, delle volte non interveniamo e notiamo quanto i bambini siano sensibili al richiamo della maestra, e in alcuni casi, quanto il clima cambi drasticamente passando da un fermento caotico ad un freddo e muto silenzio.

Per fortuna i bambini subito riprendono il proprio duro e stimolante lavoro con gioia.

Noi formatrici passiamo per i gruppi e cerchiamo di cogliere ciò che i bambini stanno sperimentando, spesso ci chiedono: “*stiamo facendo bene?*” Noi rispondiamo che sì, se stanno sperimentando qualcosa e stanno osservando ciò che accade, allora stanno facendo bene.

“secondo me dipende dalle cose dentro”

“Ho capito, dipende dalla grandezza dei chicchi di riso”

“l’acqua ha le molecole che scivolano, i fagioli sono più grandi quando rotolano perdono energia”

“I fagioli fanno rumore quando rotolano”

Dopo un tempo di circa 40 minuti, chiediamo ai bambini di fare l’ultimo esperimento prima di tornare in gruppo a parlare, in questa fase i bambini di solito si fermano a ragionare sul da farsi, discutono con i compagni su cosa sarebbe meglio misurare, segue il momento della restituzione finale, in cui i bambini possono esprimere liberamente cosa hanno osservato, una cosa interessante è vedere come cambia la loro sicurezza, anche i bambini più timidi hanno sperimentato qualcosa, e quasi sempre vogliono parlare, in questa fase trovano il modo di dire *“io ho capito che”* con fierezza e gioia.

Come ultima attività chiediamo ai bambini di creare un elaborato, diamo loro dei cartelloni e spieghiamo che possono fare quello che vogliono, qualunque cosa che racconti questa esperienza appena trascorsa, questo è un momento in cui, di solito, non sanno orientarsi nella moltitudine di possibilità della consegna così aperta, poiché spesso non sono abituati ad avere tanta libertà di espressione, e si bloccano, chiedono se possono disegnare, se possono usare i pennarelli, se possono ritagliare, incollare, scrivere, colorare e la risposta è sempre *“sì!”*.

Ecco alcuni lavori:



Fig. 28-29-30-31: alcuni esempi di elaborati grafici

Secondo laboratorio:

Dopo aver seguito le ore di formazione presso il Laboratorio di Fisica dell'Università Suor Orsola Benincasa, e dopo la formazione docenti, entriamo in classe per il secondo incontro di laboratorio; questa volta si parla di ritmo.

Quando arriviamo in classe, i bambini ci accolgono con un saluto caloroso, si ricordano di noi, ci mostrano orgogliosi i loro lavori appesi alle pareti della classe.

“Di cosa avete bisogno oggi?” ci chiedono, ormai i bambini sanno cosa li aspetta e sono felici di vederci e di poter vestire nuovamente i panni di scienziati, così senza farli aspettare troppo chiediamo loro di sistemare la classe e di mettersi in cerchio seduti a terra, *“se diciamo la parola ritmo cosa vi viene in mente?”*

Qualcuno comincia a battere le mani o a muovere il corpo dondolando, oppure, dicono *“mi viene in mente ballare”* oppure *“Geolier”* (famoso cantante Napoletano).

Poi chiediamo loro di provare ad andare al ritmo del nostro battito delle mani, più veloce, più lento, il secondo esercizio consiste nel contare da 1 in poi, ognuno il proprio numero, questo esercizio risulta sempre molto facile, gli chiediamo, allora, di battere le mani al posto dei numeri multipli di 3, di solito questo giro viene ripetuto più volte perché di maggiore difficoltà, alla fine chiediamo un ultimo sforzo, quello di dire “bum” al posto dei multipli di 4, questa fase è molto divertente e si ripete più volte ridendo.

Mostriamo ai bambini ciò che andremo a sperimentare, *“avete mai visto un pendolo?”* Di solito dicono di no, ma appena mostriamo loro il filo con il bullone attaccato all'estremità dicono *“certo, il pendolo”*.

Mostriamo ai bambini che lasciando andare il pendolo comincerà ad oscillare, poi chiediamo se hanno idea della ragione per cui un pendolo ha un ritmo più veloce o più lento, *“da cosa dipende?”* chiediamo, qualcuno dice *“dalla spinta che gli dai”*, in questo caso mostriamo loro che il bullone va “lasciato andare” e non spinto, alcuni *“dal peso del bullone”* altri *“dal filo”*, qualcuno dice *“non lo so”* ora, *“dovrete costruire un pendolo”*.

A questo punto distribuiamo ai gruppi alcuni pezzi di legno e tutto l'occorrente per costruire il loro personale pendolo, consegniamo anche le istruzioni.

“ho preso la barra filettata”

“mi è venuta un'idea!”

“ecco, che figata!!”



Questo è un momento di grande interesse poiché come per magia l'atmosfera in classe cambia, i bambini sono immersi completamente nell'esperienza del costruire, hanno del vero materiale tra le mani: *legno, farfalline di metallo, bulloni, morsetti* ed è interessante vedere che sono assolutamente in grado di cavarsela alla perfezione, alcune maestre si sorprendono del fatto che debbano costruire davvero con quel materiale, alcune ci chiedono se li aiuteremo o meno, noi rispondiamo di sì ma solo se ce ne sarà bisogno, la cosa più interessante è il rumore: in classe c'è silenzio, c'è armonia, c'è già sincronia.

Noi passiamo per i banchi per dare una mano quando serve ma di solito in pochi minuti i gruppi hanno costruito i pendoli, cooperando, discutendo, osservando gli altri gruppi.

Spieghiamo loro che ciò che devono sperimentare è *“quando un pendolo va più veloce o più lento, da che dipende?”*.

“a me sembra che questo va strano, pendola storto”

“questo va più piano”

“quello che deve fare meno strada va più veloce, forse perché trattiene lo slancio per quando c'ha bisogno”

“forse questo filo non è tanto lungo quindi prende più velocità”

“posso farlo anche a casa mia, sotto a un tavolo posso fare pendolare le cose, mi basta un filo e un peso, non vedo l’ora!”

“Mi sento una scienziata, che figata!”

Di solito, capiscono in breve tempo che dipende dalla lunghezza del filo e non dal peso del bullone.

Successivamente, chiediamo loro di tornare in cerchio a terra e di discutere di ciò che hanno osservato, tutti sono sempre più sicuri e sentono di poter dire ciò che pensano e che hanno osservato, non hanno paura di sbagliare.

Alla fine della discussione mostriamo loro un metronomo,

“che vi ricorda?”

“quando faccio le cose a casa di mia nonna!”



Di solito sono molto sorpresi quando lo vedono la prima volta, lo osservano e cominciano a tenere il tempo del metronomo con il corpo, alcuni fanno il suono “tic tac” altri battono

le mani a tempo, si divertono con il corpo a tenere il tempo del metronomo. Gli chiediamo di sincronizzare i loro pendoli al ritmo del metronomo, chiediamo *“secondo voi è possibile?”* tutti rispondono di sì.

Questa attività è utile per consolidare il concetto appena compreso: possono decidere il ritmo del pendolo allungando o accorciando il filo all'occorrenza.

In questa fase serve estremo silenzio, in pochi minuti i bambini cominciano a chiedere il silenzio agli altri gruppi

“shhh, non riesco a sentire il tic tac”

“zitti tutti!”

La classe è in silenzio perché i bambini devono ascoltare il ritmo tenuto dal metronomo e contemporaneamente ascoltare uno dei compagni o loro stessi tenere il tempo del pendolo:

“troppo veloce! Allungo il filo”

“troppo lento! Accorcio il filo. “

Dopo un po' di tentativi quasi tutti sono sicuri che il ritmo sia lo stesso del metronomo così chiediamo loro come possono essere sicuri, alcuni vogliono misurare la lunghezza del filo, così chiediamo ai bambini di misurare con il metro il filo e di confrontare le lunghezze con gli altri, di solito ci vanno tutti molto vicino.

L'esperienza non è ancora finita, come ultima attività diamo ai bambini un cronometro, con il quale dovranno misurare quante oscillazioni compie il loro pendolo in 1 minuto, anche queste, dovrebbero essere simili tra i vari gruppi, ma la cosa interessante è la cura e l'attenzione con cui si divertono a tenere il tempo, molti di loro non hanno mai usato un cronometro e sono eccitati dalla possibilità di averne uno tra le mani.



Chiediamo ai bambini quante oscillazioni hanno misurato in un minuto e di solito sono tutte simili tra di loro, così ci fermiamo un attimo e riflettiamo sul fatto che la classe era sincronizzata, che i pendoli andavano tutti allo stesso tempo, *“magico no?”*

Al termine del laboratorio, mostriamo un altro strumento ai bambini, le biglie di Newton, i bambini sono felicissimi ed emozionati di vederle e di poterle provare, così mostriamo loro che anche queste sono un pendolo,

“cosa accade se faccio partire una biglia?”

“che si alza una biglia”

“E se ne faccio partire due? E tre?”

I bambini, a turno hanno la possibilità di osservare cosa accade, di vedere se le loro ipotesi sullo spostamento delle biglie sono corrette oppure no, di solito sono entusiasti di questo

esperimento e molti dicono che appena saranno di ritorno a casa chiederanno di comprare le biglie di Newton ai genitori.

A questo punto è il momento dei saluti, di solito i bambini sono molto tristi di non vederci più, alcuni ci chiedono

“volete diventare maestre di scienze?”

“ma davvero non tornate più?”

“questi esperimenti sono stati bellissimi, facciamone ancora!”

Così spieghiamo loro che ci rivedremo sicuramente a Città della Scienza per l’ultimissimo incontro, ma che per noi è stato un vero piacere lavorare con loro, che ci sono stati di grande aiuto, che tutti sono devì veri e propri scienziati e che possono giocare con la scienza in ogni momento, e chissà magari un domani diventare nostri colleghi.





ed eccoci a parlare con le colleghe ad inventare, a ragionare insieme, a discutere, a trovare compromessi (non sapevo che quella esperienza era esattamente ciò che poi avrei chiesto ai bambini in classe di replicare con tutte le difficoltà del caso, le stesse che ho provato io).



2.21 Il ruolo svolto dalla scoperta

Quasi ogni nostra azione è accompagnata da una coloritura emotiva più o meno intensa, e sono prevalentemente le emozioni che ci spingono ad agire in un modo o in un altro⁷.

Va detto che durante questi incontri ciò che ha suscitato in me il più grande senso di meraviglia è vedere nei bambini il cambiamento emotivo che produceva questo modo di lavorare che sottende la logica della scoperta, molto simile a quella delle “scienze dure” definite da Seymour Papert, allievo di Jean Piaget e cofondatore del laboratorio di intelligenza artificiale del MIT. Papert, che si focalizzò sui bambini; sulla natura del pensiero e su come i bambini diventano pensatori, sostiene che fare cose difficili o impegnative può essere estremamente piacevole usa, infatti, il termine “*hard fun*”,

⁷ Edoardo Bonicelli; Tempo delle cose, tempo della vita, tempo dell'anima

affermando che i bambini vogliono fare cose vere, significative e che il pensiero profondo nasce proprio da questa sensazione di faticare con le idee⁸.

Con questo tipo di attività laboratoriali, che impone di abbandonare un approccio nozionistico ed enciclopedico del sapere e dell'apprendimento, i bambini possono sbagliare, riprovare, correggere e costruire da soli grazie ad attività impegnative ma appassionanti che li spingano ad esplorare e capire.

Una didattica laboratoriale è una didattica del “fare”: non più intesa come accumulazione ma come ricerca sul campo.

Nessuna delle nostre visite a scuola era attesa dai bambini, questo è un aspetto interessante su cui riflettere, naturalmente, le maestre e la scuola erano informate del nostro arrivo ma i bambini no, e non avevano idea di quello che avrebbero fatto insieme a noi, questi laboratori non erano basati su argomenti o attività che i bambini stavano trattando in classe, e questo è stato un punto a nostro favore, enfatizzando il carattere situato, sociale e relazionale dell'apprendimento.

