Estratto da «La Fisica nella Scuola» - Anno XIII, n. 1 - 1980

EMMA CASTELNUOVO
Scuola Media «Tasso» - Roma
DANIELA GORI GIORGI
Liceo Scientifico «Borromini» Roma
CLAUDIO GORI GIORGI
Istituto di Automatica dell'Università Roma

LE SCIENZE NELLA SCUOLA DELL'OBBLIGO

L'energia solare:

un argomento svolto in terza media nell'anno scolastico 1978-79 (*)

Ci lamentiamo spesso che i nostri allievi, soprattutto quelli dell'obbligo scolastico, passino lunghe ore davanti allo schermo televisivo « assorbendo » immagini forti e fatti violenti; immagini e fatti che li scuotono o, peggio, li lasciano spesso indifferenti tanto ci si sono abituati. Siamo tutti d'accordo per l'effetto nocivo che la trasmissione televisiva può avere sui nostri ragazzi.

Ma, questa volta, devo proprio alla televisione se sono stata condotta a trattare in due III classi della Scuola Media Tasso di Roma un argomento « nuovo »: *l'energia solare.*

Per lunghi mesi, durante l'inverno e la primavera del '79, davanti al problema incombente della crisi energetica, si è dato largo spazio in diverse rubriche televisive all'utilizzazione del calore solare, mostrando apparecchiature di vario tipo realizzate in Italia e all'estero, parlando di molti progetti, fra cui quello, a carattere mondiale, di captare le radiazioni solari aldisopra dell'atmosfera.

I ragazzi hanno cominciato a chiedermi spiegazioni, sollecitati anche dal fatto che un impianto a pannelli solari era stato costruito proprio a Roma sulla terrazza di un liceo scientifico da allievi di 17-18 anni. È così che sono stata costretta a studiare l'argomento e a dedicare poi alla trattazione in classe più di due mesi, un periodo che si faceva sempre più lungo per le discussioni di carattere socio-economico, oltre che strettamente scientifico, a cui dava luogo. Ne riferisco volentieri perché è un esempio di come matematica, fisica, tecnologia possano condurre ad una comprensione profonda su una problematica attuale, suscitando in tutti gli allievi un tale desiderio di sapere e di scoprire da permettere loro, anche ai più deboli, di superare difficoltà non lievi di ragionamento matematico.

Ho sviluppato lo studio su tre argomenti:

1 - pannelli solari piani;
2 - collettori a forma parabolica e cilindro-parabolica;
3 - captazione dell'energia solare aldisopra dell'atmosfera.

Dico subito che riferirò cose ben note; desidero solo mettere in luce la trattazione abbastanza elementare che ho svolto a livello di III media.

1 - Pannelli solari piani

La Fig. 1 riproduce lo schema di una installazione a pannelli piani. Il pannello ha forma di parallelepidedo con misure sui 2 metri per 1,20 e 10 cm di spessore. Questa « scatola » è costruita in materiale isolante, esclusa una faccia, quella esposta al sole che è di vetro. L'inclinazione del pannello varia a seconda della latitudine del luogo; a Roma è sui 50°. Nel pannello è contenuto un radiato-

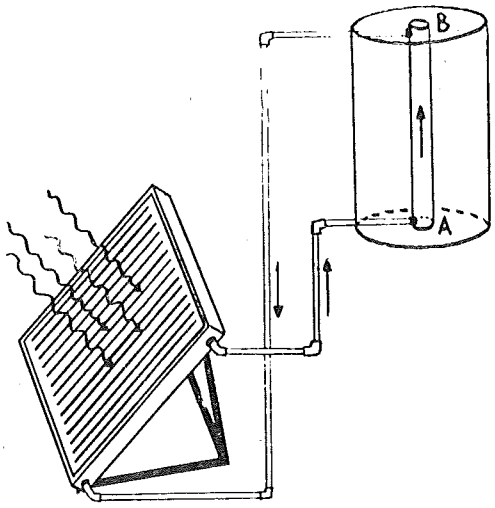


Fig. 1

(*) Relazione tenuta dalla Prof.sa Emma Castelnuovo al Congresso di Rimini il 30 Ottobre 1979. L'argomento è stato oggetto della tesi di laurea di Anna Maria Faggiani che ha seguito le classi della Prof.sa Castelnuovo per tutto l'anno scolastico 1978-79. La tesi è stata discussa presso l'Istituto di Matematica di Roma il 9 Luglio 1979.

