

CAPITOLO 1

Le teorie di riferimento

Modello teorico didattico-metodologico scelto come riferimento

La teoria è un ottimo servitore ma un pessimo padrone.
Proverbio francese

Se si considerano ora i difficili problemi che si presentano all'educatore [...] si deve concludere che l'unica preparazione adeguata alla professione di educatore è un rigoroso apprendistato psicoanalitico
SIGMUND FREUD, Introduzione alla psicoanalisi

I monaci Zen hanno una precisa risposta ad una domanda formulata in modo che una qualsiasi risposta li obblighi ad operare una scelta che non vogliono operare: "*Mu*".

La stessa cosa succede nella meccanica quantistica: una particella interrogata su una sua precisa proprietà risponde operando una scelta la quale tuttavia *non* è una risposta effettiva su quale era il suo stato nel momento in cui le è stata posta la domanda: nel momento precedente alla domanda infatti la particella viveva in un connubio di stati e, obbligata a farlo, ha scelto di assumerne uno specifico.

Questo è un problema epistemologico legato alla liceità della scissione del *noumeno* in specifiche categorie: necessaria per poter sviluppare conoscenza e analisi ma in se apportatrice di errore.

Nel momento pertanto in cui mi chiedo quale è il mio modello teorico didattico-metodologico di riferimento mentirei se non rispondessi "la mia vita ed in *seconda analisi* la didattica per concetti".

E' ovvio che la domanda è posta in un contesto ben preciso e potrebbe apparire ottuso non rispondere con le categorie previste, tuttavia è proprio nel *non voler rispondere* che trovo la migliore sintesi del mio modello didattico: scegliendo un comportamento pedagogico che mette come soggetto l'*allievo* assumo che sia il *contesto* (sia umano che disciplinare) a impormi delle modalità operative e non io ad imporle ad esso.

Sotto questa prospettiva è assai difficile che il *contesto* mi chieda esplicitamente di operare secondo la *didattica narrativa* piuttosto che la *didattica per ricerca*: sarà mio compito operare una sintesi delle mie conoscenze e costruire una didattica che sarà necessariamente nuova e specifica per quel frangente: se non lo facessi ritengo che farei della teoria un mio padrone piuttosto che un mio servitore.

Volendo quindi avvicinare la mia posizione a un termine convenzionale direi che la didattica adottata è quella che presta una particolare attenzione agli aspetti motivazionali cercando tuttavia un compromesso con gli obiettivi istituzionali dettati dal programma.

Resta quindi la parola *obiettivi* ma soprattutto l'attenzione agli aspetti psicologici e al clima relazionale che viene creandosi in aula, spesso trascurato dalle teorizzazioni didattiche.

Dai contenuti ai concetti

Pur comparando il termine *obiettivi* è possibile dare ad esso più significati. Ci si può ad esempio mettere nel vertice del docente che, tramite la sua abilità didattica, riesce a ottenere i risultati precedentemente esplicitati in termini di *conoscenze* e *abilità*, i limiti di questo metodo didattico (che viene coerentemente annoverato nelle *didattiche dei risultati*) è che prevede un arricchimento dell'allievo solo nei termini dell'*avere*: l'allievo *ha* queste conoscenze e *ha* queste capacità. Accertato e certificato. Quanto queste conoscenze e capacità perdurino nel tempo e si integrino con la totalità allievo resta viceversa un punto oscuro della didattica modulare. Le *didattiche per processi* viceversa cercano di costruire su un più ampio respiro: non è tanto ciò che l'allievo detiene in termini di conoscenze e capacità ad essere importante, quanto ciò che nell'acquisirle si è permanentemente modificato in lui: la capacità di apprendere. Il vero obiettivo in questa prospettiva è quello di insegnare all'allievo ad *apprendere* o, dal suo punto di vista, *l'apprendere ad apprendere*. Tale crescita attiene *al processo* e non al risultato, sebbene essa sia foriera di ulteriori successi anche sul piano dei risultati in senso stretto. (Dice un proverbio cinese: "*non dare un pesce all'affamato, insegnali a pescare*").

Se la scuola fosse libera crescita questo metodo sarebbe più che sufficiente ed anzi addirittura il più indicato, nel bene o nel male però la scuola è anche crescita orientata: si vogliono competenze specifiche legate al tipo di scuola frequentato, la scuola ha infatti anche una *funzione economica* che garantisce il funzionamento dell'intera società: essa certifica

competenze e consente il proprio mantenimento proprio mediante la creazione di figure ad essa necessarie per la sua perpetuazione (*funzione sociale*).

Occorre quindi che, a fronte dei processi, permangano comunque dei risultati; le didattiche orientate in tal senso vengono definite *di sintesi* cioè orientate sia ai processi (*essere*) che ai risultati (*avere*). In particolare la *didattica per progetti* ruota intorno alla produzione di un prodotto finito come promotrice di dinamiche che coinvolgano sia i processi che i contenuti ma richiede solitamente tempi lunghi di messa in atto, la *didattica narrativa* lavora molto sulla motivazione innescando processi di identificazione e di partecipazione emotiva attivando vissuti e saperi non prettamente scolastici, ma può talvolta risultare di intralcio se la sua attuazione non viene naturale nel contesto ma è in qualche modo forzata. La *didattica per concetti* infine tiene conto dei processi che portano alla costruzione di conoscenza sia dal punto di vista dell'allievo che da quello della disciplina stessa. In essa è fondamentale che il docente possieda una ottima padronanza della materia che gli consenta di conoscerne i punti cardine (poche idee ma importanti e assolutamente chiare, i concetti appunto), i nodi concettuali intrinseci e tutte le relazioni che consentono di assestare la disciplina mediante l'individuazione e il consolidamento delle sue strutture portanti (rete concettuale).

Caratteristiche epistemologiche della disciplina e contenuti prescelti

Il termine *fisica* deriva probabilmente dal titolo dell'opera "*Physica*" (scienza della natura) scritto da Aristotele (384-322 A.C.). In tale opera il filosofo greco si chiedeva innanzitutto *la ragione* dell'accadere delle cose, oggi viceversa la fisica si occupa unicamente di *descrivere* e *interpretare* (inteso come un descrivere richiamandosi a principi primi comunque sempre e solo osservati ma mai motivati).

Il dominio di osservazione di questa scienza si è inoltre man mano ridotto escludendo settori quali la biologia, la medicina, l'astronomia che sono diventate scienze a se.

Oggi la fisica ha per obiettivo lo studio dei costituenti della materia e delle loro mutue interazioni, semplificando si può dire che si occupa di *materia* ed *energia*, ciò che tuttavia la caratterizza, più che i suoi contenuti, è il suo metodo che viene detto *sperimentale* la cui definizione è dovuta a Galileo Galilei.

A cavallo tra la seconda metà del 1500 e la prima del 1600 questo grande scienziato ruppe la tradizione dogmatica aristotelica che *postulava* una spiegazione a ciò che accadeva in natura,

per introdurre innanzitutto il linguaggio matematico-quantitativo e quindi il metodo sperimentale:

"La filosofia sta scritta in questo grandissimo libro che continuamente ci sta aperto dinanzi agli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere, se prima non si impara a intendere la lingua, e conoscere i caratteri ne' quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi e altre figure geometriche [...]"

La fisica è quindi *metodo sperimentale* e come tale nel suo insegnamento va senz'altro tenuto in primo piano il ruolo del laboratorio e dell'esperimento.

In particolare in questo intervento si è trattata l'ottica fisica che fa parte del tema "Onde meccaniche ed elettromagnetiche" ma che nel corso del programma svolto dalla classe in questione è stato trattato più che altro come completamento dell'argomento *ottica* dopo che era stata presentata l'ottica geometrica.

In particolare la modalità dell'intervento è stata prettamente dimostrativa-sperimentale come verrà più diffusamente illustrato nel progetto.

CAPITOLO 2

Il progetto

Introduzione

La classe presso la quale andava svolto l'intervento didattico era una quinta Liceo Socio-Psico-Pedagogico.

Sia dalle osservazioni sia da quanto riportato dalla docente tutor è apparso subito chiaro che, pur restando fisso l'obiettivo di presentare l'ottica fisica, essendo la classe particolarmente debole e non particolarmente interessata alle materie matematico-scientifiche, si sarebbe dovuta dare una impronta più qualitativa che quantitativa alle lezioni privilegiando cioè più la comprensione dei concetti che non le abilità di formalizzazione simbolica e calcolo numerico.

L'obiettivo è stato quindi, alla luce di queste considerazioni, rivisitato e ridefinito come la presentazione di un esperimento a forte valenza concettuale, possibilmente suggestivo, presentato in maniera completa ma non troppo approfondita.