I bambini si lasciavano trasportare dal momento presente, dai problemi da risolvere in quel momento e dalla soddisfazione prodotta dal vedere che con le proprie forze riuscivano a risolvere problemi grandi. Durante i laboratori i bambini avevano a disposizione grande libertà; di sperimentare, di provare, di misurare, guardare, toccare, intuire, dire, muoversi in classe, questa libertà, è una cosa a cui sembrano non essere abituati, sembra che non sappiano come abitare la classe in libertà. Mi è capitato di osservare che spesso anche le maestre fossero in difficoltà con la libertà dei bambini. Durante gli incontri però, diveniva evidente quasi subito, che il grado di libertà dato ai bambini non producesse esiti nefasti ma che invece portasse ad un grande sentimento di responsabilità.

2.22 La soddisfazione di essere la causa

Siamo animali che hanno bisogno di sentirsi la causa di qualcosa.

⁸ Seymour Papert; *Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas*

Lo psicologo Karl Groos, all'inizio del Novecento, osservava i bambini riempire e svuotare una ciotola di pasta, e poi di nuovo riempirla e svuotarla, ed era ogni volta una festa. Perché? Perché stavano sperimentando quella che chiamava "la soddisfazione di essere la causa": *“sono io a provocare quell'effetto, l'ho fatto con le mie mani, e so come farlo accadere ancora”*.

Questa soddisfazione è il fondamento di tutto. Se la senti, anche il lavoro più duro ha un senso.

Le pratiche misurazione e di travaso permettono ai bambini di accedere alla **genesì operativa dei concetti quantitativi**. Prima di diventare simboli astratti come numero, unità di misura e grandezza, i concetti si presentano come invarianti dell'azione. Nel quadro teorico di Jean Piaget, le nozioni di: conservazione della quantità, reversibilità, seriazione, classificazione, si strutturano attraverso l'azione concreta sul reale. La misurazione, rende esplicito che la quantità non è una qualità percettiva globale, ma una **relazione tra grandezza e unità di misura**. Si tratta di un passaggio cruciale dalla conoscenza intuitiva alla formalizzazione. Le attività di misurazione implicano una sequenza operativa strutturata: scelta dell'unità, posizionamento corretto dello strumento, iterazione dell'unità, registrazione del dato, eventuale verifica. Tale articolazione rende la misurazione un esercizio privilegiato di **regolazione attenta e controllo esecutivo**. Le pratiche di misurazione possiedono una forte valenza auto-regolativa. Lo strumento stesso (metro, bilancia, cronometro) incorpora un criterio di controllo che consente al soggetto di verificare autonomamente l'esattezza dell'operazione. Le attività di misurazione, oltre a sostenere la costruzione dei concetti matematici, svolgono una funzione formativa trasversale: esse educano alla pazienza attraverso l'esercizio della precisione, della reiterazione e della verifica, e promuovono l'autonomia mediante l'interiorizzazione di criteri oggettivi e procedure autocorrettive. In tal modo, la misurazione contribuisce alla formazione di un soggetto capace di autoregolazione cognitiva e di responsabilità epistemica.

2.23 Il lavoro in piccolo gruppo; prospettive socio-costruttiviste e riferimenti a Lev Vygotskij

All'interno del progetto MusEdu il lavoro in piccolo gruppo ha rappresentato una scelta metodologica centrale, coerente con una cornice teorica di matrice socio-costruttivista. In particolare, il riferimento al pensiero di Lev Vygotskij ha orientato la progettazione delle attività nella direzione di una concezione dell'apprendimento come processo intrinsecamente sociale, mediato dal linguaggio e dalle interazioni tra pari.

Secondo tale prospettiva, lo sviluppo cognitivo non precede l'apprendimento, ma ne è profondamente influenzato: è nella relazione con l'altro che il bambino può accedere a livelli di competenza superiori rispetto a quelli che sarebbe in grado di raggiungere individualmente. In tale ottica, la strutturazione di gruppi eterogenei per la realizzazione di semplici esperimenti di fisica ha favorito l'attivazione della cosiddetta "zona di sviluppo prossimale", intesa come lo spazio potenziale in cui l'alunno, sostenuto dai pari o dall'adulto, riesce a compiere operazioni cognitive più complesse.

Nel contesto laboratoriale, il piccolo gruppo ha funzionato, quindi, come ambiente di co-costruzione del sapere: gli alunni, chiamati a formulare ipotesi, osservare fenomeni, registrare dati e trarre conclusioni, hanno negoziato significati attraverso il dialogo, il confronto e talvolta il conflitto cognitivo. Il linguaggio, in particolare, ha assunto una funzione regolativa e metacognitiva: verbalizzare ciò che si osserva, spiegare il proprio punto di vista o argomentare una scelta operativa ha permesso di trasformare l'esperienza pratica in conoscenza condivisa.

L'insegnante, coerentemente con tale impianto teorico, ha assunto il ruolo di mediatore e facilitatore, predisponendo situazioni-problema e fornendo un sostegno calibrato (scaffolding) senza sostituirsi al gruppo nella risoluzione del compito. L'intervento adulto si è configurato come guida discreta, volta a rilanciare la riflessione attraverso domande-stimolo e a sostenere i processi cooperativi, piuttosto che a trasmettere soluzioni precostituite ed asettiche.

Il lavoro in piccolo gruppo ha inoltre favorito lo sviluppo di competenze trasversali, quali la responsabilità condivisa, la gestione dei ruoli, l'ascolto attivo e la capacità di argomentazione. La classe si trasformava in un "vero laboratorio", dove l'errore

assumeva valore euristico e l'esito dell'esperimento non era sempre prevedibile, la dimensione cooperativa ha consentito agli alunni di vivere l'incertezza come occasione di ricerca e non come fallimento individuale.

In conclusione, l'esperienza laboratoriale ha mostrato come il piccolo gruppo, se progettato in modo intenzionale e sostenuto da una chiara cornice teorica, possa configurarsi non solo come strategia organizzativa, ma come autentico dispositivo pedagogico. Alla luce della prospettiva di Vygotskij, l'apprendimento scientifico nella scuola primaria si conferma così come processo dialogico e partecipato, in cui la conoscenza emerge dall'interazione e si consolida attraverso la condivisione.

2.24 Tra fragilità e potenzialità: esplorare le scuole di Napoli nei contesti socioeducativi più vulnerabili

Le 4 scuole di Napoli che hanno aderito al progetto MusEdu sono situate in contesti socioeducativi complessi e delicati, ciò ha posto me e le mie colleghe, fin dall'inizio, in una condizione di osservatrici chiamate a rivedere le proprie categorie interpretative. L'ingresso in realtà segnate da fragilità economiche, marginalità urbana e criticità strutturali ha inizialmente attivato rappresentazioni intuitive, talvolta inconsapevolmente stereotipate. Tuttavia, proprio come accade nello studio della fisica, ciò che abbiamo visto osservando più attentamente non ha fatto che sorprenderci e costringerci a riformulare le nostre ipotesi di partenza.

La fisica apre una finestra per guardare lontano: quello che vediamo, man mano che affiniamo lo sguardo, modifica l'immagine stessa del mondo. Ci rendiamo conto che la nostra visione intuitiva è spesso parziale, talvolta "parrocchiale", inadeguata a cogliere la complessità del reale. Analogamente, l'esperienza di ricerca sul campo ci ha mostrato come le scuole incontrate, pur immerse in contesti difficili, fossero attraversate da energie pedagogiche, progettualità e relazioni educative capaci di ridefinire radicalmente la narrazione dominante del "degrado". Il mondo cambia sotto i nostri occhi quando lo osserviamo meglio: così è accaduto anche per noi.

Il riferimento alla riflessione di Werner Heisenberg, secondo cui le particelle elementari, come gli elettroni, non possiedono un'esistenza determinata indipendentemente dall'interazione, ma si definiscono nell'incontro, offre una potente metafora pedagogica. Anche nei contesti educativi osservati, l'identità degli alunni e delle scuole non può essere pensata come dato statico o predeterminato: essa emerge nella relazione, nello scambio, nello sguardo reciproco. Gli studenti non sono "etichettabili" una volta per tutte sulla base del contesto di provenienza; al contrario, si rivelano e si trasformano nell'interazione con insegnanti, compagni, ricercatori.

Specchiandosi negli altri e nelle esperienze condivise, ciascun bambino apprende qualcosa di sé. Se è vero che ognuno è speciale, lo è nella misura in cui è riconosciuto come tale all'interno di una relazione significativa, come ogni madre riconosce unicità nel proprio figlio. La scuola, in questo senso, diventa spazio generativo di identità: luogo in cui lo sguardo educativo non si limita a registrare mancanze, ma scopre potenzialità inattese. L'esperienza di ricerca ci ha dunque insegnato che osservare è sempre un atto trasformativo: non solo perché ciò che osserviamo cambia quando lo guardiamo con maggiore profondità, ma anche perché noi stessi, nel processo, diventiamo sorgente di stupore per noi stessi. Come nella fisica contemporanea, anche nell'educazione la realtà non è un oggetto fisso da descrivere, bensì un sistema dinamico di relazioni in cui chi osserva è parte integrante del fenomeno osservato.

L'esperienza vissuta all'interno del progetto MusEdu ha rappresentato, per me, molto più di un semplice percorso di osservazione o di sperimentazione: è stata una vera palestra pedagogica ed educativa che ha preparato in modo profondo e concreto il successivo lavoro di sperimentazione svolto nella classe 3B della scuola Quarati. Attraversare per mesi realtà scolastiche differenti, entrare quotidianamente nelle dinamiche vive delle classi, osservare i bambini nei momenti di ascolto, gioco, movimento e relazione, mi ha permesso di maturare uno sguardo più attento, meno immediato e più capace di cogliere la complessità dei processi educativi.

Nel corso delle attività MusEdu è emerso con chiarezza come il clima relazionale della classe influenzi profondamente la qualità dell'apprendimento. In alcune classi era evidente una sorta di coralità educativa: i bambini sembravano abituati a lavorare insieme,

ad ascoltarsi reciprocamente, ad attendere il proprio turno, a sostenersi nei momenti di difficoltà. Tale disposizione non appariva casuale, ma frutto di una pratica educativa quotidiana in cui il gruppo veniva riconosciuto come risorsa e non soltanto come insieme di individualità separate. In quei contesti il lavoro laboratoriale fluiva con maggiore naturalezza; i bambini si mostravano più disponibili all'ascolto, più aperti all'esplorazione e meno timorosi dell'errore.

Ho inoltre osservato differenze significative tra classi in cui veniva posta una maggiore attenzione al benessere emotivo e corporeo degli alunni e classi in cui prevalevano modalità didattiche più rigide e trasmissive. Nei contesti in cui l'insegnante lasciava spazio al dialogo, al movimento, all'espressione personale e alla collaborazione, i bambini apparivano maggiormente predisposti alla partecipazione attiva, più sereni nell'esprimere idee e ipotesi, più curiosi nei confronti delle attività proposte. Il benessere non si manifestava soltanto in termini comportamentali, ma anche nella qualità della presenza corporea: bambini più rilassati, più disponibili al contatto con lo spazio e con gli altri, più capaci di sostenere l'attenzione senza irrigidirsi.

Particolarmente significativa è stata l'osservazione del modo in cui i bambini utilizzano il corpo per costruire e comunicare il pensiero. Molto spesso le loro idee emergevano prima attraverso il gesto che attraverso la parola: mimavano strumenti musicali, rappresentavano movimenti, traducevano ritmi e concetti in posture, azioni, espressioni corporee. Il corpo diventava, così, un linguaggio intermedio tra esperienza e verbalizzazione, uno strumento di comprensione e di comunicazione capace di rendere accessibili concetti anche complessi. Questa dimensione ha avuto un'importanza decisiva nella progettazione della mia sperimentazione sulla fisica, rafforzando in me la convinzione che il sapere scientifico possa nascere anche dal movimento, dall'ascolto percettivo e dall'esperienza incarnata.