re dipinto in nero e collegato, con tubi isolanti, al tubo AB inserito in uno scalda-acqua; radiatore e tubi formano un circuito chiuso in cui circola acqua. Ecco quello che accade: attraverso alla faccia di vetro penetrano le radiazioni solari, ma non quelle infrarosse. L'acqua del radiatore si riscalda ed emette raggi infrarossi che, non potendo attraversare il vetro, restano « imprigionati »: si ha l'effetto serra.

L'acqua contenuta nel radiatore, scaldandosi, sale come è indicato in figura: attraversa il tubo AB e scende per l'altro tubo raggiugendo di nuovo il radiatore. Come ho detto prima, si ha un circuito chiuso.

È chiaro che gli allievi sapevano già qualcosa sui vari modi di propagazione del calore ed hanno perciò potuto seguire senza difficoltà questa parte descrittiva.

È facile anche capire che l'acqua fredda contenuta nello scalda-acqua si riscalda perché il calore passa attraverso la parete del tubo AB, buon conduttore: la quantità di calore che passa è proporzionale alla superficie del tubo.

Si passa ora alla parte matematica: il tubo AB è un cilindro e la sua superficie laterale è data da

$$S_l = 2\pi rh.$$

Dobbiamo cercare di aumentare S_l. Riflettiamo: S_l aumenta se aumenta h o r. Ma h non può aumentare perché il tubo AB è inserito nello scalda-acqua; e: « il raggio — hanno detto i ragazzi — non si può aumentare altrimenti l'acqua in un tubo largo sale lentamente e si raffredda con facilità ». L'intuizione fisica è stata qui di grande aiuto.

Qualcuno ha aggiunto: « se r e h sono fissi anche il volume è costante perché

$$V = \pi r^2 h. »$$

Il problema è allora questo: come aumentare la superficie laterale lasciando fisso il volume. La risposta è stata immediata: « basta mettere più cilindri ». Il clima, in classe, diventava sempre più « caldo ». I ragazzi ricordavano infatti che un mese prima, parlando del cilindro, si era presentato il caso rappresentato in Fig. 2: due cilindri uguali inseriti in uno di raggio doppio. La superficie laterale è la stessa (basta pensare ai cerchi base - Fig. 3) mentre il volume complessivo dei due piccoli è la metà del volume grande. « Ma allora — hanno suggerito — basta mettere quattro cilindri (Fig. 4): il volume sarà uguale e la superficie sarà il doppio! ».

È così, in effetti, che si risolve il problema tecnicamente: a un tubo si sostituisce il cosiddetto *fascio tubiero.*

E se si aumenta ancora il numero dei tubi? Abbiamo studiato vari casi: si scopre che la superficie laterale complessiva è data dalla radice quadrata del numero dei cilindri. Ma si capisce che non conviene aumentare molto il numero dei tubi per difficoltà tecniche e soprattutto economiche.

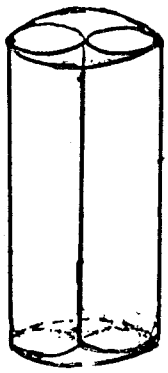


Fig. 2

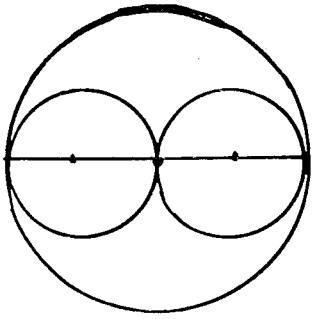


Fig. 3

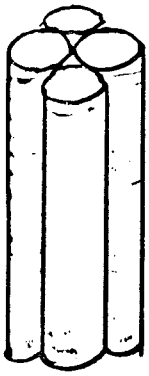


Fig. 4

2 . Collettori a forma parabolica

Già nella I classe, parlando della parabola, avevamo fatto un'esperienza con un vecchio fanale da automobile. L'avevamo esposto al sole e si era osservato che un punto dell'asse (asse realizzato con un bastoncino) diventava particolarmente luminoso: è il *fuoco* del paraboloide (Fig. 5).