Un esperimento che si prestava bene in tale senso è stato individuato nella diffrazione alla Young su doppia fenditura.

Tale tipo di esperimento era già stato collaudato dall'insegnante tutor e giudicato particolarmente idoneo al tipo di studentesse in questione.

La realizzazione pratica dell'esperimento presentava essa stessa dei problemi meta-didattici nel senso che non era disponibile la attrezzatura necessaria ma andava costruita ex-novo.

Dopo aver ripetutamente cercato di realizzare la doppia fenditura con varie tecniche (dai tagli sulla carta, al vetro annerito, fino alla stampa su lucido con stampante laser) ho casualmente osservato le proprietà diffrattive di un CD-ROM trasparente e dopo averne analizzate le caratteristiche anche con un confronto con un reticolo di diffrazione di quelli usati in laboratorio presente in un altro istituto, ho proposto di usare frammenti di questo disco per realizzare la diffrazione su reticolo anziché su doppia fenditura, con il vantaggio che si sarebbero potuti distribuire i reticoli così ottenuti in numero quasi uguale a quello delle allieve consentendo una loro maggiore interattività con l'esperimento.

Un altro tipo di problematica che è emersa è stata quella relativa ai pre-requisiti. Ancora prima di avviare uno studio sistematico su di essi, infatti, è apparso chiaro che non avendo la classe ancora affrontato il tema *onde* era necessario includerne almeno gli aspetti essenziali all'interno dell'intervento didattico. Per questo motivo le onde (almeno negli aspetti più elementari) sono divenute parte stessa dell'intervento e per questo motivo non verranno elencate nei prerequisiti ma viceversa negli obiettivi.

Tutto questo ha reso necessaria una limitazione sugli argomenti da trattare infine individuati nei seguenti punti:

Obiettivi

- conoscenza dei principali parametri delle onde
- conoscenza ed applicazione del principio di sovrapposizione
- conoscenza della meccanismo di interferenza nella doppia fenditura e sul reticolo
- conoscenza e comprensione delle linee nodali e dei massimi di interferenza costruttiva
- comprensione della valenza dimostrativa sulla natura ondulatoria della luce nell'esperimento di diffrazione su reticolo.

A tal fine erano necessari i seguenti

Prerequisiti:

- capacità minime di manipolazione algebrica
- elementi di trigonometria (almeno la funzione seno)
- capacità di lettura e di interpretazione dei grafici
- conoscenza delle principali grandezze fisiche e loro unità di misura (posizione, velocità, tempi, frequenze)

Purtroppo alcuni di questi non erano attesi e mentre ad esempio la funzione trigonometrica di seno è stata ampiamente ripresa, la mancanza delle capacità di manipolazione algebrica è stata fortemente limitante sull'esito dell'intervento, come esporrò in seguito però non era possibile pensare di riprendere (in quinta superiore, a marzo) l'argomento.

Considerate le gravissime difficoltà algebriche allora (buona parte della classe aveva seri problemi a esplicitare c data la formula $a=b * c$) ho cercato di impostare tutto il mio intervento sulla base di un linguaggio verbale (fase *retorica* dell'apprendimento dell'algebra) intercalando il minor numero possibile di simboli (giungendo così alla fase *sincopata* che precede quella *simbolica*).

Per dare tuttavia pregnanza al discorso mi sono appoggiato su un cospicuo numero di esperienze/esperimenti che venissero incontro alle allieve fornendo una base *sensibile* al loro apprendere (cioè affidandomi, alla naturale predisposizione dell'uomo ad apprendere da esperienze che coinvolgano i sensi).

Ho cercato quindi di ridurre all'essenziale i contenuti e a trovare un modo di presentarli che fosse il più possibile interattivo. Questo mi ha richiesto molto lavoro perché produrre qualcosa che fosse al tempo stesso intuitivo e rigoroso, con il minimo possibile di formalismo matematico non è stata cosa semplice, anche se devo dire che mi è risultata molto utile anche a livello di comprensione personale.

Tenendo conto che l'intervento doveva durare al massimo una decina di ore di lezione, dopo aver sviluppato la mappa concettuale dell'ottica geometrica mi sono accorto che molte cose andavano semplicemente accennate ed altre addirittura saltate del tutto (del resto dovevo sviluppare anche la parte sui moti periodici e sulle onde):

Ho quindi sintetizzato al massimo e mi sono chiesto cosa era assolutamente indispensabile sapere ed il modo per comunicarlo elaborando il seguente percorso didattico:

1) Introduzione ai moti periodici illustrati come premessa necessaria (insieme alla teoria delle onde) per superare difficoltà intrinseche alla sola ottica geometrica (inspiegabilità del fenomeno della diffrazione).

2) Studio delle onde: fenomeni della propagazione, della riflessione, della sovrapposizione, e delle onde stazionarie in una dimensione.

3) Studio delle onde bidimensionali: linee nodali, interferenze massimamente costruttive ed esperimento dell'ondoscopio con due sorgenti sincrone.

4) Analisi empirica e teorica della geometria dell'esperimento della doppia fenditura e del reticolo

5) Esperimento dello spettroscopio a reticolo (calcolo del passo del reticolo e delle posizioni dei massimi di interferenza).

6) Ripasso di quanto visto con l'ausilio di Applet

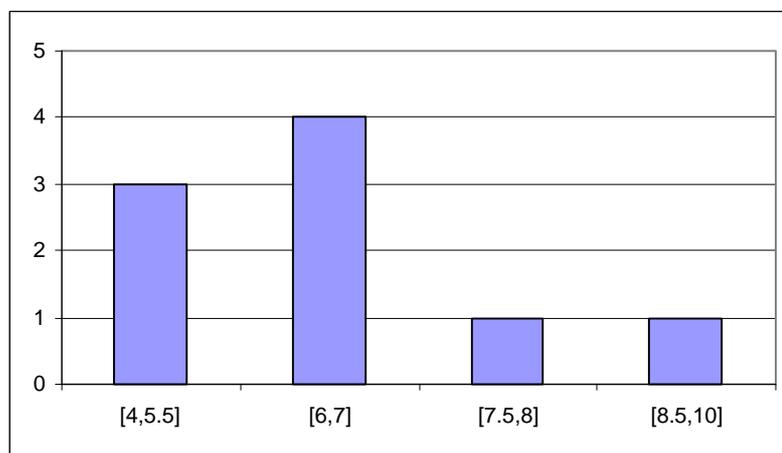
7) Verifica scritta dell'apprendimento

La verifica

La verifica al termine dell'intervento didattico aveva lo scopo di valutare l'apprendimento dei principali caratteri dell'onda, del principio di sovrapposizione, delle ragioni della esistenza delle linee nodali in due sorgenti sincrone vicine, della formula dei massimi di interferenza e (più discorsivamente) dell'idea di onda come perturbazione e trasporto di energia nonché dei motivi di conferma dell'ipotesi ondulatoria della luce in seguito all'esperimento della diffrazione su reticolo.

Il testo segue i risultati qui esposti

	Letture dei parametri dell'onda sinusoidale dal suo grafico	T(v), $\alpha(v)$	Sovrapp.	Linee nodali	Calcolo $\lambda(x)$	Descrizione onda	Significato esperimento	Voto (+3) appross. semi-int. superiore
	1: corretta A e λ 0.75: errate un. mis. 0.5: una risp. errata 0.25: una risp. (err. un.mis.) 0 due risp. errate o nulla	1: risposte corrette 0.75: errate un. mis. 0.5: una risp. errata 0.25: una risp. (err. un.mis.) 0 due risp. errate o nulla	1: risp. corrette 0.5: una risp. 0: nulla	1: corrette 0.5: parziale 0: nulla	1: corrette 0.75: err. in un. mis. 0.5: incompleta 0: nulla	1: esauriente 0.5: incompleta 0: nulla o gravi errori	1: esauriente 0.5: confuso 0.25: circa nullo 0: nulla	
A1	0,5	0,75	1	0,5	0,75	1	0	7,5
A2	0,5	0	1	1	0	1	0	6,5
A3	0,25	0,25	0,5	0	0	1	0,25	5,5
A4	1	1	1	1	1	1	1	10
A5	0,25	0	1	0,5	0,75	1	0	6,5
A6	0,5	0	1	0	0	1	0,25	6
A7	0,5	0	0	0	0	1	0	4,5
A8	0,5	0	0,5	0	0,5	1	0	5,5
A9	0,75	0,5	0,5	1	0	1	0	7



Considerazioni sulla verifica:

Purtroppo una buona parte della classe non si è presentata il giorno della verifica e pertanto i risultati sono solo parzialmente significativi.