Un ulteriore elemento che ha profondamente influenzato il mio lavoro di ricerca riguarda la relazione educativa osservata tra insegnanti e alunni. Nelle classi in cui era presente un rapporto fondato sul rispetto reciproco, sull'ascolto e sulla fiducia, i bambini apparivano più disponibili ad esporsi, a fare domande, a partecipare senza paura del giudizio. L'autorevolezza dell'insegnante non derivava da una posizione di rigidità, ma dalla

capacità di costruire un ambiente sicuro e accogliente. Questo mi ha permesso di comprendere quanto il processo di apprendimento non possa essere separato dalla qualità affettiva e relazionale del contesto in cui avviene.

In questo senso, MusEdu ha costituito una preparazione concreta alla mia sperimentazione didattica: mi ha insegnato ad osservare i dettagli, ad ascoltare il linguaggio corporeo dei bambini, a riconoscere il valore pedagogico del ritmo, del gesto, della cooperazione e del clima emotivo della classe. Mi ha mostrato che la scuola può diventare uno spazio in cui il sapere si costruisce insieme, attraverso esperienze condivise, relazioni significative e pratiche capaci di coinvolgere simultaneamente mente, corpo ed emozioni.

2.25 La Fisica alla base dei fenomeni osservati

Osserviamo con un'altra lente i fenomeni sperimentati e cerchiamo di comprendere le cause fisiche delle nostre esperienze. Per quanto concerne il rotolamento dei barattoli sul piano inclinato: dal punto di vista fisico, il barattolo può essere inizialmente idealizzato come un corpo rigido (modellizzazione di un oggetto di cui voglio valutare sia le rotazioni che le traslazioni) che ruota e trasla, senza strisciare. Tuttavia, il fatto che all'interno vi sia del materiale granulare (riso, fagioli, ecc.) rende il sistema dinamico e complesso.

Innanzitutto, è importante considerare, oltre il tipo di materiale presente nel barattolo e la sua massa totale, la variabile "percentuale di riempimento": quando il barattolo rotola, il materiale al suo interno non è vincolato rigidamente alle pareti (a meno che non sia pieno al 100% o vuoto). Di fatti il materiale tende a disporsi, con diverse conformazioni, in modo da minimizzare la sua energia potenziale, tendendo a restare nella parte più bassa del barattolo. Per spiegare perché i barattoli acquistano velocità, utilizziamo il principio di conservazione dell'energia meccanica. In un sistema ideale, nel modello di punto materiale che si muove lungo un piano inclinato senza attrito, il barattolo possiede energia potenziale gravitazionale legata alla quota a cui si trova rispetto al pavimento.

Non appena il barattolo viene lasciato andare, l'energia potenziale inizia a trasformarsi in energia cinetica. Questa si divide in due forme: energia cinetica di traslazione (quella che sposta il barattolo da A a B -la velocità lineare; energia cinetica di rotazione (quella che

permette al barattolo di girare su sé stesso). Nel punto finale di discesa, per il principio di conservazione dell'energia meccanica, tutta l'energia potenziale gravitazionale si trasforma in energia cinetica.

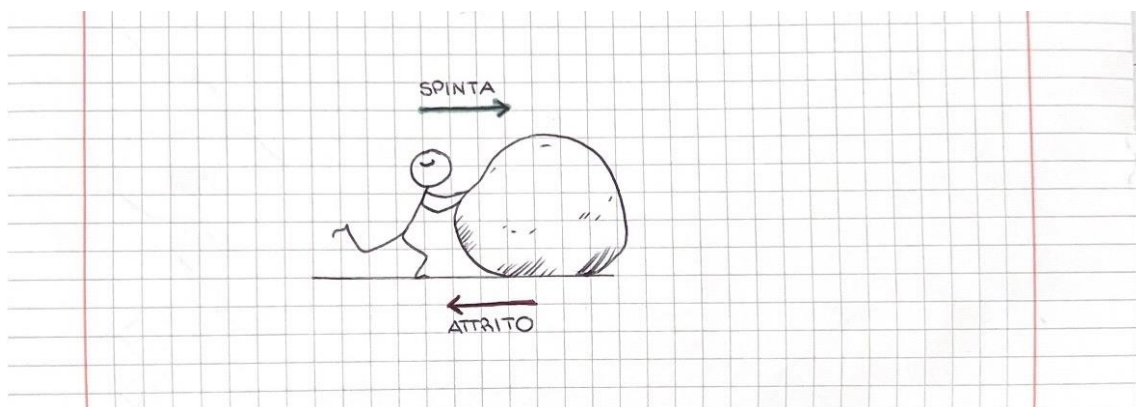


Ma, in un sistema reale, bisogna considerare che: non tutta l'energia potenziale diventa velocità. Una parte viene "persa" (o meglio, trasformata in altre forme di energia: termica, sonora...) a causa dell'attrito. Possiamo distinguere due forme di attrito:

Attrito volvente: quello tra il barattolo e il piano, quando inizia a rotolare;

Attrito viscoso: quello causato dai granelli che sfregano l'uno contro l'altro all'interno del barattolo.

Questo è il motivo principale per cui, cambiando materiale (riso vs fagioli), cambia il tempo di arrivo: materiali diversi hanno diverse "resistenze" interne allo scivolamento (viscosità granulare). Mentre quello con l'aria, per le considerazioni fatte, risulta trascurabile.



Inoltre, consideriamo che:

- la posizione del centro di massa del barattolo varia in base al riempimento. Se il barattolo

è poco riempito, il materiale si comporta come una massa che "tenta" di scendere, creando un momento torcente che si oppone al rotolamento o lo modifica. Se il barattolo è pieno, la distribuzione di massa è più uniforme e il rotolamento è più regolare.

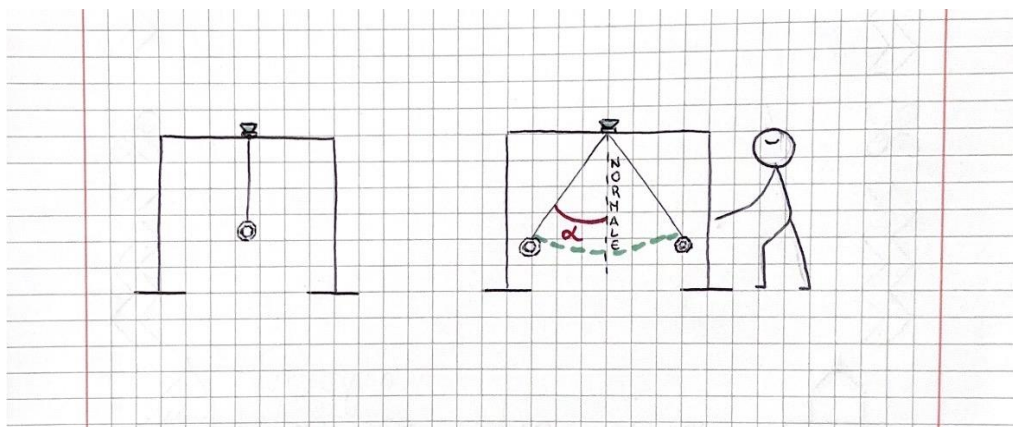
- la velocità con cui un oggetto rotola su un piano inclinato dipende dal suo momento d'inerzia (quanto la massa è distribuita lontano dall'asse di rotazione). Quando il materiale interno si muove (scivola), esso assorbe parte dell'energia che dovrebbe essere dedicata al movimento di traslazione, rallentando di fatto il barattolo rispetto a un cilindro solido ideale.

Per quanto concerne il laboratorio sull'oscillazione dei pendoli, il tempo necessario per compiere un'oscillazione completa (andata e ritorno), in fisica è chiamato Periodo.

Allora comprendiamo che le due variabili che determinano il tempo di un'oscillazione sono: la lunghezza del filo (variabile sulla quale abbiamo agito durante le sperimentazioni) e l'accelerazione di gravità (valore mediamente costante sulla Terra, che potrebbe essere modificata spostandoci verso l'equatore o sulla Luna, per es.). Ciò significa dire che un pendolo più lungo ha un Periodo (T) più lungo.

Questa formula è valida solo in condizioni ideali (senza considerare la resistenza dell'aria e del perno) e per piccole oscillazioni, ovvero con piccoli angoli α (l'angolo α che il filo del pendolo crea con la normale, la direzione perpendicolare al supporto a cui è appeso il filo, è di ampiezza limitata). E questo spiega il motivo per il quale non è utile "caricare troppo", ovvero alzare troppo il filo prima di farlo partire.

Inoltre, possiamo capire che, nonostante dopo un determinato numero di oscillazioni, l'ampiezza di queste ultime, ovvero degli angoli, diminuisce progressivamente nel tempo (il moto si dice smorzato); il Periodo (T) del pendolo non varia perché questo dipende esclusivamente dalla lunghezza del filo.



E questo avviene perché nella condizione reale nella quale abbiamo agito, entra in gioco la resistenza del mezzo, ovvero l'aria. Pertanto, come notano i bambini, “il pendolo a un certo punto si ferma”, a causa di:

attrito dell'aria: man mano che il peso si muove urta le molecole d'aria che incontra (ciò sottrae energia al sistema);

attrito nel perno: anche nel punto in cui il filo è fissato c'è una piccola resistenza meccanica.

3 Capitolo tre: sperimentazione alla scuola Quarati

3.1 Introduzione al percorso laboratoriale

Il mio percorso di sperimentazione è stato svolto presso la scuola G. Quarati. Si tratta della scuola primaria che ho frequentato io ai tempi della scuola primaria.

È stata un'emozione indescrivibile ritornare in quella scuola sotto un'altra veste, sono riaffiorati tanti dolci ricordi.

La classe che mi ha ospitata, la 3B, si compone di ventidue bambini, di cui tredici maschi e nove femmine tra gli 8 e i 9 anni.

L'aula è spaziosa, piena di disegni e lavori alle pareti. I colori della stanza sono il bianco e l'azzurro, i quali creano un ambiente accogliente e fresco. C'è una LIM su una parete, un armadietto accanto alla porta e tre grandi finestre.

Per le attività sono previste risorse di diversa natura, sia digitali che no, gran parte del materiale che ho utilizzato mi è stato fornito dal laboratorio di fisica dell'Università Suor Orsola Benincasa; avere la possibilità di accedere al materiale, poterlo studiare e provare prima di sottoporlo ai bambini è stato di grande aiuto per la mia sperimentazione. Per la documentazione, mi sono munita di un telefono: per la registrazione dei dialoghi con i bambini, mi è stato, inoltre, concesso di scattare solo poche foto e con la premura di non mostrare mai il volto dei bambini o elementi in cui potessero essere riconoscibili.

L'esperienza laboratoriale è nata dall'idea di costruire una didattica della fisica capace di partire dal corpo, dall'esperienza diretta e dalla percezione, utilizzando come strumento anche la mia esperienza come insegnante certificata di Yoga 250 RYT. L'obiettivo non era semplicemente trasmettere contenuti scientifici, ma permettere ai bambini di vivere i fenomeni fisici attraverso il movimento, il respiro, l'ascolto e la relazione con gli altri.

L'intero percorso si è sviluppato attorno ad alcuni nuclei fondamentali: aria, pressione, respirazione, vibrazione, suono, equilibrio e percezione corporea. In questo senso, la sperimentazione si è intrecciata profondamente con le riflessioni teoriche sulla propriocezione e sull'enterocezione, mostrando come il sapere scientifico possa nascere da un'esperienza concreta e incarnata. Questa prospettiva si avvicina alla riflessione proposta da Fritjof Capra, secondo cui la conoscenza scientifica non può essere ridotta esclusivamente alla dimensione razionale e analitica. Capra sottolinea infatti come “la conoscenza razionale e le attività razionali costituiscono di certo la parte principale della ricerca scientifica, ma non ne esauriscono la natura”, evidenziando il ruolo fondamentale dell'intuizione e dell'esperienza vissuta nei processi di scoperta. L'autore osserva, inoltre, che le intuizioni più profonde emergono spesso nei momenti di distensione e ascolto, “durante una passeggiata nei boschi, sulla spiaggia, vicino al mare”, quando la mente intuitiva riesce a prendere il sopravvento rispetto al solo pensiero logico (Capra, *Il tao della fisica*, 1975)

Anche nel percorso laboratoriale proposto ai bambini, i momenti di rilassamento, respirazione, ascolto del corpo e libera esplorazione dei materiali si sono rivelati fondamentali per favorire curiosità, formulazione di ipotesi e costruzione condivisa dei significati scientifici. La fisica è stata, così, vissuta non come un insieme astratto di

nozioni, ma come un'esperienza capace di coinvolgere contemporaneamente corpo, emozioni, immaginazione e pensiero.