Quest'anno, tornando dal Niger (dove avevo lavorato per tre settimane in una scuola) avevo mostrato una fotografia di un grande paraboloide che si trova nel Museo all'aperto della capitale, Niamey. È un paraboloide con superficie riflettente, che funziona da cucina solare: c'è una griglia, a una certa distanza, e cioè alla distanza focale, e lì si ha la massima concentrazione di calore: una bistecca può cuocere in pochi secondi.

Abbiamo rifatto l'esperienza col fanale, e anche con un paraboloide « più aperto », e si è osservato che la posizione del fuoco varia. Un dispositivo «d'artigianato», realizzato con due aste di meccano e del filo elastico mostra la costruzione classica della parabola come inviluppo (Fig. 6); adagiando sulle rette-elastico una lastra metallica molto flessibile, questa si dispone a parabola e mantiene la forma parabolica se, allargando o restringendo l'angolo delle due aste, facciamo sì che rimanga sempre inviluppata dalle rette. Si vede allora, esponendo il dispositivo al sole in modo che i raggi solari siano paralleli all'asse, realizzato con un bastoncino, che il fuoco della parabola si sposta lungo il bastoncino: più la parabola è « aperta » e più questo punto luminoso si allontana dal vertice della parabola.

Qualcuno ha detto: « si può prevedere la posizione del fuoco? ». È questa domanda che mi ha spinto a lavorare con i miei amici: abbiamo trovato una spiegazione abbastanza elementare. Seguiamo la linea che ho trattato in classe: in I media la parabola s'introduce considerando i numeri e i loro quadrati; se x rappresenta un numero e y il suo quadrato si ha che

$$y = x^2.$$

E questa è l'equazione della parabola « numeri e loro quadrati ».

Poi, in II e in III, a proposito di questioni geometriche o fisiche, si arriva alla legge parabolica

$$y = kx^2.$$

Ci si accorge che (Fig. 7):

se $k>1$ la parabola è « più stretta » della $y=x^2$

se $k<1$ la parabola è più larga » della $y = x^2$.

Da una parte, allora, c'è quello che ci dice la matematica; dall'altra, quello che ci aveva