La parte discorsiva sull'idea di onda è stata complessivamente afferrata anche se solo nei termini di perturbazione che si propaga nello spazio con trasporto di energia ma senza trasporto di materia.

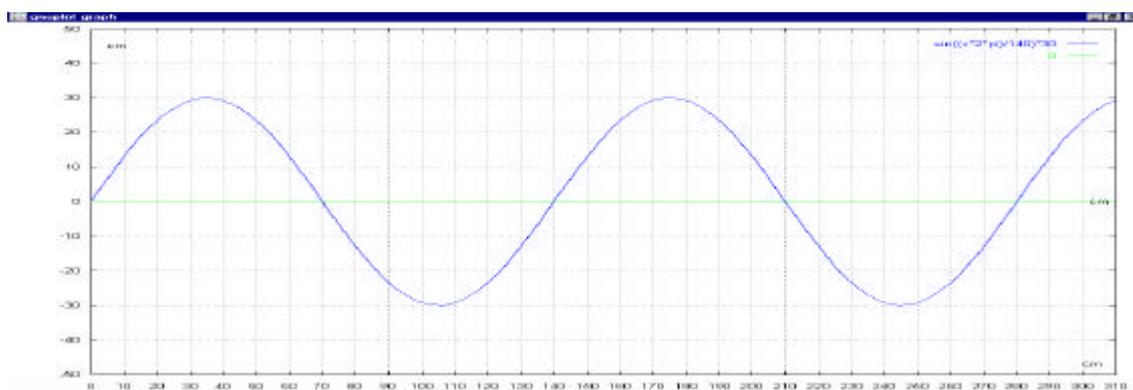
Viceversa i parametri dell'onda (lunghezza d'onda, periodo, frequenza, ampiezza) sono stati compresi solo da poco più della metà delle allieve presenti e una parte ancora minore è riuscita a usare sensatamente le relazioni che li legano.

Il principio di sovrapposizione e la formula dei massimi di interferenza costruttiva è stato anch'esso pienamente compreso solo da metà delle allieve presenti.

La giustificazione dell'esperimento (la conferma del modello ondulatorio) infine è stata compresa unicamente da una allieva, mentre altre due hanno sostanzialmente confuso il comportamento del reticolo con quello del prisma.

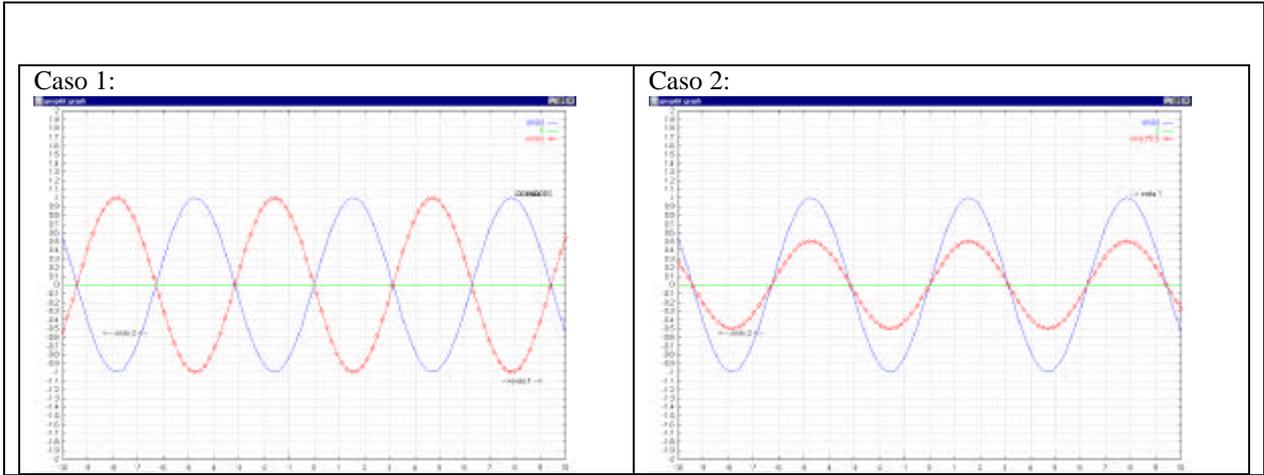
VERIFICA DI FISICA

1) Dire quanto valgono la lunghezza d'onda λ e la ampiezza A dell'onda rappresentata in figura.

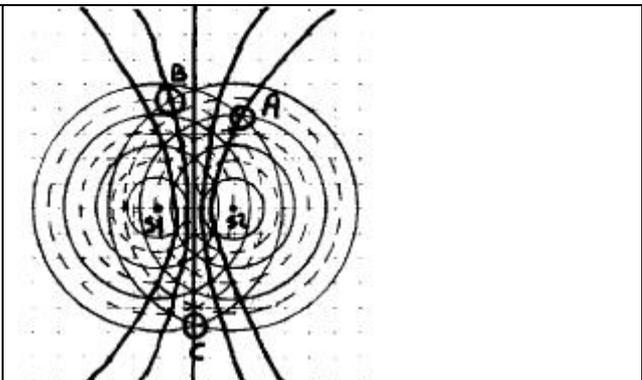


2) Sapendo che essa si propaga ad una velocità di 20 cm/s dire quale è il suo periodo e la sua frequenza.

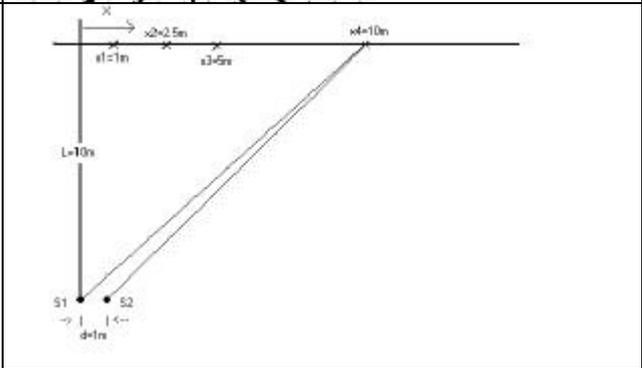
3) Due onde marine di uguale lunghezza d'onda si incontrano, in un certo istante, in un tratto di mare, provenendo da direzioni opposte: rappresentare l'onda risultante nel caso 1 e nel caso 2.



4) Considerando che le linee continue rappresentano le creste delle onde e le linee tratteggiate le valli, indicare, per i punti A,B,C, quanto vale la differenza di distanza dalle sorgenti S1 e S2 in termini di lunghezza d'onda.



5) Le sorgenti luminose S1 e S2 emettono onde di lunghezza d'onda sconosciuta. Tuttavia si osserva che i primi massimi di interferenza costruttiva sono situati in $x_1=1\text{m}$; $x_2=2.5\text{ m}$; $x_3=5\text{m}$; $x_4=10\text{ m}$:
 Determinare le 4 lunghezze d'onda $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$



6) Descrivere, con parole proprie, che cosa è un'onda

7) Spiegare in che senso il modello ondulatorio della luce viene confermato dall'esperimento del reticolo visto in classe.

CAPITOLO 3

Analisi del processo

Introduzione ai moti periodici

Richiamando quanto già visto dalla classe nell'ambito dell'ottica geometrica ho presentato l'incongruenza di quanto appreso con un fenomeno che in essa non trova spiegazione: ho fatto accostare due dita, per lungo ed invitato ad osservare le figure di diffrazione che si ottengono guardando la luce (le linee scure parallele alla fessura):



Figura di diffrazione non spiegabile con l'ottica geometrica

Ho quindi evidenziato che pur restando valido il modello per tutte le situazioni già esaminate (specchi, lenti, prismi) tale modello non è adesso più sufficiente.

Occorre allora elaborare il modello, tuttavia, a tal fine ci occorre un nuovo *strumento*, sarebbe infatti possibile darne una interpretazione se conoscessimo una determinata parte della fisica: le onde, per questo motivo ho premesso che avremmo cominciato lo studio delle *onde*.

Sottolineando il fatto che al momento tale concetto è relativamente nuovo (se ne possiede solo una nozione *ingenua*) ho fatto presente che esso necessita a sua volta di un'ulteriore conoscenza: *i moti periodici*.

Quindi nel complesso ho prospettato il percorso che avremmo seguito come necessario per conseguire un fine: capire fenomeni ottici che attualmente non comprendiamo.

In considerazione del fatto che una conoscenza *costruita* più che presentata trova il modo di agganciarsi e strutturarsi solidamente con le conoscenze pregresse ho invitato le allieve a descrivere il moto di un pendolo portato in aula ed esse stesse sono arrivate al concetto di periodo, quindi frequenza, e di ampiezza.