Fin dai primi incontri è emerso come i bambini possiedano una naturale predisposizione all'osservazione, alla formulazione di ipotesi e alla costruzione condivisa di significati. Le loro parole hanno spesso rappresentato non soltanto intuizioni scientifiche spontanee, ma anche modi profondi di raccontare il proprio vissuto corporeo ed emotivo.

3.2 Incontro 1

Facciamo un bel respiro



Ogni persona è diversa e non esiste un modo corretto di respirare. Di certo, però, rallentare il ritmo aiuta a ridurre il livello di stress e infonde uno stato di calma. Il primo incontro si è aperto con un momento di presentazione reciproca, mediato anche dalla maestra Angela che mi ha introdotta alla classe. Mi sono presentate e ho ascoltato le presentazioni dei bambini, ma prima, ho chiesto loro di sperimentare con me una esperienza di respirazione guidata: ho chiesto ai bambini di togliere tutte le loro cose dai banchi e di assumere una posizione comoda sulla sedia, ho guidato, poi, una piccola respirazione in cui ho chiesto ai bambini di chiudere gli occhi, ascoltare la mia voce ed ascoltare il suono del proprio respiro, oltre ad ascoltare i suoni provenienti dall'esterno. È stato interessante notare come, nonostante il suono di un cantiere proprio nel cortile della scuola, i bambini si siano lasciati guidare. Al termine dell'esperienza l'atmosfera della classe appariva diversa: più calma, raccolta e silenziosa. Anche l'insegnante presente ha osservato come i bambini fossero diventati improvvisamente più sereni.

Le loro condivisioni hanno mostrato una forte capacità immaginativa e percettiva:

“Mi sento rilassata”

“Sentivo l'aria vicina, come se fluttuassi”

“Ho visto tanti colori, anche se mi sentivo strano ad avere gli occhi chiusi in classe”

“Mi sentivo bene, come se non pensassi a niente”

“Sentivo la brezza, era bellissimo”

“Dopo un po' mi è venuto sonno, ero rilassato”

“Sentivo come se non ci fosse niente attorno a me”

Attraverso un'esperienza estremamente semplice, i bambini avevano iniziato a rivolgere l'attenzione verso il proprio mondo interiore, mostrando aspetti profondamente legati all'enterocezione e alla percezione del sé corporeo.

Successivamente ho chiesto ai bambini di realizzare un disegno pensando all'aria. Le loro rappresentazioni erano molto lontane da un'idea astratta o scientifica dell'aria: la immaginavano come una presenza viva, capace di muovere, sostenere, accompagnare la vita.



Fig. 35-36-37: alcuni elaborati grafici fatti dai bambini

“Io ho disegnato me che tengo per mano l'aria”

“Io ho disegnato me che controllo l'aria”

“Ho disegnato l'aria che spinge le nuvole”

“Ho disegnato l’aria che ci fa vivere”

“Ho disegnato il vento perché è molto importante”

Il laboratorio è poi proseguito con la distribuzione di alcuni palloncini sgonfi, ho chiesto loro di provare a gonfiarli, alcuni sono riusciti immediatamente a farlo altri non riuscivano, così ho chiesto ai bambini di provare a guidare i compagni per riuscire in questa impresa, alcuni hanno cominciato a spiegare che dovevano soffiare forte all’inizio, altri hanno detto che prima di soffiare forte dovevano prendere tanta aria dall’esterno, così, gradualmente, abbiamo ricostruito il ciclo arrivando alla conclusione che prima prendiamo l’aria dall’esterno, poi la soffiamo nel palloncino, intanto alcuni palloncini sono scoppiati facendo un fortissimo rumore, ho chiesto ai bambini se non trovassero strano che un palloncino contenente aria producesse un suono così forte e pauroso, *“secondo voi come fa a produrre un suono così?”*, un bambino ad un certo punto ha notato che il palloncino quando era sgonfio era di un verde molto scuro e che poi gonfiandolo diventava molto più chiaro ha detto che era per *“la distensione delle cellule”* mostrando un interessante tentativo di interpretazione del fenomeno.

Ho chiesto ai bambini di provare a sgonfiare i palloncini, alcuni hanno sgonfiato il palloncino lasciandolo volare nella classe altri hanno schiacciato un po' l’uscita del palloncino producendo dei suoni molto divertenti, si sono divertiti a produrre più suoni possibili mentre l’aria usciva fuori dal palloncino e questo ci è stato molto utile dopo. I bambini durante la manipolazione del palloncino si divertivano a far accadere le cose più strane, a produrre più suoni possibili e a creare cose sorprendenti e molto divertenti, ho chiesto ai bambini se il palloncino fosse vuoto e mi hanno detto che *“no”* era *“pieno d’aria”*, e l’aria di cosa è fatta? Di gas, mi hanno detto, di anidride carbonica.

Ho chiesto alla fine cosa avessero osservato e alcuni hanno detto, che il palloncino produce dei suoni, altri non erano riusciti a gonfiarlo così abbiamo utilizzato un gonfiatore, abbiamo osservato che anche per il gonfiatore valeva la stessa questione *“doveva prima prendere aria dall’esterno e poi soffiarla dentro il palloncino”*.

I bambini mi hanno spiegato che è un po' come quando respiriamo, l’aria entra ed esce dal nostro corpo senza che noi ci facciamo troppo caso.

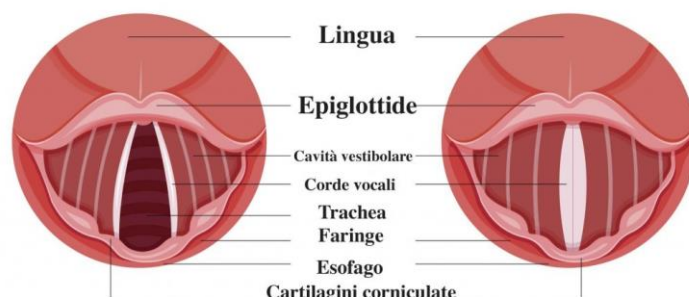
Così ho mostrato ai bambini una breve presentazione sull’apparato respiratorio, ho chiesto a cosa serve l’apparato respiratorio? E mi hanno risposto: *“a vivere”*, *“a gonfiare i palloncini”* *a cacciare l’anidride carbonica”*, *“a portare ossigeno dentro”*.



Fig. 38-39-40-41: mia presentazione alla classe sulla respirazione

Così, abbiamo scoperto che il sistema respiratorio ha ben tre funzioni: immettere ossigeno nel corpo, espellere anidride carbonica ed infine per parlare.

Su questo punto ci siamo soffermati vedendo delle immagini e spiegando loro che attraverso le corde vocali passa l'aria e vibra producendo dei suoni *“come ha fatto il palloncino prima!”*.



Così ci siamo soffermati sul percorso dell'aria e sul fatto che i polmoni si comportano un po' come il palloncino.

I bambini mi hanno fatto notare che non sempre l'aria che respiriamo è pulita, e che in città spesso ci sono troppe macchine, mi hanno detto di essere preoccupati del fatto che ci siano pochi alberi e che *“agli anziani non importa di sporcare perché non devono vivere ancora per molto”*, a loro invece interessa.

Qualcuno ha detto *“mio nonno fuma”* o *“mia mamma fumava ma ora ha smesso perché il dottore le ha detto di smettere”* o ancora *“io ho promesso a mia mamma che non fumerò mai”*. Su questo tema i bambini ed io ci siamo dilungati molto, quasi tutti avevano qualcosa da dire, ma a tutti era chiarissimo quanto facesse male fumare. Abbiamo poi riflettuto sulla differenza di aria, per esempio, in montagna e qualcuno mi ha detto che *“a volte mi gira la testa”* *“è più bello respirare aria pulita, senti che è più buona, come prima, sentivo l'aria che mi faceva bene, era buona”* lo diceva come se volesse spiegarmi che l'aria ha un sapore.

Abbiamo, infine, ripercorso le tappe di questo primo incontro e mi hanno ringraziato perché *“è bello sperimentare l'aria in cui viviamo.”*

3.3 Incontro 2

Lo stetoscopio: Il suono del silenzio

Appena mi hanno vista i bambini erano felici e mi hanno chiesto: *“oggi cosa ci hai portato?”*

Abbiamo cominciato con il ricordare cosa avevamo fatto la volta precedente, mi hanno risposto *“abbiamo lavorato con l’aria”*.

Avevano voglia di riassumere il lavoro della volta precedente così li ho lasciati parlare a turno: *“abbiamo visto l’altra volta il sistema respiratorio, vi ricordate? Chi ha voglia di raccontarmi?”*.

“Prendiamo l’aria la mandiamo ai polmoni e poco prima dei polmoni ci sono le corde vocali, ogni volta che passa l’aria noi riusciamo a parlare perché passa l’aria, le corde vocali si muovono e a seconda di come noi parliamo si muovono in vario modo.”

Il palloncino quando soffiavamo si gonfiava,

“aveva due modi di sgonfiarsi, quando lo sgonfiavi forte faceva “prrrr” e quando lo sgonfiavi piano faceva “piiiiiiiiiiii” quindi faceva suoni diversi”.

Ho chiesto ai bambini di fare un’altra cosa: provare ad ascoltare che rumori producesse il nostro corpo. Ho dato loro uno stetoscopio a gruppo, alcuni di loro conoscevano già questo strumento, e mi hanno subito raccontato che lo hanno visto dal dottore, o che la mamma lo usa perché è dottoressa.

Prima ancora di utilizzare lo stetoscopio, alcuni sostenevano di riuscire già a sentire il battito, ponendo una mano sul proprio petto.

Ho dato ai bambini qualche minuto per poter sperimentare liberamente, ho detto loro: *“poi vi chiederò come è andata”*

Alcuni alla domanda *“Che cosa senti?”* Hanno risposto:

“io sento, tu - tum tu - tum, è fighissimo, è fighissimo!”

I bambini ridono, provano a toccare il corpo del compagno,

“sento il cuore, veloce”

“non c’è il battito, non lo sento”

“è lento”

“Mi sento come se avessi fatto una corsa”

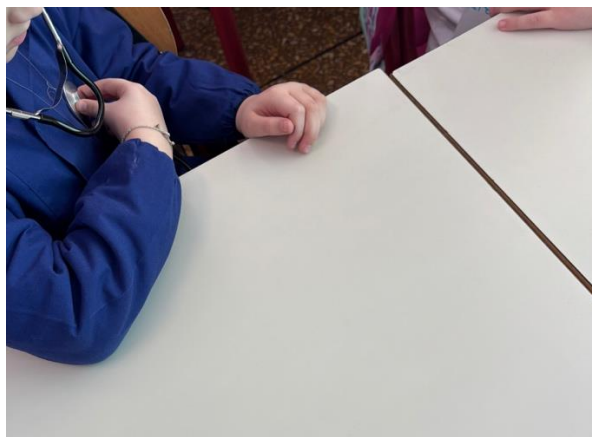
Particolarmente significativo è stato il modo in cui alcuni bambini hanno collegato il battito cardiaco agli stati emotivi:

“Ero allegro o forse un po’ in ansia e sentivo il cuore accelerare.”

Un altro bambino ha suggerito spontaneamente strategie di autoregolazione:

“Bisogna controllare il respiro... sentire che entra e che esce.”

In questo incontro il corpo è diventato un vero strumento scientifico: ascoltare il cuore significava ascoltare sé stessi, riconoscere emozioni, variazioni corporee e stati interiori. La fisica del suono e della vibrazione iniziava ad intrecciarsi con l’esperienza emotiva e relazionale.



3.4 Incontro 3

La campana a vuoto; vedere l’invisibile

Nel terzo incontro ho presentato ai bambini la campana a vuoto. Prima ancora dell’esperimento li ho invitati a formulare delle ipotesi: *“secondo voi che cos’è? A cosa serve?”*

“Una campana”

“Un orologio e una campana”

“Serve a vedere quanta aria c’è”

“La pressione”

Così ho chiesto loro, se sapessero l’aria che respiriamo da che cosa fosse composta.