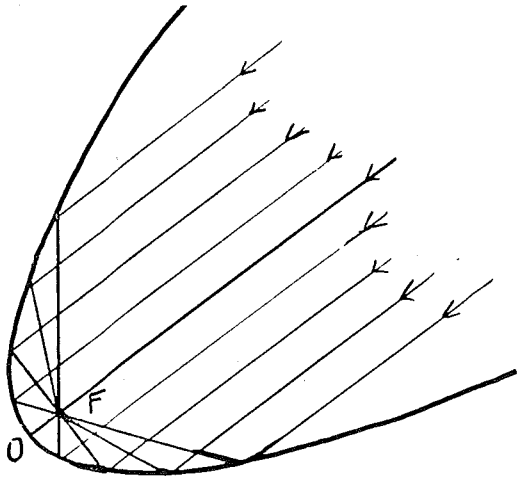


Fig. 5

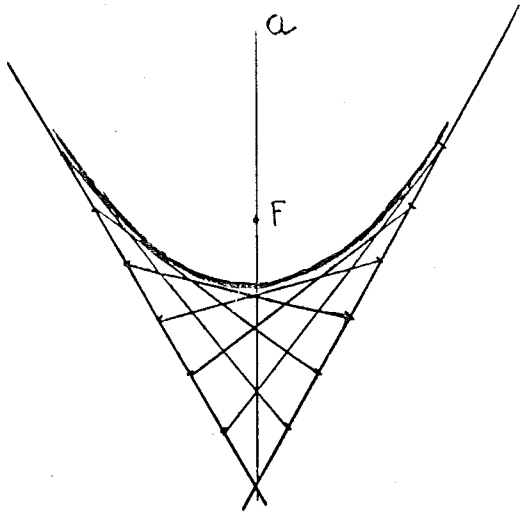


Fig. 6

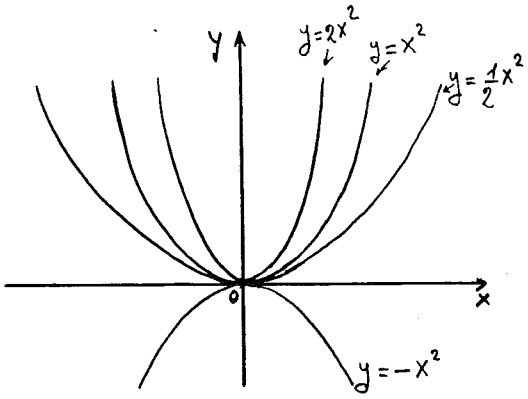


Fig. 7

detto l'esperienza di fisica. Abbiamo riassunto questi dati nello schema:

Matematica	Fisica
$y = kx^2$ se $k=1$ numeri e loro quadrati	l'esperienza mostra che la distanza focale OF cambia in questo modo:
se $k>1$ la parabola è «più stretta»	OF diminuisce se la parabola è « più stretta »
se $k<1$ la parabola è «più larga»	OF aumenta se la parabola è « più larga »

Dunque:

ci deve essere una relazione fra OF e k.

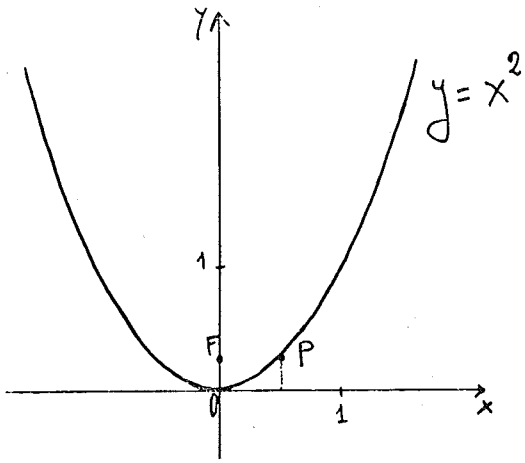


Fig. 8

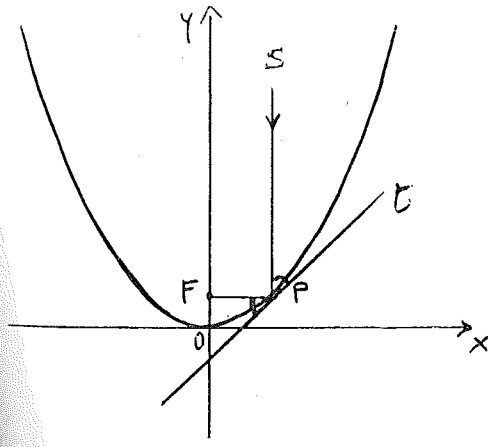


Fig. 9

Per trovare questa relazione disegno la parabola $y = x^2$ (Fig. 8). Indico con F la posizione del fuoco, ma questa posizione non la conosco; so solamente, per esperienza, che F è assai vicino al vertice O. Indico poi un punto P, sulla parabola, che ha la stessa ordinata di F. Il raggio solare SP, parallelo all'asse, dà luogo al raggio riflesso PF, che risulta perpendicolare a SP (Fig. 9).