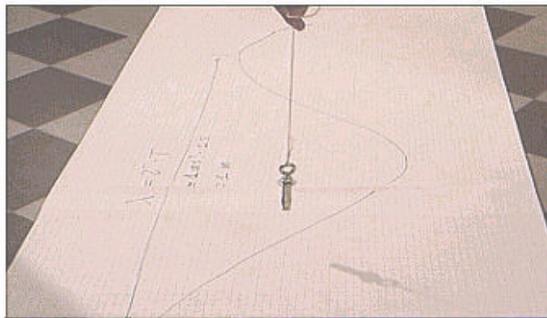
E' quindi stata presentata la relazione matematica tra periodo e frequenza e si sono consegnati dei pendoli di varie lunghezze, realizzati con materiale povero in modo da averne uno ogni quattro-cinque allieve.

Ogni gruppo ha quindi misurato i periodi e calcolato la frequenza del pendolo assegnato. Ho inoltre chiesto di dare una stima della ampiezza della oscillazione.

Fissati quindi questi concetti ho presentato quelli di lunghezza d'onda e di velocità di propagazione.

A tal fine ho usato un modello che era quello costituito da un pendolo portato ad uno stato di moto rettilineo uniforme da una allieva che si muoveva ad una certa velocità tenendolo sollevato sopra un foglio di carta molto lungo.

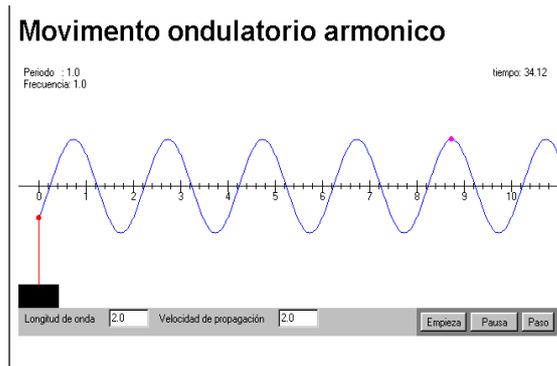
Ho quindi invitato le allieve a visualizzare e poi disegnare la traccia che la massa stava tracciando nel suo muoversi.



Esperienza per individuare la relazione $\lambda = v T$

Tale esperienza ha contemporaneamente permesso di fissare le corrette relazioni con velocità di propagazione e periodo che sono comunque state presentate in forma algebrica alla lavagna.

Ho quindi lasciato liberamente elaborare le nozioni apprese mediante una simulazione su computer che visualizzava un'onda propagantesi da sinistra verso destra nella quale era possibile modificare la velocità di propagazione e la lunghezza d'onda (il periodo e la frequenza venivano viceversa calcolati in base ai dati impostati):



Applet per lo studio delle caratteristiche dell'onda

Ho quindi assegnato alcuni esercizi riportati in allegato (Allegato 1) nei quali si chiedeva di fare delle ulteriori misure su pendoli fatti in casa e calcolare qualche valore di frequenza, periodo, lunghezza d'onda in base alle altre variabili fornite.

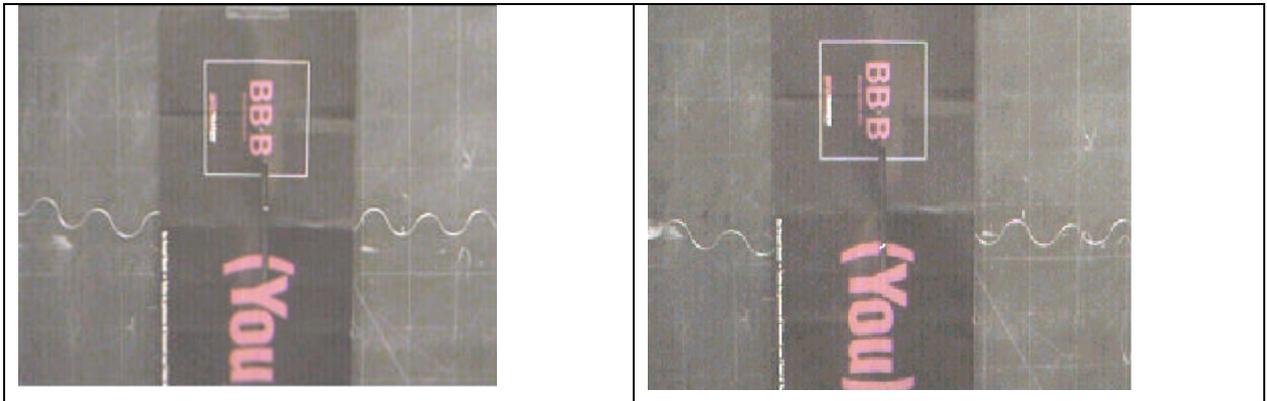
Propagazione, riflessione, sovrapposizione delle onde

Ho a questo punto introdotto il concetto di onda sottolineando il fatto che in essa non c'è trasporto ma solo *perturbazione* della posizione della materia e trasporto di energia. Le relazioni viste sono quindi esatte ma il modello del pendolo che si muove non è corretto per comprendere la natura (il concetto) delle onde. Porto quindi come esempio corretto quello delle onde nel mare dove un galleggiante dimostra che non c'è trasporto di materia ma solo una perturbazione che si propaga.

Per rappresentare l'idea tale idea ho costruito un modellino in fil di ferro mosso in senso parallelo al pavimento lungo il piano della lavagna, esso rappresenta l'altezza dell'acqua del mare in seguito a una perturbazione prodotta ad esempio da un motoscafo: se si osserva un punto preciso del mare si vede che in esso il livello dell'acqua sale (creste) e scende (gole) ma se considero un oggetto galleggiante (nella fattispecie rappresentato con un gessetto) mi accorgo che esso non si muove se non in senso verticale e questo significa che pur muovendosi *l'onda* in realtà non c'è altro movimento dell'acqua che quello locale oscillatorio ma senza trasporto nella direzione dell'onda stessa (altrimenti il gessetto si muoverebbe).

E' chiaro che questa *argomentazione* richiama esperienze di vita reale e non ha altro valore che quello di innestare una associazione garantita unicamente dalle mie affermazioni e dai loro ricordi ma ho confidato che una tale rappresentazione potesse (nel contesto dato) addurre molto

più significato che non una semplice *definizione* o peggio che mai una dimostrazione matematica a loro non accessibile:



La fessura consente di osservare un punto preciso x "del mare" mentre questo viene attraversato da un'onda

Con questo modellino, lunghezza d'onda, velocità di propagazione e ampiezza d'onda assumono un aspetto concreto cui ho la speranza le allieve si riferiscano nel momento in cui tali concetti verranno richiamati.

Per definire meglio il concetto di un'onda che si propaga senza che vi sia un corpo materiale oscillante che viene trascinato (come nel caso visto del pendolo) chiedo di intuire il motivo per il quale l'onda si propaga.

Avverto che questo mio interrogativo, sebbene troppo complesso, suscita l'attenzione delle allieve e questo è un presupposto indispensabile per avviarne la spiegazione (avere cioè in qualche modo costruito una *richiesta di apprendimento* da parte delle allieve stesse).

Propongo allora il seguente modello: chiedo di immaginare una fila di persone che si tengono per mano e congiungono due muri opposti della stanza (quello sinistro e quello destro rispetto alla classe); le ultime due persone sono vincolate ad una maniglia dalla quale non si possono staccare.

Mimo allora la seconda persona dal muro a sinistra che viene allontanata dalla sua posizione di equilibrio, le si allungano le braccia e tende quindi elasticamente a tornare dove era, simulando poi di essere la terza persona da sinistra evidenzio il fatto che anche il mio braccio si è stirato e mentre la reazione elastica fa tornare la seconda al suo posto, io, per reazione, vengo allontanato a mia volta dalla mia posizione di equilibrio, per trovarmi un momento dopo, nella sua condizione. La cosa si ripeterà con la quarta persona etc. provocando la propagazione dell'onda.

Faccio inoltre notare che l'ultima persona non potrà spostare nessuno e sarà tirata dalla reazione elastica del suo stesso braccio proprio dalla parte opposta cui si era spostata: questo farà partire un'onda rovesciata dall'altra parte e spiega il fenomeno della riflessione.

Invito quindi la classe a chiedersi se il modello presentato le appare ragionevole (siamo sempre sul piano della *argomentazione* più che su quello della dimostrazione ma l'intento didattico è quello innanzitutto di suscitare attenzione, quindi far assimilare un concetto in maniera forse non rigorosa ma assolutamente corretta).