“Da gas”

E poi ho domandato loro, come si comportano i gas. Ho impostato il discorso dicendo loro che i gas vengono definiti fluidi. Conoscete altri fluidi che vi vengono in mente?

“La lava, un batterio, l’acqua, lo slime”

Così ho chiesto ai bambini se avessero mai sentito parlare dell’atmosfera. Abbiamo riflettuto insieme sui gas e sull’atmosfera, immaginando l’aria come un mare invisibile nel quale siamo immersi:

“viviamo come pesci nel mare”

I bambini hanno mostrato intuizioni molto interessanti riguardo alle molecole e al comportamento dei fluidi, dovute allo studio fatto in scienze sulla materia:

“nel gas le molecole sono super distanti”

“l’acqua prende la forma del contenitore”

Immaginiamo di vivere in questo fluido, che è l’aria, come dei pesci che vivono immersi nel mare, secondo voi i pesci sentono il peso dell’acqua?

“Sì”

“No, sono abituati”

E noi sentiamo il peso dell’aria sul nostro corpo?

“Sì”

“Quando ci sentiamo male”

“A volte sì”

“Io sento l’aria quando salto e poi scendo”

“Io quando corro la sento perché sono veloce”

Diciamo che noi viviamo come sul fondo di questo mare di aria, diciamo che a volte la percepiamo ma altre volte conduciamo la nostra vita senza occuparcene.

Qui c’è l’aria sia all’interno che all’esterno della campana.

“E sotto?”

Mostro la parte di sotto

“Ma dentro c’è un buco sulla base? “

“Come una siringa”

Dall’altra parte com’è?

“Venite ad osservarla”

“Il palloncino com’è?”

“È gonfio ma sgonfio”

All'interno della campana predispongo un po' di schiuma da barba in un barattolino e un palloncino mezzo sgonfio.

La vedete?

Ok adesso chiudo la campana

Adesso tirerò questa leva (qualcuno mi vuole venire ad aiutare?)

“il palloncino si sta gonfiando ancora di più”

“Non succede niente”

“Dobbiamo continuare”

“Come se si stesse solidificando”

“Io vedo la schiuma più densa”

“Io vedo l'aria, l'atmosfera”

“Io sto vedendo che incomincia a far diventare più grande il palloncino ma pianissimo perché visto che c'è il nodo ne riesce ad entrare poca”

Che cosa osservate?

“La schiuma sembra che sia quasi salita più in alto”

“La schiuma da barba oltre ad essere salita il palloncino si è ingrandito”

“io voglio dire la stessa cosa sua”

“più tiri più si alza la schiuma e si gonfia il palloncino”

“il segno meno ho capito che significa quanta aria NON c'è dentro al contenitore”

“Che ti vuole dire il meno?”

“Che invece di esserci più pressione c'è meno pressione”

“Io ho visto un'altra cosa: prima era 0 ma più toglì più si toglie la pressione”

“Le cose sono cresciute (la micromagia)”

Ho chiamato uno dei bambini e gli ho chiesto di provare a sollevare il tappo della campana

“Si solleva?”

“No”

“Vi ricordate prima come era facile?”

“È come se risucchiasse”

La schiuma da barba è composta anche da? Aria

Abbiamo infine discusso su ciò che avevamo osservato, e cose dentro avevano più spazio visto che c'era meno aria. Per cui ho chiesto ai bambini cosa volesse dire, l'aria occupava uno spazio dunque?

*“Sì, e se io con questa pompa tolgo aria do la possibilità alle cose all’interno di crescere”,
Allora se è vero, che succede se io faccio tornare l’aria all’interno?*

“Il palloncino si sgonfierà e la schiuma da barba si abbasserà”

“La campana secondo me diventerà anche appannata”

“Visto che tu fai entrare l’aria da sopra è come se stesse spingendo gli oggetti”

Infine, abbiamo riflettuto sul nome: campana a vuoto, ho domandato perché avesse questo nome.

“Campana per la forma”

“Vuoto perché non c’è niente, nemmeno l’aria”

Quando noi viviamo in una stanza togliamo tutto, ma c’è il termosifone, noi diciamo che è vuota, c’è sempre all’interno l’aria che è composta da gas.

Quindi per simulare il vuoto abbiamo dovuto togliere l’aria da questa campana. Ho mostrato, infine un’ultimo esempio ai bambini, per collegarmi all’esperienza di laboratorio del prossimo incontro: ho inserito una sveglia dentro la campana a vuoto, ho impostato il timer e ho cominciato a togliere aria con la pompa. Nel momento in cui la sveglia ha cominciato a suonare, noi in classe non abbiamo sentito nulla. Ho chiesto ai bambini, secondo loro perché era accaduta questa cosa. E poi li ho invitati a riflettere su questa domanda fino al nostro prossimo incontro.

Infine, ho chiesto loro le tre domande:

1) Che cosa avete fatto?

“Abbiamo lavorato sull’aria”

“Con la pressione e la campana”

“Abbiamo visto cosa succede quando non c’è l’aria”

2) Che cosa avete scoperto?

“abbiamo scoperto che l’aria c’è sempre e che l’aria se noi la togliamo le cose occupano uno spazio di aria e che l’aria le schiaccia se la rimettiamo”

“L’aria occupa sempre un posto”

“Quando l’aria non c’è gli oggetti prendono il posto dell’aria quando l’aria c’è gli oggetti non possono più prendere il posto perché è come se quella fosse la casa dell’aria”

3) Che cosa avete provato, sentito?

“Io ho sentito il battito di me stesso e del mio compagno e io mi sono sentita emozionata, perché lo stetoscopio non lo avevo mai provato”

“Io mi sono sentito come se fossi stato da solo in mezzo al nulla come se niente mi circondava come se potevo andare dove volevo”

“Io mi sono sentito uno scienziato fisico”

“Quando mi sono sentita io da sola il cuore ho pensato di essere una dottoressa”

“Io sentivo il battito del cuore non pensavo a niente e pensavo a qualcosa allo stesso tempo, mi piaceva, era bello”



3.5 Incontro 4

La siringa: comprimere l'aria

Nel quarto incontro abbiamo lavorato con le siringhe. Ho chiesto ai bambini di tappare il foro e provare a spingere lo stantuffo, ho chiesto loro di sperimentare liberamente.

Subito hanno cominciato ad emergere osservazioni spontanee.

Qualcuno tira forte lo stantuffo e produce un rumore, lo imitano tutti

“sembra come la cosa delle corde vocali”

“Devo fare tantissima forza”

“È duro”

“Mi sono fatto il segno sulla pelle, dei cerchi, come un fossile”

“Guarda se io premo e poi tiro lo stantuffo è ancora più difficile”

“non c’è posto per l’aria”

Come al solito ho domandato loro al termine della sperimentazione libera le tre domande:

1) che cosa avete fatto?

“Allora era così abbiamo bloccato l’apertura da dove può entrare e uscire l’aria era piena d’aria e abbiamo cercato di schiacciare e spingere fino ad arrivare qua e ci riuscivamo con molta forza”

“Abbiamo visto che ritorna indietro, come una molla”

“Abbiamo visto che se tiri con velocità fa come la cosa del palloncino”

2) Che cosa avete scoperto?

“Abbiamo scoperto che l’aria che stava qua dentro quando chiudevamo restava dentro e non poteva uscire allora tornava nello stesso posto”

“Io ho sentito che ritornava sempre indietro”

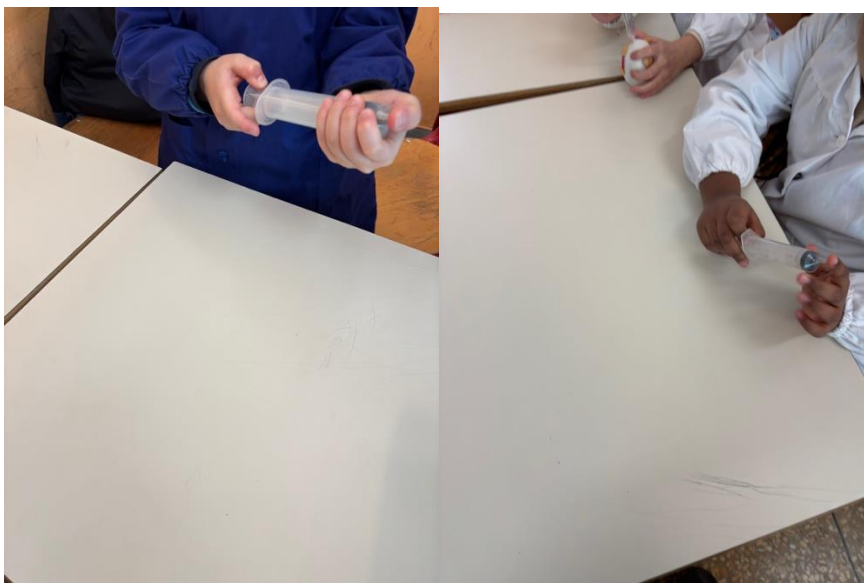
“Oltre allo stesso rumore del palloncino mi è venuta in mente il rumore di una goccia che cade”

“Mi sembra un omino con il cappello”

“A questo punto un bambino mi chiede se con l’acqua sarebbe successa la stessa cosa, non avevo precisato di utilizzare l’acqua, ma mi dirigo in bagno per riempire la mia borraccia e provare a prendere dell’acqua con la siringa.

Mostro ai bambini che se tappo il buco e spingo anche con molta forza non riesco a muovere lo stantuffo... Chiedo ai bambini di venire a provare a turno, diventa divertente perché provano con molta forza, anche a coppie: uno manteneva il foro chiuso e l’altra spingeva lo stantuffo.

Discutiamo del perché.



3.6 Incontro 5: il concetto di vibrazione e relazione

Questo incontro è stato dedicato al suono e alla vibrazione.

Come al solito abbiamo ripercorso insieme le esperienze precedenti , collegando aria, respiro e produzione sonora.

Quando sono arrivata in classe mi hanno accolta calorosamente,

“Etheeeeeeeeeel!!!”

Di cosa abbiamo parlato? Dell’atmosfera, dell’aria, come l’abbiamo sperimentata? Con il palloncino e con il nostro corpo, abbiamo visto che quando si gonfiava diventava più

chiaro e poi a secondo di come maneggiavamo la plastica se diventava più lunga diventava un suono un po' tipo stridio, se lo aprivi tutto usciva tutto insieme.

Abbiamo respirato, abbiamo messo l'aria dentro al palloncino e abbiamo osservato che i suoni dipendono dall'aria. Parlare è un atto inspiratorio o espiratorio? Espiratorio.

Abbiamo parlato di atmosfera con la campana a vuoto. Si ingrandivano perché avevano più aria, no perché avevano più spazio.

Oggi, ho detto loro, parleremo di risonanza. Sapete che cos'è?

No, io l'ho sentita solo come risonanza magnetica

Risonanza: una cosa che si ripete

Si ripete

Tipo uno strumento

Un suono si ripete tante volte

Da lontano lo sentiamo tipo eco

Mostro loro lo strumento che osserveremo oggi, ormai si aspettano di vedere sempre oggetti "strani"

"WoW"

"È legno! È legno, sono dei cassetti"

Qualcuno dice: Questo è un diapason! quando viene percosso succede qualcosa, secondo voi cosa?

Farà un suono e poi sarà come un eco, io credo che i due paletti si muoveranno da una parte e dall'altra da una parte e dall'altra.

Farà un rumore come il Gong.

Il suono non sarà spezzettato, ma lo sentiamo sempre, è come un suono continuo.

Proviamo? Sì!

Come si produce il suono

I due bastoncini si toccano e producono il suono

Proviamo a vedere, si toccano?

No

Questo suono è molto rilassante!

I bastoncini non si toccano, fa un rumore elettrico.