Se t è la retta tangente alla parabola in P, per la legge della riflessione gli angoli d'incidenza e di riflessione risulteranno in questo caso entrambi uguali a 45°. Ossia la retta t è inclinata a 45° e cioè è parallela alla bisettrice del 1° e del 3° quadrante. La sua equazione sarà

$$y = x - p$$

dove p è l'ordinata del punto d'intersezione della retta con l'asse delle y. Ma un'equazione di questo tipo ci dice che (l'abbiamo verificato in qualche caso numerico):

se x aumenta di 1, anche y aumenta di 1

se x aumenta di 2, anche y aumenta di 2,

....

Questa proprietà dovrà valere anche per la parabola, nell'intorno di P. Scriviamo allora la tabella relativa alla parabola $y = x^2$ fra 0 e 1, e facciamo aumentare x «a sbalzi» di 1/4. Scriviamo i corrispondenti valori di y, e vediamo se esiste « un momento » in cui anche y aumenta « a sbalzi » di 1/4; calcoliamo cioè le differenze Δ fra un valore di y e il precedente. Si ha:

x	y	Δ
0	0	$\frac{1}{16}$
$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{16}$	$\frac{3}{16}$
$\frac{2}{4}$	$\frac{4}{16}$	$\frac{5}{16}$
$\frac{3}{4}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{7}{16}$
1	1	

$$> \rightarrow \frac{4}{16} = \frac{1}{4}$$

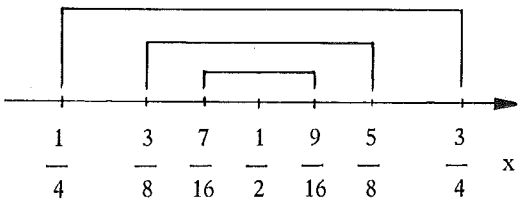
Ci si accorge che « il momento » in cui y aumenta di 1/4 è compreso fra 3/16 e 5/16 e corrisponde quindi a un valore di x compreso fra 1/4 e 3/4.

Adesso, rendiamo più piccoli « gli sbalzi »: andiamo di 1/8 in 1/8. Si ha:

x	y	Δ
$\frac{1}{4} = \frac{2}{8}$	$\frac{4}{64}$	
		$\frac{5}{64}$
$\frac{3}{8}$	$\frac{9}{64}$	
		$\frac{7}{64}$
$\frac{4}{8}$	$\frac{16}{64}$	
		$\frac{9}{64}$
$\frac{5}{8}$	$\frac{25}{64}$	
		$\frac{11}{64}$
$\frac{6}{8}$	$\frac{36}{64}$	

$$\rightarrow \frac{8}{64} = \frac{1}{8}$$

Si vede così che P è un punto della parabola che ha la x compresa fra 1/4 e 3/4, fra 3/8 e 5/8, fra... Viene « imprigionato » il valore $x = 1/2$.



Ma, se $x = 1/2$, dato che $y = x^2$, si avrà $y = 1/4$. Torniamo ora ad osservare la Fig. 9: anche la y di F sarà uguale a 1/4.

Si scopre così che il fuoco della parabola $y = x^2$ si trova, da O, a una distanza uguale a 1/4 dell'unità di misura.

Se la parabola ha l'equazione

$$y = 2x^2,$$

si ottiene $OF = 1/8$.

Se la parabola ha l'equazione

$$y = 1/2\ x^2,$$

si ha $OF = 1/2$.

E, in generale, la parabola di equazione

$$y = kx^2$$

ha la distanza focale data da

$$OF = \frac{1}{4\ k}.$$

Devo dire che, con i ragazzi, non ho trovato la formula generale, perché il ragionamento, anche limitandoci ai casi numerici, era assai sottile. Dovevo spesso richiamare la linea della dimostrazione, il suo spirito, e ancora mi meraviglio come tutti, anche i più deboli, siano riusciti a seguire con enorme interesse: questo è dovuto fuori dubbio alla forte motivazione.