Alla risposta affermativa da parte della classe suggerisco di costruire *fisicamente* il modello appena visto e presento un modello della situazione realizzato con delle rondelle di metallo e degli elastici: ogni rondella rappresenta una persona e gli elastici le braccia; se l'interpretazione è corretta dovrà vedersi l'onda che si propaga e che riflettendosi torna indietro.

Questo è quello che accade come si può parzialmente vedere nella immagine di destra.



Due *slinky* artigianali con costanti elastiche diverse

Propagazione dell'onda

Dopo aver spiegato il concetto di sovrapposizione ho interrogato le allieve su cosa sarebbe successo ad una persona immersa nell'acqua se si fossero contemporaneamente presentate due onde, entrambe al loro massimo (cresta) una di due metri e l'altra di uno. Oppure la prima nel suo massimo (che quindi in se avrebbe portato verso l'alto la persona di due metri) e l'altra nel suo minimo (che quindi in se avrebbe portato verso il basso la persona di due metri).

Alla risposta corretta ho recuperato il concetto di riflessione, ed ho chiesto cosa sarebbe successo se, nel momento in cui l'onda nell'elastico stava riflettendosi per tornare indietro, io avessi generato una ulteriore onda dalla stessa parte della prima (e quindi opposta a quella che stava tornando indietro).

Con un po' di indecisione si è arrivati alla conclusione che le due onde si sarebbero incontrate a metà strada ma con fase opposta ed il principio di sovrapposizione (la loro somma) avrebbe fatto sì che l'ampiezza risultante sarebbe stata nulla.

Anche in questo caso abbiamo verificato che le nostre congetture si sono verificate, ho quindi dato un nome a questo fenomeno introducendo il termine *onda stazionaria*: se si forza una corda vincolata ad oscillare con un periodo uguale a quello di attraversamento della corda stessa ci crea un nodo (un punto ad ampiezza nulla) che rimane fermo in mezzo alla corda mentre nelle due rimanenti parti si forma un cresta ed una gola in maniera alternata.

Ho quindi presentato l'onda fondamentale ottenuta sollecitando la corda con un periodo uguale al tempo di andata e ritorno dell'onda stessa lungo la corda ma non ho approfondito ulteriormente il discorso delle armoniche successive.

Con l'ausilio di una molla "Slinky" ho poi visualizzato nuovamente il fenomeno della sovrapposizione (facendo partire due onde in fase oppure in opposizione dai due estremi) ed anche il fenomeno delle onde longitudinali con un accenno al fatto che questa è la natura delle onde acustiche.

Onde bidimensionali: linee nodali, interferenze massimamente costruttive

Ho presentato le onde in due dimensioni riferendomi alla superficie del mare e a due piccole zattere sulle quali ho chiesto di immaginare due "Shrek" (un orco, personaggio di un recente film, ben conosciuto dalle allieve) che saltellano all'unisono. Le due zattere generano delle onde circolari e, a secondo di quanto un bagnante disti dall'una e dell'altra (in termini di lunghezze d'onda), egli si trova ad oscillare di più o di meno a seconda che le due onde arrivino in fase (cresta con cresta) o in opposizione (cresta con gola) o con qualche altra combinazione.

In ausilio a questa spiegazione ho fornito dei lucidi con disegnati dei cerchi (che rappresentano le creste dell'onda) i quali, sovrapposti, evidenziano le zone di massima o minima interferenza; nel giustapporli si nota inoltre l'importanza della distanza tra le due sorgenti nel determinare il numero di linee di massima interferenza costruttiva che si vengono a formare.

Sebbene questo strumento sia risultato molto utile ha presentato il difetto che essendo monocromatico e non avendo io operato una opportuna distinzione tra massimi e minimi (di interferenza) rispetto a massimi e minimi (di livello dell'acqua) si è generata parecchia confusione. Rilevato questo, sotto consiglio della tutor ho in seguito parlato di "creste" e di "gola" nonché di "massimi di interferenza" e "minimi di interferenza" per distinguere i due concetti.

Una discreta quantità di tempo è stata poi spesa per illustrare, gruppo per gruppo, come rilevare i massimi di interferenza (i luoghi dove si incontravano le "creste") e le linee nodali (dove si incontravano "creste" con "gole").

Anche per le onde bidimensionali ho proposto una spiegazione intuitiva del fenomeno della propagazione usando come modello una serie di polipi sulla superficie dell'acqua che si tenevano per i tentacoli: abbassandone uno dalla sua posizione di equilibrio i suoi primi otto vicini si sarebbero a loro volta, per reazione, spostati verso il basso propagando "l'onda" agli otto polipi successivi e così via.

Ondoscopio

Richiamando ancora una volta l'importanza della differenza della distanza (in termini di lunghezze d'onda dalle due sorgenti), questa volta con dei lucidi con cerchi rossi e blu a rappresentare creste e gole dell'onda ho presentato l'esperimento con l'ondoscopio configurato con due sorgenti sincrone ravvicinate. Si sono quindi osservate le linee nodali ed i massimi di interferenza.

In seguito alla curiosità delle allieve ho fatto una breve digressione sugli effetti della luce stroboscopica (sulla quale pensavo di sorvolare) spiegando che essa serviva a congelare la posizione delle onde per rendere più evidente il fenomeno.

Analisi empirica della geometria dell'esperimento di Young

Con l'ausilio di grossi fogli quadrettati ($1 \times 0.7 \text{ m}$) e di opportune fascette trasparenti con puntini rossi e neri a rappresentare creste e gole, ho invitato le allieve a trovare (data una precisa posizione delle due sorgenti) in quali punti, su una linea parallela a quella dove erano disposte le sorgenti e disposta ad una distanza data, si riscontrava una differenza di cammino pari a un numero intero o semintero di lunghezze d'onda.

Questo tipo di attività ha relativamente entusiasmato le ragazze ma soprattutto era costruita con l'intenzione di magnificare come ad ogni punto sullo "schermo" (il bordo superiore del foglio) corrispondeva una certa differenza di cammino e solo in determinati punti questa era uguale ad un numero intero di lunghezze d'onda e quindi costituiva un punto di massima interferenza costruttiva.

In figura si vede il materiale utilizzato per le misure: ogni gruppo aveva un foglio, due fascette trasparenti con lunghezza d'onda già fissata ed un metro; qualcuno aveva anche un goniometro che però serviva solo a rinforzare l'idea che ad ogni punto trovato corrispondeva anche un angolo, cosa che sarebbe comunque stata ripresa nella trattazione teorica.

Si vede inoltre una sorta di "legenda" che serve a rammentare il significato dei puntini sulla fascetta attraverso una fascetta ondulata, anch'essa con puntini neri per le creste e rossi per le valli.



Determinazione empirica dei punti di massima interferenza costruttiva

Analisi teorica della geometria dell'esperimento di Young

In questa lezione sono stati ripresi i concetti visti empiricamente nella precedente e formalizza con una serie di esercizi.

In essi è stata completamente ripresa la nozione trigonometrica di $\sin(\alpha)$ in quanto, come ho avuto modo di constatare, non era ben ricordata dalla maggior parte delle allieve.

L'obiettivo era quindi questa volta non quello di *trovare* ma di *calcolare* la condizione di interferenza in termini di distanza x dall'asse delle due sorgenti ortogonale al piano dello "schermo".

Gli esercizi proposti sono contenuti in allegato (Allegato 2) e consentono di ricostruire passo passo la formula

$$\frac{d \cdot L}{x} = n\lambda$$

con d distanza tra le due sorgenti,

L distanza dello schermo,
x distanza dall'asse delle due sorgenti,
 λ lunghezza d'onda comune alle due sorgenti in fase
n numero d'ordine del massimo

Esperimento della diffrazione su reticolo

Ho brevemente accennato il principio di Huygens per evidenziare il fatto che due punti materiali investiti da un'onda piana si mettono in oscillazione e quindi riemettono onde circolari in fase.

Ho quindi dovuto estendere il discorso da due a n sorgenti, cioè dalla doppia fenditura al reticolo visto come insieme di fenditure: se gli n punti sono distanziati da un *passo* di valore d è allora evidente che se tra i primi due, ponendosi ad un certo angolo, esiste una differenza di cammino pari a un numero intero di lunghezze d'onda, allora anche tra il secondo e il terzo si ripresenta la medesima situazione (avendo il terzo rispetto al secondo la medesima distanza del secondo rispetto al primo) e quindi l'intero *reticolo* si comporta come tante doppie fenditure (sorgenti) che si rafforzano tra loro.