Forse il suono va di là sbatte, va di là sbatte, va di là sbatte,

il cosino di metallo quindi si muove e quando metti la mano smette di muoversi

quando metti la mano sembra che il suono scenda piano piano

Secondo me, tu lo sbatti, e l'aria che sta in mezzo si muove e quindi fa fare questo rumore

Visto che c'è la base forse suonerà anche dentro quella scatola.

Chiudiamo le finestre per ridurre il suono

Se metti le due parti vicine il suono non esce? Proviamo?

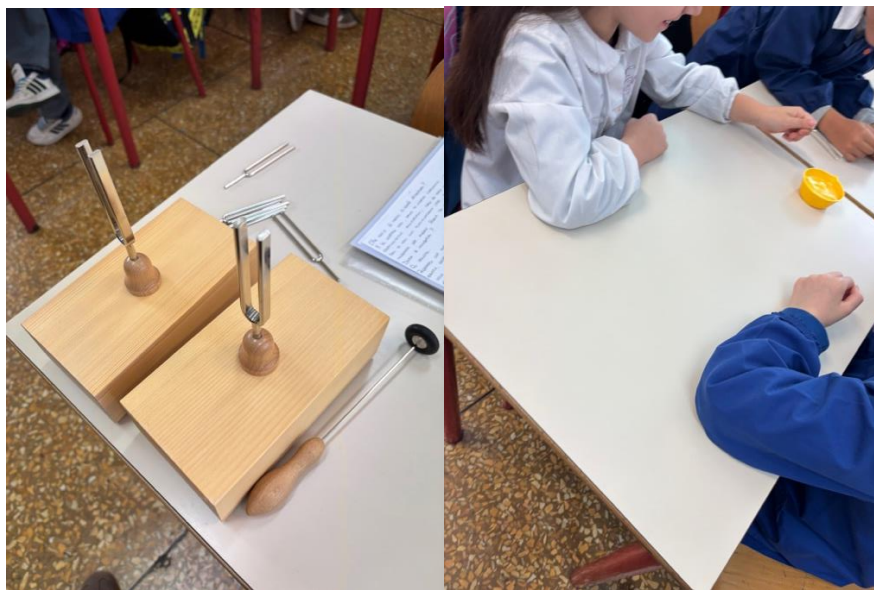
Percuoto cosa sentite?

Un rumore sempre elettrico

Ho notato che nel mio orecchio sinistro che stava verso il muro non sentiva il suono ma in qualche modo sentiva anche quest'orecchio.

Quando aveva cominciato a un certo punto avevo capito che era risuonato per me

Che quando tu hai fermato con la mano il ferro quello ha continuato a suonare, come è possibile? Lo avete notato tutti? Perché?



Così ho mostrato loro un secondo diapason, ho percosso il primo e l'ho avvicinato al secondo che ha cominciato a vibrare all'unisono con il primo.

G. diceva può essere che visto che il mezzo attraverso cui le vibrazioni viaggiano è?

L'aria, l'aria si muove e muove anche l'altro diapason.

Secondo me suoni tutti e due, secondo me no,

sentivo anche del legno che vibrava

io prima avevo pensato che fosse anche perché la bottiglia è tutta chiusa invece il diapason ha uno spazio. E se li blocchi tutti e due contemporaneamente?

Hanno delle onde più alte o più basse?

Così ci soffermiamo sul fatto che è molto simile a quello che facciamo noi con la bocca e la cassa toracica, che diventa come uno strumento.

Distribuisco a tutti i bambini delle ciotoline di plastica con dei diapason piccoli, all'interno delle vaschette verso dell'acqua, chiedo ai bambini di esplorare liberamente con questi materiali.

Suoni di meraviglia da parte dei bambini.

E' come se l'acqua si "storzella"

Che succede? L'acqua vibra

Sbattendo, tipo come se si addensa l'acqua, tipo tremava

E' schizzata l'acqua quando abbiamo avvicinato il diapason,

Ethel a me non lo hai chiesto: a me ricorda la pellicina del latte

Arriva il momento delle domande:

1) Vi va di raccontarmi che cosa avete fatto?

È successo che quando abbiamo toccato l'acqua con questo oggetto è successo che ha iniziato a muoversi e si sentiva un rumore

Ho visto l'acqua che vibrava, mi ha fatto venire l'impressione che si stava raddensando

Quando lo mettevamo nell'acqua si fermava a vibrare

Vibrava dopo essere sbattuto e si fermava nell'acqua

Io ho notato due cose, la prima cosa: quando sbattevo e poi appoggiavo solo una piccola parte del diapason vibrava più velocemente e per più tempo

L'acqua vibrava, era bello

Abbiamo continuato a sperimentare avvicinando il diapason alla bocca dopo averlo percosso, la vibrazione si sente in modo più intenso, qualcuno dice "come un solletico"

Bene, prima di lasciarli chiedo loro di sperimentare una cosa, che poi si collegherà con l'incontro della volta successiva: *proviamo a produrre un suono uguale tutti insieme,*

vi chiedo di mettere le mani sul costato, rimanendo seduti, di inspirare e quando espirate insieme facciamo “Aaaaaaaaaa”

Adesso facciamo la “Uuuuuuuuuu” tutti insieme, inspiro espiro

“Mmmmmmmmm” quando sentite la necessità di inspirare di nuovo interrompete il suono, è un solo atto espiratorio

Proviamo ad unire questi tre suoni: “AUM” questa è musica

Inspiro, espiro “aaaaaauuuuuuummmmmmm”

Le esperienze vocali svolte durante il laboratorio trovano riscontro anche nella letteratura scientifica. Uno studio di Bangalore G. Kalyani (Kalyani, 2011) , attraverso tecniche di risonanza magnetica funzionale, ha mostrato come la vocalizzazione del suono “OM” produca effetti neurofisiologici associati a stati di rilassamento e regolazione emotiva, evidenziando una riduzione dell’attività in aree cerebrali coinvolte nello stress e nell’attivazione emotiva, come emerge anche da alcune risposte dei bambini alle mie domande finali:

1 che cosa avete fatto?

Con il diapason abbiamo sentito dei rumori poi abbiamo provato con il banco e con l’acqua, poi vicino alla bocca, poi abbiamo fatto questa cosa con le voci che sentivamo tantissimi suoni uguali.

2 Che cosa avete scoperto?

Abbiamo scoperto che quando sbattiamo il diapason ci sono delle onde, poi abbiamo parlato un po' della vibrazione credo, degli oggetti e della voce, Io ho scoperto che, io prima pensavo che le onde sonore si spargevano, invece i paletti sbattono, non lo sapevo

3 Che cosa avete provato?

Sentivo che la vibrazione era pure nel orpo, e si spostava

Io mi sono sentito calmo

Io mi sono sentito rilassato

Io quando facevo Mmmm avevo un attimo respirato e sentivo un rumore tipo all’interno

Io ho visto che la m la sentivo sul collo, la u la potevo sostenere molto tempo

Mi sono sentita vibrare dentro Bea

Anche io

Io mi sono sentita vibrare

A me con la Mmmm l'ho sentita in tutta la testa!

Abbiamo, infine, riflettuto sull'importanza della nostra voce, che riflette le nostre intenzioni, le nostre emozioni, con la voce possiamo raccontare chi siamo, le nostre idee. Siamo giunti alla conclusione che dobbiamo imparare ad usare la voce e che il luogo in cui si può imparare è proprio la scuola. Ripetere ad alta voce, imparare a scegliere le parole più adatte, per dire quello che vogliamo e spiegarci nel migliore dei modi. Solo attraverso l'educazione della nostra voce possiamo arrivare agli altri. Per terminare il nostro appuntamento i bambini hanno riflettuto sul fatto che non dovremmo mai bloccare la nostra voce quando sentiamo di avere qualcosa di importante da dire, quando abbiamo qualcosa in testa da comunicare ad un'altra persona, quando vogliamo definire i nostri diritti e i nostri confini.

L'ultima frase che ho detto ai bambini per concludere è stata *“usiamo bene la nostra voce e la faremo risuonare nella mente degli altri”*.

Nei giorni appena successivi al laboratorio svolto in classe, mi sono recata presso il laboratorio di fisica dell'Università Suor Orsola Benincasa, per continuare a lavorare sulle onde sonore.

In laboratorio abbiamo registrato alcuni suoni, in particolare il suono delle vocali ed, infine, il suono dell'Om, pronunciati da me e dal Prof. Balzano. Per farlo, abbiamo utilizzato il sensore di suono della Vernier (html) (<https://www.vernier.com/product/go-direct-sound-sensor/>, s.d.)

Di seguito le immagini risultato del nostro esperimento in laboratorio:

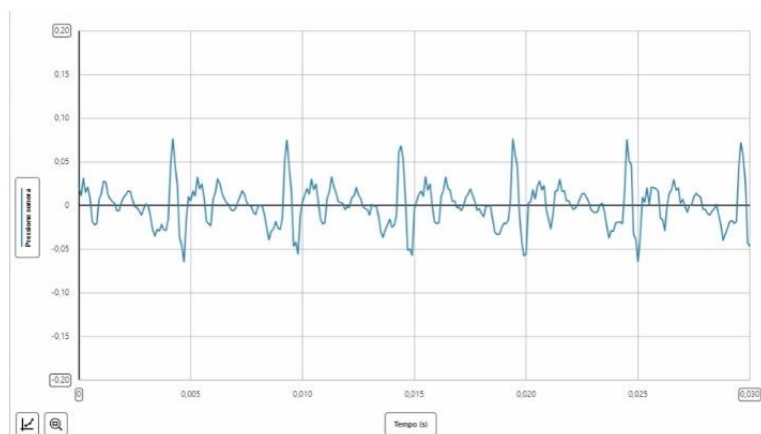


Fig. 42: Vocalizzazione lettera "A"

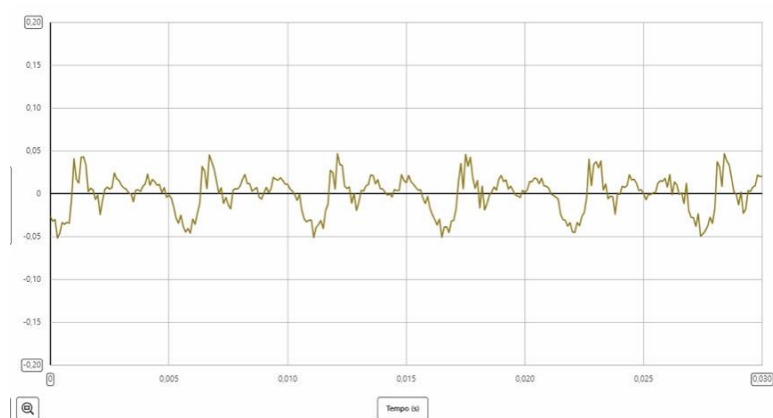


Fig. 43: Vocalizzazione lettera "E"

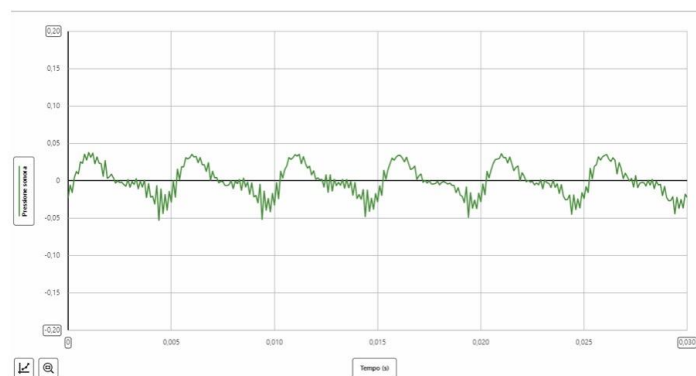


Fig. 44: Vocalizzazione lettera "I"

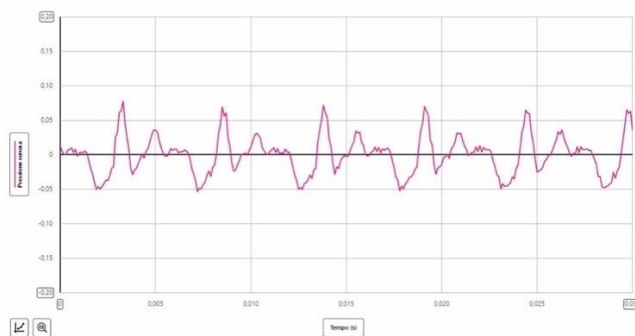


Fig. 45: Vocalizzazione lettera "O"