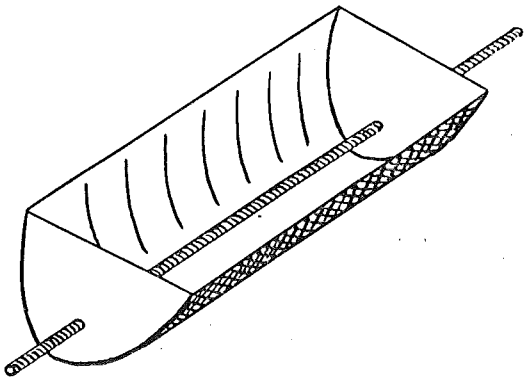


Fig. 10

Non passava giorno che i ragazzi non portassero fotografie o articoli, pubblicati in giornali e riviste, di forni solari già realizzati o in via di realizzazione. Si è parlato anche dei pannelli a forma cilindro-parabolica (Fig. 10) dove, lungo la linea dei fuochi, viene disposto un tubo di vetro, dipinto in nero, in cui scorre l'acqua. A Roma, il tetto di un asilo nido è coperto di questi pannelli. E si è parlato di una variante a questo tipo di pannelli, proposta da alcuni scienziati cinesi: invece del tubo di vetro dipinto in nero si dispone un tubo di vetro normale in cui passa un liquido nero. Tutto questo, il poter avere un'idea degli studi scientifici più recenti in tema di energia solare, creava in classe un clima sempre più eccitante.

Da ultimo, ho svolto l'argomento:

3 - Come captare l'energia solare al di sopra dell'atmosfera

Ho cominciato col mostrare fotografie e disegni di pannelli solari applicati a satelliti (Soyouz e Skylab). Il problema di oggi e di domani non è come captare le radiazioni solari aldisopra dell'atmosfera, ma come trasmettere tale energia sulla terra, perché l'assorbimento dovuto allo strato atmosferico è molto forte.

Ho detto ai ragazzi che avevo letto in un libro (*) che la potenza calorifica che giunge sulla terra è data da una formula del tipo

$$y = \frac{1}{a^x}$$

dove a è un numero maggiore di 1 e dove x dipende dallo spessore di atmosfera attraversato e dalla lunghezza d'onda della radiazione; ho riferito che sono stati fatti degli esperimenti con luci di vari colori. Ma, come

(*) Roger Peyturaux: « L'énergie solaire », Presses Universitaires de France, « Que sais-je? », Paris, 1978.

prima cosa, si trattava di far capire il significato di una legge di quel tipo. Devo dire che già alla fine della 2ª classe avevo introdotto la legge esponenziale a proposito della segmentazione cellulare e che avevo ripreso l'argomento in 3ª a proposito di altri fenomeni.

Per capire la legge $y = \frac{1}{a^x}$ ho cominciato col far immaginare un'esperienza: una bacinella piena d'acqua è esposta al sole (Fig. 11). Le radiazioni solari penetrano nell'acqua e cedendole parte della loro energia diminuiscono di intensità; l'intensità va via via riducendosi, strato dopo strato. Se, per fare un caso semplice, si immagina che ogni strato assorba la metà della potenza che gli arriva, si può scrivere questa tabella, dove ho supposto uguale a 1 la potenza che interessa il pelo dell'acqua:

strato x	potenza y
0	1
1	$\frac{1}{2}$
2	$\frac{1}{4}$
3	$\frac{1}{8}$
.	.
.	.
.	.
x	$y = \frac{1}{2^x}$

La legge è dunque:

$$y = \frac{1}{2^x}.$$

Questa legge è stata resa « più concreta » tracciandone il grafico.

Ma io avrei voluto fare un esperimento effettivo e non solamente « immaginato ». D'altra parte, non è certamente un termometro, inserito a vari livelli della bacinella, che può segnalare delle differenze di temperatura, dato che queste sono lievissime. L'ostacolo è stato superato utilizzando un esposimetro e mettendo così in evidenza non le diverse temperature bensì le diverse quantità di luce. La Fig. 12 mostra la semplice apparecchiatura da disporre al sole: un secchio pieno d'acqua (alto 20 cm) in cui è inserita una riga graduata; alla riga è collegato, per mezzo di