E' stata quindi proposta la seguente ipotesi, "**se la luce fosse una onda a lunghezza d'onda fissa cosa succederebbe nel momento in cui incontrasse un reticolo?**", la risposta è stata raggiunta (con un po' di difficoltà) e da me esplicita in forma corretta, "**dovrebbe avere dei massimi di interferenza in alcuni punti calcolabili secondo la formula della doppia fenditura**".

Viceversa se la luce fosse composta da particelle, semplicemente dovrebbe passare unicamente attraverso le fenditure proiettando sullo schermo una serie di linee luminose e di ombra.

Ho quindi fatto passare la luce di un puntatore laser attraverso un reticolo e si sono osservati tre massimi di interferenza (uno centrale e due laterali) **che hanno confermato che la luce si comporta esattamente come previsto per un'onda.**

Si è quindi proceduto con il calcolo del passo del reticolo partendo dall'ipotesi che la luce rossa del puntatore laser fosse di 660 nm. Tale operazione è stata svolta operando con dei pennarelli su un grande foglio disposto sulla cattedra cercando di delegare il maggior numero possibile di operazioni a diverse allieve in modo da coinvolgerle tutte.

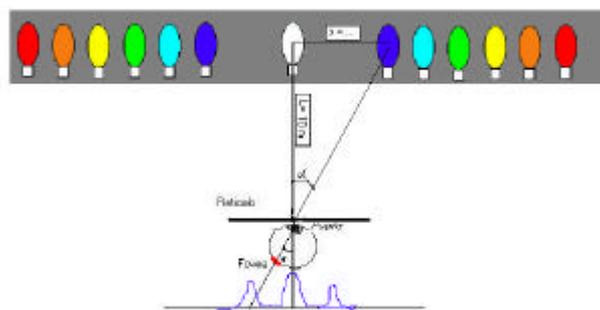


Immagine viste dall'osservatore

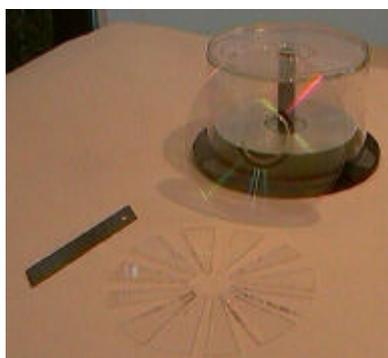
Questo disegno, insieme alla sua spiegazione (un fascicolo di cui già disponevo prima di affrontare il tirocinio) e a come sarebbe stato condotto l'esperimento è stato consegnato ad ogni allieva. (Allegato 3)

La luce composta proveniente dalla lampada a vapori di mercurio fa diffrazione sul reticolo e interferenza costruttiva su alcuni precisi angoli (in base alla sua lunghezza d'onda): a questi angoli viene a cadere sulla retina e l'osservatore ha l'impressione che esista una lampada di quel colore nella posizione determinata dall'angolo α .

Data che i tempi si stavano stringendo si è proceduto prima alla osservazione del fenomeno (utilizzando un puntatore laser ed un metro si sono rilevate e annotate le posizioni x dei massimi di interferenza) e quindi al confronto con un valore teorico (quello della componente indaco), lasciando per esercizio la verifica sui rimanenti.

Anche in questa esperienza si è cercato di coinvolgere quante più allieve possibile.

In particolare, prima di procedere alla misura, ogni allieva ha potuto comodamente osservare il fenomeno in quanto vi era un gran numero di reticoli a disposizione ricavati sezionando particolari CD-ROM trasparenti che si trovano nelle confezioni "Bulk" cioè da 25 o 50 dischi:



Realizzazione "povera" di reticoli di diffrazione

L'immagine osservata attraverso il reticolo è la seguente:



Spettro osservato della lampadina a vapori di mercurio

Ripasso

Si sono riesaminati gli argomenti incontrati durante l'intervento utilizzando delle Applet (Allegato 4) presenti in Internet (che nel frattempo era di nuovo disponibile in laboratorio). In particolare sono state presentate Applet sui parametri delle onde, sulla sovrapposizione e sull'esperimento della doppia fenditura. Inoltre sono stati assegnati gli esercizi presenti in allegato (Allegato 5).

Considerazioni sul processo

Dai risultati della verifica si dovrebbe evincere che l'intervento didattico non sia pienamente riuscito nei suoi i suoi obiettivi (9 persone su 18, cioè metà classe non si è presentata alla verifica e un terzo della parte che si è presentata, che a detta dell'insegnante era quella più preparata, ha conseguito un risultato insufficiente).

D'altro canto è altrettanto vero che si sarebbero potuti probabilmente ottenere risultati più confortanti se si fosse puntato maggiormente a fissare le conoscenze algebriche, ovvero si fossero svolti molti più esercizi, anziché cercare di costruire un discorso continuo, continuamente confortato da esperienze pratiche. Ritengo tuttavia (a dispetto della visione modulare della didattica) che un tale risultato non sarebbe affatto stato permanente e che le conoscenze sviluppate in questo modo sarebbero state presto dimenticate. Viceversa spero che l'aver effettuato misure, l'aver esaminato modelli e il semplice essersi 'incuriositi' possano aver

leggermente spostato la visione della materia in una direzione più 'amichevole' di quanto (e la bassissima confidenza con le formule lo dimostra) non fosse prima dell'intervento.

A titolo di esempio, una allieva quando ha visto che la luce bianca della lampadina si scompondeva in più lampadine colorate ha esordito (dopo 8 ore di lezione in tal senso) con sincero stupore "ma perché succede questo?" : secondo me questo è un piccolo fattore di successo in quanto qualche altra esperienza di questo tipo potrebbe in futuro far anticipare la fase di interrogazione sui fenomeni e coinvolgere nello studio della fisica la ragazza in questione (e con lei molte altre compagne).

Se dovessi pertanto ripetere l'esperienza programmerei probabilmente qualche ora in più di esercitazione sui calcoli (resomi evidentemente conto che non sono state sufficienti) ma cercherei comunque di non togliere troppo spazio alla fase 'sperimentale' che secondo me lavora molto sulla motivazione anche se è poi un grosso problema certificarne un possibile incremento.

Capitolo 4

Competenze professionali esercitate ed apprese nelle proprie esperienze esterne ed interne alla SIS

Le esperienze di tirocinio, sia osservativo che attivo e i due anni di supplenza svolti in contemporanea alla formazione SIS, hanno contribuito, sinergicamente con il mio ruolo di studente, a maturare una serie di consapevolezze.

Prime tra tutte indicherei senz'altro l'attenzione ai processi psicologici e metacognitivi sia dell'allievo che del docente. I primi sono assolutamente rilevanti nel determinare il clima relazionale in aula e quindi a liberare la capacità di pensare dai vincoli legati alle ansie dell'apprendimento e dell'adolescenza. Le seconde sono il punto fondamentale verso il quale dovrà muoversi la didattica negli anni a venire. Non è più infatti possibile, nel mondo di rapidissimi cambiamenti odierno, insegnare un sapere statico fatto di nozioni. Quanto è viceversa indispensabile è condurre l'allievo ad *apprendere ad apprendere*, e questo tipo di competenza si può sviluppare solo rendendo conscio e partecipe dei propri processi cognitivi l'allievo stesso.

In secondo luogo, ma non meno importanti, sono state le revisioni del mio sapere disciplinare relativamente all'uso didattico che ne dovrò fare: sapere individuare le parti veramente essenziali, produrre mappe concettuali e sapere attivare i collegamenti anche interdisciplinari. Le esperienze di tirocinio attivo hanno inoltre sviluppato le mie capacità organizzative in quanto la prassi seguita nello svolgerle rimarrà un modello che non sarà possibile dimenticare. Anche i laboratori sono risultati particolarmente utili, ad esempio nella scoperta delle potenzialità di internet o sulle possibilità offerte dai laboratori di fisica.

Nel complesso ritengo che alla mia professionalità siano state date, oltre che notevoli contributi soprattutto un messaggio di *possibilità* offerte dai saperi didattici, pedagogici, docimologici etc., possibilità che accompagneranno la mia carriera professionale nel senso di una maggiore apertura mentale che impedisca comportamenti che non siano quelli tipici della ricerca-azione cioè un continuo mettersi in discussione, fare delle ipotesi, sviluppare ulteriori competenze e, riassumendo fare del mestiere insegnante anche quello di un ricercatore che apprende continuamente mentre insegna.