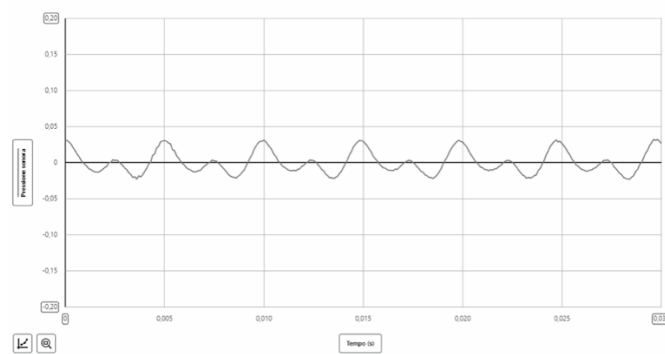


Fig. 46: Vocalizzazione lettera “U”

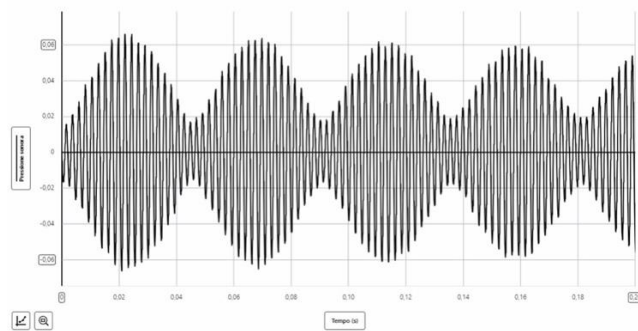


Fig. 47: Battimenti con due diapason percossi simultaneamente: frequenze 440 Hz / 430 Hz

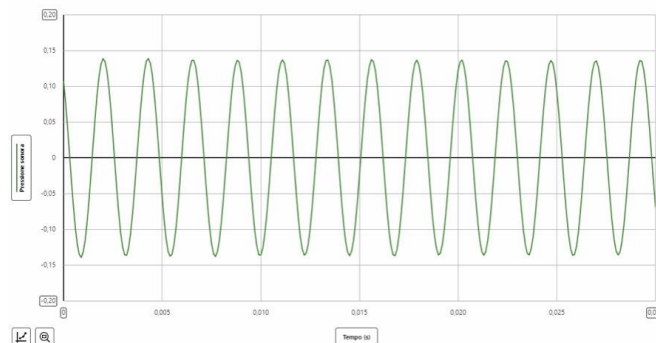


Fig. 48: Diapason 440 Hz

OM Chanting @528 Hz | 8 Hours

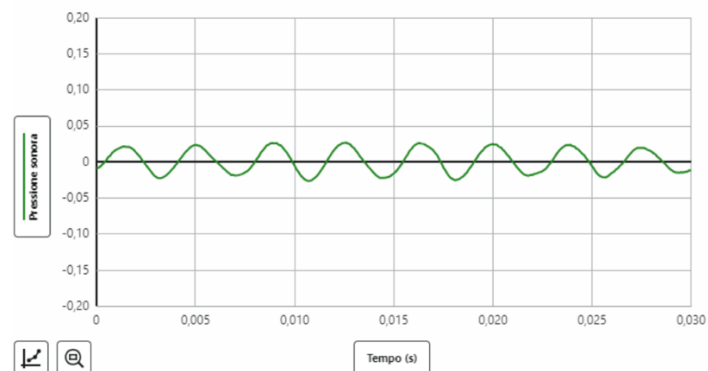


Fig. 49: Canto di Om eseguito da un maestro di yoga

<https://www.bing.com/videos/riverview/relatedvideo?q=om+youtube&mid=3B64A38A935B93633DE93B64A38A935B93633DE9&churl=https://www.youtube.com/channel/UCM0YvsRfYfsniGAhivYFOSA&FORM=VIRE>

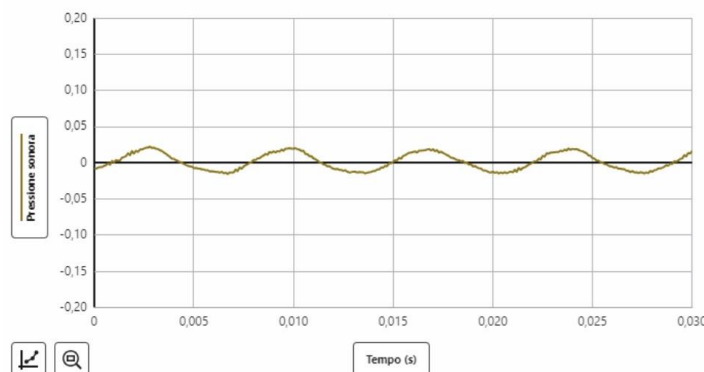


Fig. 450: Canto di Om eseguito da me

3.7 Incontro conclusivo: Il confronto con l'alterità

L'ultimo laboratorio ha rappresentato una sintesi naturale dell'intero percorso svolto.

Dopo aver esplorato l'aria, il respiro, la pressione, il battito cardiaco, il suono e le vibrazioni, il lavoro si è concentrato sul corpo in movimento, sull'equilibrio e sulla relazione con l'altro.

L'incontro si è tenuto nella palestra della scuola, uno spazio molto ampio e con una splendida acustica, è iniziato con un breve momento di respirazione e ascolto silenzioso, ormai familiare ai bambini. Rispetto al primo incontro, la classe mostrava una capacità molto più spontanea di entrare in uno stato di attenzione e calma. I bambini si disponevano nello spazio con maggiore consapevolezza, rispettando i tempi dell'attività e quelli reciproci.

Successivamente ho proposto alcune semplici esperienze di yoga educativo e di equilibrio corporeo, sia individuali sia a coppie, per sperimentare la relazione con l'altro. L'obiettivo non era l'esecuzione tecnica delle posizioni, ma l'esplorazione delle sensazioni corporee, della stabilità, della fiducia e della relazione con il compagno.

Abbiamo iniziato sperimentando alcune posizioni di equilibrio individuale. Ho chiesto

ai bambini di osservare cosa accadesse al corpo quando cercavano di mantenere una posizione stabile: quali parti del corpo si irrigidivano, quali si allungavano, dove sentivano il peso e come cambiava il respiro, cosa accadeva ad occhi chiusi e cosa cambiava aprendo gli occhi.

Molti bambini hanno immediatamente notato il legame tra equilibrio e respirazione:

“Se respiro piano riesco a stare fermo di più.”

“Quando mi agito perdo l’equilibrio.”

“Se guardo un punto è più facile.”

Attraverso queste osservazioni spontanee emergeva chiaramente una maggiore consapevolezza propriocettiva: i bambini iniziavano a percepire il corpo non come qualcosa di “automatico”, ma come un sistema in continua relazione con lo spazio, il peso e il movimento.

Successivamente abbiamo svolto attività a coppie, utilizzando il sostegno reciproco delle mani o della schiena per costruire piccole posizioni condivise. In questo caso il lavoro si è spostato progressivamente dalla percezione del proprio corpo alla relazione con l’altro.

I bambini si rendevano conto che l’equilibrio cambiava completamente quando entrava in gioco il corpo del compagno:

“Con il compagno è più facile.”

“Se lui si muove cado anche io.”

“Ci dobbiamo aiutare.”

“Bisogna fidarsi.”

L’aspetto più significativo di questa esperienza è stato osservare come il concetto fisico di equilibrio assumesse immediatamente anche un significato relazionale ed emotivo. I bambini comprendevano concretamente che stare in equilibrio insieme richiede ascolto, attenzione reciproca e capacità di adattamento.

Durante alcune posizioni molti bambini ridevano, cadevano e riprovavano più volte.

Tuttavia, rispetto alle normali dinamiche competitive spesso presenti nei contesti scolastici, emergeva un clima differente: i bambini tendevano ad aiutarsi, aspettarsi e incoraggiarsi reciprocamente.

Abbiamo poi riflettuto insieme sulle sensazioni corporee percepite durante le attività:

“Le gambe tremavano.”

“Sentivo tirare le braccia.”

“Mi sentivo più leggero.”

“Quando il compagno mi aiutava stavo più stabile.”

Queste osservazioni hanno permesso di collegare l’esperienza vissuta ad alcuni concetti affrontati durante il percorso, come il peso, la forza, la distribuzione dell’equilibrio e il rapporto tra tensione e rilassamento muscolare.

Nella parte finale dell’incontro, al rientro in classe, che coincideva con il momento del pranzo, ho proposto una breve esperienza meditativa ispirata alla cosiddetta “meditazione del mandarino” suggeritami da Olga Mautone durante la nostra lunga intervista.

Ogni bambino teneva tra le mani un mandarino e veniva guidato ad osservarlo lentamente attraverso tutti i sensi: la forma, il colore, il profumo, la consistenza della buccia e il sapore. Dopo aver sbucciato un mandarino, ho chiesto ai bambini di mangiarlo con consapevolezza o distrattamente. *Cosa significa mangiare un mandarino con consapevolezza? Mangiando un mandarino, sapete che lo state mangiando. Ne gustate pienamente la fragranza e la dolcezza. Sbucciando il mandarino, sapete che lo state sbucciando; staccandone uno spicchio e portandolo alla bocca, sapete che lo state staccando e portando alla bocca; gustando la fragranza e la dolcezza del mandarino, sapete che ne state gustando la fragranza e la dolcezza.*

L’esperienza ha permesso ai bambini di rallentare nuovamente il ritmo, tornando all’ascolto sensoriale e alla presenza nel momento.

Alcuni bambini hanno osservato dettagli che normalmente sarebbero passati inosservati:

“Profuma tantissimo.”

“Non avevo mai guardato bene la buccia.”

“Sembra ruvida ma anche morbida.”

“Quando mangi piano senti meglio il sapore.”

Anche in questo caso il laboratorio non era finalizzato semplicemente a “rilassare” i bambini, ma a educare l’attenzione, la percezione e la consapevolezza corporea.

“Non ho dimenticato il mandarino, e così il mandarino è diventato qualcosa di molto reale. Se il mandarino è reale, anche chi lo mangia è reale. Ecco cosa significa mangiare un mandarino con consapevolezza” (Hạnh).

Quest’ ultimo incontro ha rappresentato, in qualche modo, la conclusione simbolica dell’intero percorso: dalla scoperta dell’aria invisibile fino alla percezione più sottile del

proprio corpo, del respiro e della relazione con gli altri.

Attraverso il movimento, il contatto, l'equilibrio e il silenzio, i bambini hanno potuto fare esperienza diretta di ciò che nel quadro teorico è stato definito come integrazione tra dimensione cognitiva, corporea ed emotiva.

Il laboratorio ha mostrato come la didattica della fisica, nella scuola primaria, possa trasformarsi in uno spazio di ricerca vissuta, in cui il corpo non rappresenta soltanto uno strumento per apprendere, ma il luogo stesso attraverso cui la conoscenza prende forma.

4 Conclusioni

4.1 Il corpo come luogo della conoscenza scientifica

Il nostro corpo, la nostra mente e le nostre emozioni sono parte inseparabile di noi.

Capra

Le riflessioni teoriche e metodologiche sviluppate nel corso di questo mio lavoro di tesi si sono concentrate su come il rapporto tra corpo, emozione e apprendimento rappresenti oggi uno degli aspetti più significativi della ricerca educativa contemporanea. Le neuroscienze, la pedagogia embodied, la psicologia dell'apprendimento e gli studi sull'educazione scientifica convergono progressivamente verso una stessa direzione: la conoscenza non può essere considerata un processo puramente astratto o esclusivamente cognitivo, ma nasce dall'interazione continua tra mente, corpo, ambiente, esperienza e relazione.