Bibliografia

Scienze dell'educazione

Bertagna G. *Avvio alla riflessione pedagogica. Razionalità classica e teoria della educazione*, La Scuola, Brescia (2000)

Blandino G., Granieri B., *La disponibilità ad apprendere*, Cortina Editore Milano (1995)

Blandino G., Granieri B., *Le risorse emotive nella scuola*, Raffaello Cortina Editore Milano (2002)

Enciclopedia Garzanti di Filosofia , Garzanti (1998)

Fischer L., *Lineamenti di sociologia della scuola*, Ed. Libreria Stampatori, Torino, (2001)

Fromm E., *Avere o essere*, trad. it. Mondadori, Milano (1977)

Fisica

Amaldi U., *La fisica per i licei scientifici*, Ed. Zanichelli. (1998)

Fazio M, Montano M, *Fisica 2*, Mondadori Scuola (1995)

Mulligan F., *Fisica 2*, Ed. Cremonese (1993)

PSSC, *Fisica: Guida al laboratorio*, Zanichelli (1975)

Allegato 1

(Esercizi assegnati dopo la prima lezione)

Es. 1) Misurare le varie frequenze e periodi del pendolo a seconda della loro lunghezza:

L	f	T

Es. 2) Muovendosi a 1 , 5, 10 cm/s tracciare il grafico dell'onda sul foglio

Es. 3) Una onda ha velocità di propagazione $V = 340$ m/s. La sua lunghezza d'onda è $\lambda = 1$ m
Quale è la sua frequenza f ?

Ripetere l'esercizio per i seguenti valori di V e λ :

V	λ
2 m/s	2 m
4 m/s	8 m
5 m/s	2 m

Es. 4) Una onda ha frequenza $f = 10$ Hz (cioè s^{-1}) e velocità di propagazione $V = 10$ m/s.
Quale è la sua lunghezza d'onda λ ?

Ripetere l'esercizio per i seguenti valori di f e V :

f	V
20 Hz	5 m/s
16 Hz	4 m/s
100 Hz	10 m/s

Es. 5) Una onda ha velocità di propagazione $V = 340$ m/s. Il suo periodo è $T = 1$ s
Quale è la sua lunghezza d'onda λ ?
Quale è la sua frequenza f ?

Ripetere l'esercizio per i seguenti valori di V e T :

V	T
200 m/s	2 s
400 m/s	10 s
50 m/s	5 s

Allegato 2

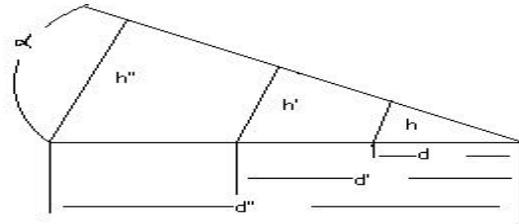
(Esercizi svolti a lezione per spiegare la diffrazione da reticolo)

1) Calcolare (in metri) la lunghezza d'onda di alcune onde che si propagano alla velocità $v=3 \cdot 10^8$ m/s e hanno le seguenti frequenze:

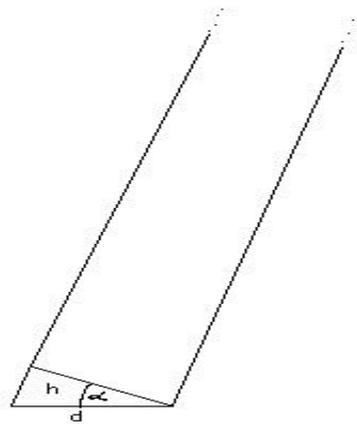
$f_r=4.41 \cdot 10^{14}$ Hz;
 $f_a=5.00 \cdot 10^{14}$ Hz ;
 $f_g= 5.41 \cdot 10^{14}$ Hz ;
 $f_e=6.06 \cdot 10^{14}$ Hz ;
 $f_z=6.67 \cdot 10^{14}$ Hz ;
 $f_v= 7.41 \cdot 10^{14}$ Hz ;

2) Disegnare un angolo con il righello, poi tracciare alcune perpendicolare alla semiretta superiore:

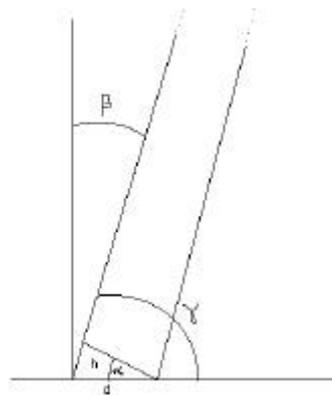
verificare che $h/d=h'/d'=h''/d''$ (a meno di errori di misura) e che $h/d=h'/d'=h''/d''= \sin \alpha$ misurare α con il goniometro e calcolare $\sin \alpha$ con la calcolatrice.



3) Calcolare h supponendo di conoscere α e d :



4) A) calcolare il valore di γ in funzione di β ; B) Calcolare il valore di α in funzione di β .

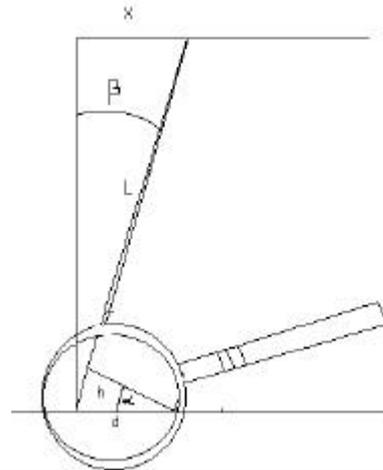


(continua: Esercizi svolti a lezione per spiegare la diffrazione da reticolo)

5)

A) Tenendo presente l'esercizio due, determinare il valore di $\sin \beta$, in funzione di x e di L ;

B) Osservando gli esercizi 3 e 4 determinare il valore di h in funzione di x, L, d



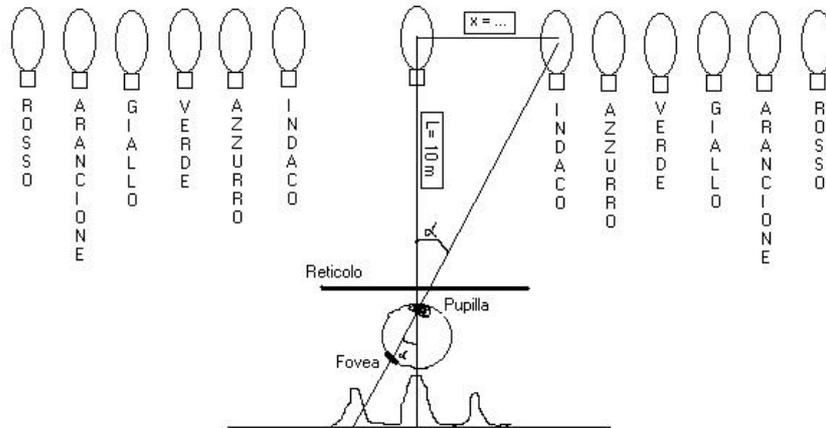
6) Imponendo che h sia uguale a $n\lambda_r$ (per il valore di λ_r si veda il valore di f_r nel primo esercizio e si consideri che la velocità di propagazione della luce vale $v \cong 300.000 \text{ Km/s}$)

Si determini il valore x_r che soddisfa tale condizione (si assuma $L=5 \text{ m}$ e $d=0.5E-6 \text{ m}$).

Si calcolino anche x_a, x_g, x_e, x_z, x_v .

Allegato 3

(Materiale consegnato al momento dell'esperimento)



La misura dell'angolo α è pertanto data da:

$$\sin(\alpha) \cong \frac{x}{L}$$

Laddove la condizione di interferenza massimamente costruttiva per un determinato colore è:

$$d \cdot \sin(\alpha_n^{\text{Colore}}) = n \lambda^{\text{Colore}}$$

Con d passo del reticolo, n ordine del massimo, λ^{Colore} lunghezza d'onda di quel colore.

Primo esercizio: Determinazione accurata del passo del reticolo

Conoscendo le λ^{Colore} e misurando le relative x^{Colore} del massimo di ordine 1 si possono ottenere più misure del passo d :

$$d^{\text{Colore}} = \frac{\lambda^{\text{Colore}}}{\sin(\alpha^{\text{Colore}})} = \frac{\lambda^{\text{Colore}} L}{x^{\text{Colore}}} \quad [1]$$

Mediandole si può fare una stima più precisa del valore esatto d .