Nel corso di questa sperimentazione è stata sempre privilegiata una didattica a partire dalle domande, in uno stile indiziario, che ha utilizzato il corpo in movimento e lo spazio aperto, in cui tutti sono stati coinvolti in prima persona e il gruppo ha funzionato come una “mente”. Inoltre, ho avuto sempre ben chiaro in mente, memore delle preziose parole di Olga Mautone, e degli insegnamenti della mia personale pratica come insegnante di yoga, alcune indicazioni di metodo: la “sospensione del giudizio”, “il rispetto agli altri e il rispetto per me stessa”. A questo si è aggiunto, grazie all'esperienza del progetto MusEdu, la “sospensione delle risposte alle domande” che è; il saper stare con le domande senza correre a dare la risposta corretta, ma cercare indizi per costruire insieme

la *nostra* risposta. La scoperta, secondo me, più rivoluzionaria di questo percorso di tesi sperimentale svolto durante il mio ultimo anno di università e che auguro a me stessa di portare nel mio futuro lavoro di docente, è stata che, partendo dal corpo: dal sentire, (poiché il corpo è la casa di tutti) e il respiro è un alleato, ognuno sente qualcosa e tutti, hanno qualcosa da dire, al di là del concetto di giusto o di sbagliato.

Permettere ai ragazzi di fare scienza offre loro la preziosa opportunità di approfondire le conoscenze in modi che vanno ben oltre la memorizzazione di concetti o la riproduzione di esperienze di laboratorio prescritte. Gli studenti imparano a dare un senso al mondo complesso che li circonda in un modo che sia inclusivo e rilevante per la loro vita quotidiana e che li aiuti a diventare adulti in grado di prendere decisioni basate su quanto appreso. Sono dell'idea che centrare l'istruzione scientifica sull'indagine e la progettazione possa migliorare l'istruzione nelle scuole e aiutare gli studenti a imparare a dare un senso ai fenomeni e sviluppare soluzioni.

Per imparare è necessario creare connessioni tra concetti e far sì che quanto appreso sia utile in nuovi contesti. Le connessioni tra i concetti si formano e si arricchiscono quando gli studenti interagiscono con il mondo, rispondono ai bisogni umani, prendono decisioni e danno un senso alle nuove esperienze che incontrano.

Quando la conoscenza è organizzata attraverso numerose connessioni significative, si può attingere ad essa per risolvere problemi, prendere decisioni e apprendere di più. Le elaborate reti di concetti collegati sono importanti per la comprensione, per ricordare e per l'apprendimento. Quando una rete viene attivata, il carico cognitivo risulta inferiore rispetto a una situazione in cui non ci sono legami con conoscenze pregresse, consentendo agli studenti di apprendere di più, apprendere più rapidamente o risolvere un nuovo problema.

Durante l'intero percorso ho portato con me l'idea secondo cui le azioni sono fondamentali per le indagini; sperimentare fenomeni e nuove sfide e dar loro un senso attraverso lo sviluppo di modelli, la discussione delle evidenze, la pianificazione e lo svolgimento di un'indagine o la costruzione di una spiegazione basata sull'evidenza, sono fondamentali per la scienza.

Un'altra considerazione riguarda il modo in cui gli studenti usano le loro percezioni, cosicché possano iniziare a vedere (ascoltare, sentire e annusare) il mondo in modo

diverso. Tali percezioni, forniscono idee e risorse che possono essere utilizzate per aiutare gli studenti a sviluppare curiosità per il mondo naturale e per permettere loro di imparare attraverso la scienza a studiare i fenomeni e a progettare soluzioni a problemi che via via si presentano. (Science and Engineering for Grades 6-12: Investigation and Design at the Center¹, 2012)

Lavorare con i propri pari, inoltre, aiuta i bambini ad apprendere nuove idee e abilità che non avrebbero appreso per conto proprio. Ritengo che gli insegnanti debbano incoraggiare gli studenti alla collaborazione, all'ascolto, all'apertura e al rispetto delle idee altrui, così come al loro utilizzo e a fare domande per avere ulteriori informazioni.

Restituire agli studenti l'opportunità di fare delle scelte per conto proprio, aiuta ad acquisire un senso di competenza, ma dinanzi a troppe scelte e con poche conoscenze possono sentirsi sopraffatti; gli insegnanti, per questo, dovrebbero essere attenti a strutturare gli ambienti di apprendimento.

Qual è stato, invece, il ruolo dell'insegnante nel coinvolgere gli studenti nell'indagine e nella progettazione? Sicuramente insegnare vuol dire organizzare le lezioni in modo tale da consentire agli studenti di apprendere e non dare semplicemente loro delle informazioni. Gli insegnanti dovrebbero, secondo me, selezionare fenomeni e sfide interessanti, agevolare le connessioni tra idee di base e concetti trasversali, comunicare le aspettative sull'utilizzo di dati ed evidenze, dare agli studenti la possibilità di comunicare i propri ragionamenti, far sì che le classi siano rispettose, accoglienti e inclusive ed evidenziare collegamenti tra argomenti, moduli e corsi. Coinvolgere gli studenti nell'indagine scientifica e nella progettazione e valorizzare e coltivare la curiosità degli studenti sui fenomeni che li circondano. In tal modo l'insegnante si pone come una guida per gli studenti ad "usare" la scienza come processo per ottenere conoscenze supportate da prove.

Sono inoltre dell'idea che gli spazi per fare scienza a scuola dovrebbero essere flessibili, ideali per permettere di realizzare il modello didattico tridimensionale che mette lo studente al centro. Bisognerebbe costruire nuovi spazi o rinnovare quelli esistenti, predisporre dei laboratori aperti agli studenti con materiale a disposizione di tutti per fornire agli studenti esperienze di apprendimento scientifico e ingegneristico di qualità. Gli studenti dovrebbero lavorare in piccoli gruppi e dedicarsi a progetti di ingegneria e a

indagini scientifiche e necessitano, quindi, di uno spazio dove poter accedere alle attrezzature di cui hanno bisogno, quando ne hanno bisogno.

In questa prospettiva, uno degli aspetti più significativi che emerge dal presente lavoro riguarda il valore delle esperienze personali dell'insegnante all'interno della pratica educativa. Le passioni, le competenze artistiche, sportive o corporee maturate nel corso della propria vita possono diventare strumenti preziosi per osservare, arricchire, interpretare e costruire esperienze didattiche differenti. Uno sguardo abituato al movimento, al ritmo, alla musicalità o all'espressione corporea in generale riesce spesso a cogliere aspetti che rimangono invisibili in una didattica esclusivamente teorica. L'insegnante può imparare a utilizzare la propria voce non soltanto come mezzo per spiegare, ma come vero strumento espressivo: leggere una poesia rispettandone pause e silenzi, accentuarne il ritmo, recitare o cantare permette di rendere percepibili concetti legati al tempo, alla durata, alla vibrazione, all'intensità e alla presenza. Allo stesso modo, l'attenzione al gesto, al respiro, al movimento nello spazio o alle posture corporee può offrire nuove possibilità di accesso alla comprensione dei fenomeni scientifici. Ciò che questa ricerca propone, quindi, è anche un invito a riconoscere il valore della propria sensibilità personale nella costruzione della relazione educativa. Non esiste un unico modo di insegnare la scienza: ogni insegnante porta con sé esperienze, linguaggi e modalità percettive che possono trasformarsi in occasioni autentiche di apprendimento e di scoperta condivisa.

5 Bibliografia

(s.d.). Tratto da Enciclopedia Treccani:

https://www.treccani.it/enciclopedia/enattivismo_%28Lessico-del-XXI-Secolo%29/

(s.d.). Tratto da MCE Movimento di cooperazione educativa: <https://www.mce-fimem.it/ricerca-didattica-mce/pedagogia-del-cielo/>

<https://www.vernier.com/product/go-direct-sound-sensor/>. (s.d.). Tratto da vernier.com.

Angela Maltoni scuola, intercultura, plurilinguismo. (s.d.). Tratto da

<https://www.angela-maltoni.com/metodo-naturale/>

Asvaghosa. (1900). *The awakening of Fight*. Chicago: Open Court.

Baggini, J. (2026, marzo 3). *Internazionale*. Tratto da

<https://www.internazionale.it/magazine/julian-baggini/2026/04/02/l-era-della-strumentalizzazione>

- Capra, F. (1975). *Il tao della fisica*. Adelphi.
- Capra, F. (1975). *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism*. Adelphi edizioni.
- Council, N. R. (2000). How people learn: Brain, mind, experience, and school: Expanded edition. *National Academy Press*.
- Damasio, A. (s.d.). *Sentire e conoscere*. Adelphi.
- Gamelli, I. (2011). *Pedagogia del corpo*. Milano: Raffaello editore.
- Hanh, T. N. (s.d.). *Old Path White Clouds*.
- Heisenberg, W. (s.d.). *Physics and Philosophy*.
- Hewitt, P. G. (1990). *Fisica per concetti*. bologna: Zanichelli.
- Kalyani, B. G. (2011). Neurohemodynamic correlates of 'OM' chanting: A pilot functional magnetic resonance imaging study. *International Journal of Yoga nel 2011*.
- Kawakami Y., M. T. (s.d.). *In vivo muscle force behavior during counter-movement exercise in human reveals a significant role for tendon elasticity*.
- Laurillard, D. (2018). *Insegnamento come scienza della progettazione. Costruire modelli pedagogici per apprendere con le tecnologie*.
- Myers, T. W. (2014). *Meridiani miofasciali. tecniche nuove*.
- Nanthakumar, C. (2017). The benefits of yoga in children.
- Ogborn, J. (s.d.). *Scienze e senso comune*. In P. Guidoni & A. M. Mazzoni (a cura di). Napoli: Morano editore.
- Pancini, G. d. (s.d.). Science and Engineering for Grades 6-12: Investigation and Design at the Center1.
- Paola Damiani, V. M. (2021). L'approccio Embodied Cognition based nella formazione docenti. Un modello formativo ricorsivo per le competenze integrate del docente. *Annali online della Didattica e della Formazione Docente, Vol. 13, n. 21, pp. 106-128. ISSN 2038-1034*.
- Paola Damiani, V. M. (s.d.). L'approccio Embodied Cognition based nella formazione docenti Un modello formativo ricorsivo per le competenze integrate del docente.
- Pollan, M. (s.d.). <https://www.internazionale.it/magazine/michael-pollan/2026/04/09/cosa-abbiamo-in-testa>. Tratto da internazionale: <https://www.internazionale.it/magazine/michael-pollan/2026/04/09/cosa-abbiamo-in-testa>
- Schleip, R. (s.d.). Tratto da fascianet.com.
- Schleip, R. (s.d.). *How to Be Vital, Elastic and Dynamic in Everyday Life and Sport*.
- Science and Engineering for Grades 6-12: Investigation and Design at the Center1. (2012).
- Scribano, E. (2015). *Macchine con la mente. Fisiologia e metafisica tra Cartesio e Spinoza*. Carocci.
- Treccani enciclopedia*. (s.d.). Tratto da <https://www.treccani.it/vocabolario/fisica/>
- Turri, M. G. (s.d.). La logica delle emozioni: una teoria che percorre le scoperte neuroscientifiche.
- Turri, M. G. (s.d.). La logica delle emozioni: una teoria che percorre le scoperte neuroscientifiche. *Università di Torino*.
- Asvaghosa. (1900). *The awakening of Fight*. Chicago: Open Court.
- Capra, F. (1975). *The Tao of Physics: An Exploration of the Parallels Between Modern Physics and Eastern Mysticism*. Adelphi edizioni.

- Heisenberg, W. (s.d.). *Physics and Philosophy*.
- Hewitt, P. G. (1990). *Fisica per concetti*. bologna: Zanichelli.
- Kawakami Y., M. T. (s.d.). *In vivo muscle force behavior during counter-movement exercise in human reveals a significant role for tendon elasticity*.
- Myers, T. W. (2014). *Meridiani miofasciali*. tecniche nuove.
- Schleip, R. (s.d.). Tratto da fascianet.com.
- Schleip, R. (s.d.). *How to Be Vital, Elastic and Dynamic in Everyday Life and Sport*.
- Scribano, E. (2015). *Macchine con la mente. Fisiologia e metafisica tra Cartesio e Spinoza*. Carocci.
- Treccani enciclopedia*. (s.d.). Tratto da <https://www.treccani.it/vocabolario/fisica/>