In particolare le lunghezze d'onda sono le seguenti:

Colore	λ^{Colore} (nm)
Rosso	680
Arancione	600
Giallo	555
Verde	495
Azzurro	450
Violetto	405

Ricordando la formula [1] si può preparare la tabella con i valori precalcolati di $I^{Colore} L$, esempio ponendo $L=5$ m:

Colore	$I^{Colore} L$	x^{Colore}	d
Rosso			
Arancione			
Giallo			
Verde			
Azzurro			
Violetto			

valore medio di $d=.....$ **mm**

Secondo esercizio:

Determinazione rapida del passo del reticolo

Disponendo di un puntatore laser di colore rosso (lunghezza d'onda $I= 680$ nm), si può calcolare il passo del reticolo usando la formula [1] solo per il colore rosso, ponendosi esempio alla distanza di 0.5 m:

$$d^{Colore} = \frac{I^{Colore}}{\sin(\alpha^{Colore})} \cong \frac{I^{Colore} L}{x^{Colore}} = \frac{660nm * 0.5m}{x^{Colore}} = \dots\dots$$

Tale formula può anche essere migliorata se con Pitagora si calcola

$$L' = \sqrt{L^2 + x^2}$$

e si usa più correttamente :

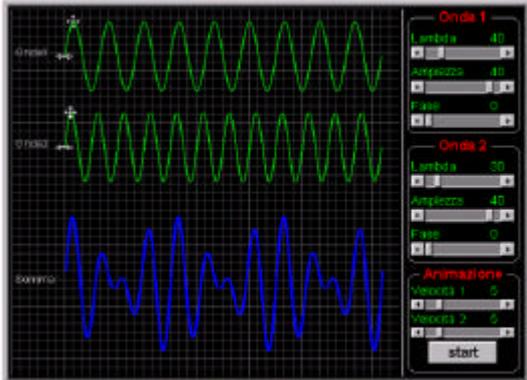
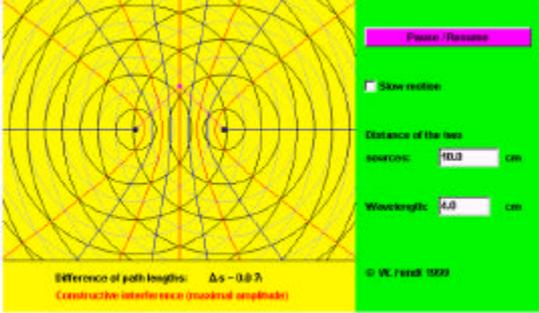
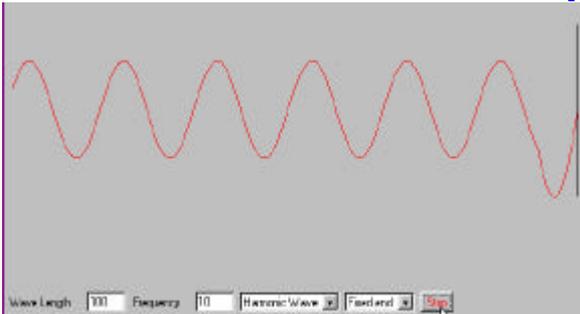
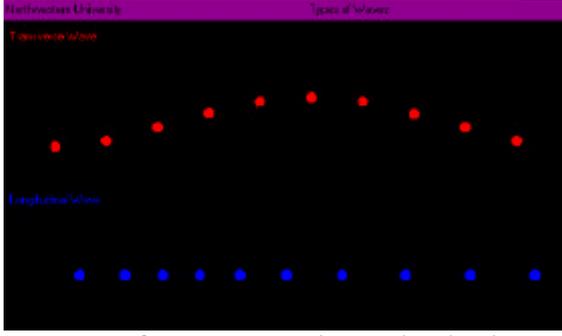
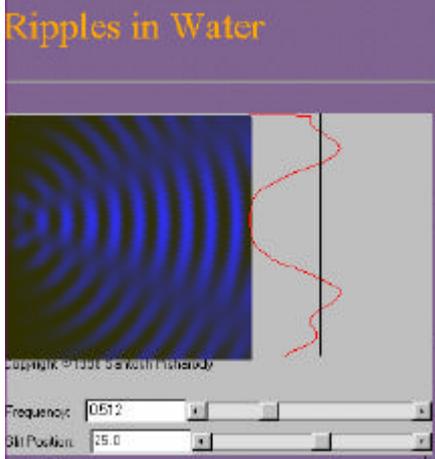
$$d^{Colore} = \frac{I^{Colore}}{\sin(\alpha^{Colore})} = \frac{I^{Colore} L'}{x^{Colore}} = \frac{660nm * \dots m}{x^{Colore}} = \dots\dots$$

Terzo esercizio: ponendosi alla distanza di 4 metri prevedere dove saranno posizionati i massimi del 1° ordine dei vari colori:

Colore	I^{Colore}	$x^{Colore} = 1 \cdot \frac{I^{colore} L}{d}$
Rosso		
Arancione		
Giallo		
Verde		
Azzurro		
Violetto		

Allegato 4

(Applet utilizzate durante il ripasso)

<p>http://ww2.unime.it/dipart/i_fismed/wbt/ita/waveforms_ita.htm</p>  <p>Parametri e sovrapposizione di onde</p>	<p>http://home.a-city.de/walter.fendt/physeng/interference.html</p>  <p>Linee nodali e differenza di cammini in termini di λ</p>
<p>http://www.physics.nwu.edu/ugrad/vpl/waves/wavereflection.htm</p>  <p>Riflessione</p>	<p>http://www.physics.nwu.edu/ugrad/vpl/waves/wavetypes.html</p>  <p>Onde trasversali e longitudinali</p>
<p>http://landau1.phys.virginia.edu/~snp9b/java/Ripple.html</p>  <p>Ondoscopio</p>	<p>http://www.ba.infn.it/motoArmonico.html</p>  <p>Caratteristiche dell'onda</p>

Allegato 5

(Esercizi lasciati a termine dell'ultimo ripasso)

1) Alcuni moti periodici hanno le seguenti frequenze: calcolarne il periodo (indicando le unità di misura):

$f_1 = 10 \text{ Hz}$	$T_1 =$
$f_2 = 0.2 \text{ Hz}$	$T_2 =$
$f_3 = 4 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$	$T_3 =$

2) Alcune onde hanno i seguenti periodi e velocità di propagazione: calcolarne la lunghezza d'onda λ (indicando le unità di misura):

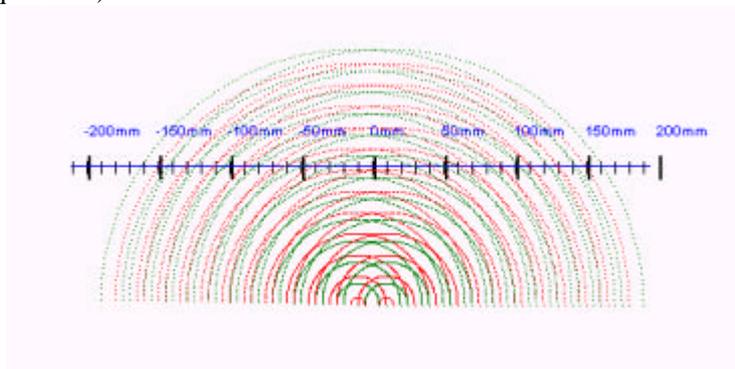
$T_1 = 10 \text{ s}$	$v_1 = 10 \text{ ms}^{-1}$	$\lambda_1 =$
$T_2 = 0.2 \text{ s}$	$v_2 = 2 \text{ ms}^{-1}$	$\lambda_2 =$
$T_3 = 4 \cdot 10^{-14} \text{ s}$	$v_3 = 3.4 \text{ ms}^{-1}$	$\lambda_3 =$

3) Una fila di persone si tengono per mano, la prima e l'ultima persona si tengono a una maniglia fissata al muro: spiegare perché se la seconda persona viene spostata di un metro dalla sua posizione di equilibrio si crea un'onda che si propaga.

4) Due sorgenti di onde S1 e S2 sono rappresentate qui di seguito: considerando che con il verde si indicano le creste e con il rosso le valli, indicare (con una linea) le linee nodali (dove si ha interferenza distruttiva) e (con una linea tratteggiata) le linee dove si ha interferenza massimamente costruttiva.

In particolare si individuino con un cerchietto i punti di interferenza massimamente costruttiva nel piano indicato in blu.

La distanza tra il piano delle sorgenti e quello indicato in blu vale $L = 100 \text{ mm}$; La distanza tra le due sorgenti vale $d = 20 \text{ mm}$; Si calcoli la lunghezza d'onda λ delle due sorgenti basandosi sulla posizione del punto di interferenza massimamente costruttiva a destra delle sorgenti. (Per il calcolo di $\sin \alpha$ si calcoli con Pitagora l'effettiva ipotenusa del triangolo in questione)



5) Considerando l'esercizio 4, si spieghi perché nell'esperimento effettuato in classe, si vedevano più lampadine colorate in posizioni diverse.