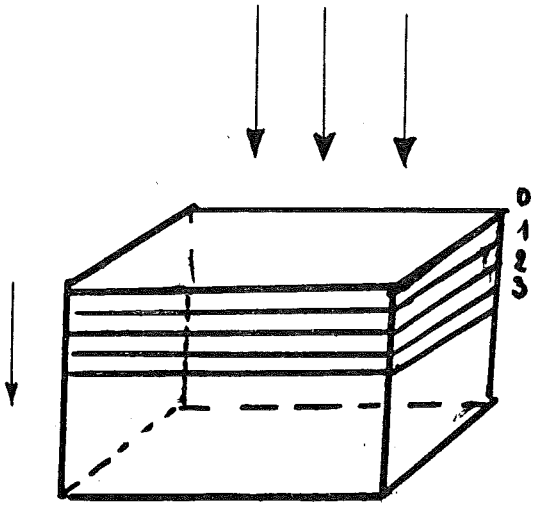


Fig. 11

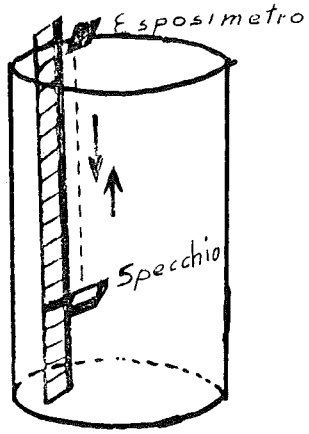


Fig. 12

una molletta da panni, uno specchietto disposto, sempre, parallelamente al fondo del secchio, e spostabile a vari livelli. Sopra al pelo dell'acqua si tiene un esposimetro. Il raggio di luce solare che colpisce lo specchietto dà luogo a un raggio riflesso e la lancetta dell'esposimetro devia più o meno a seconda, appunto, della luce che vi arriva.

Per ottenere variazioni di intensità apprezzabili dallo strumento è stato necessario sciogliere nell'acqua una piccola quantità di detersivo onde aumentare l'assorbimento.

La lettura dell'esposimetro ha dato i risultati seguenti, dove si è indicato con x il doppio della distanza dello specchietto dal pelo dell'acqua e con y la quantità di luce espressa nelle unità dell'esposimetro adoperato

x	y
0	45
5	36
10	30
15	23
20	22
25	15
30	12
35	11
40	9

Per sicurezza, abbiamo ripetuto l'esperimento ed abbiamo avuto qualche risultato leggermente diverso come è indicato in questa tabella:

x	y
0	46
5	38
10	30
15	27
20	22
25	16
30	14
35	11
40	10

Da una tabella di numeri a due colonne è ben difficile avere un'idea del legame fra le due variabili in gioco. Abbiamo allora tradotto in grafico (Fig. 13): risulta abbastanza chiaramente che si tratta di una curva esponenziale.

Siamo tornati, allora, a commentare la legge dell'assorbimento atmosferico. L'energia che giunge sulla terra è data da

$$y = \frac{1}{a^x}$$

dove a è un numero maggiore di 1 e dove, come si è detto, x dipende, oltre che dallo spessore dell'atmosfera, dalla lunghezza d'onda della radiazione. Abbiamo quindi illustrato un avveniristico progetto di utilizzazione dell'energia solare basato su enormi pannelli solari in orbita attorno alla terra che convertono l'energia della radiazione solare in energia elettrica. Per trasmetterla a terra, si dovrà ricorrere ad un fascio di radiazioni che non siano troppo assorbite dalla atmosfera. Dalla legge sull'assorbimento capiamo che sarà favorevole una lunghezza d'onda che renda x il più piccolo possibile. Lo studio della dipendenza di x dalla lunghezza d'onda mostra che è conveniente utilizzare un fascio di microonde. L'energia così convogliata e captata da grandi antenne a terra, sarà di nuovo trasformata in energia elettrica.

Con questi problemi che non sono ancora stati risolti, con questi progetti per il futuro, abbiamo concluso l'argomento dell'energia solare, un argomento che i ragazzi della III A e della III B dell'anno 1978-'79 non potranno facilmente dimenticare.

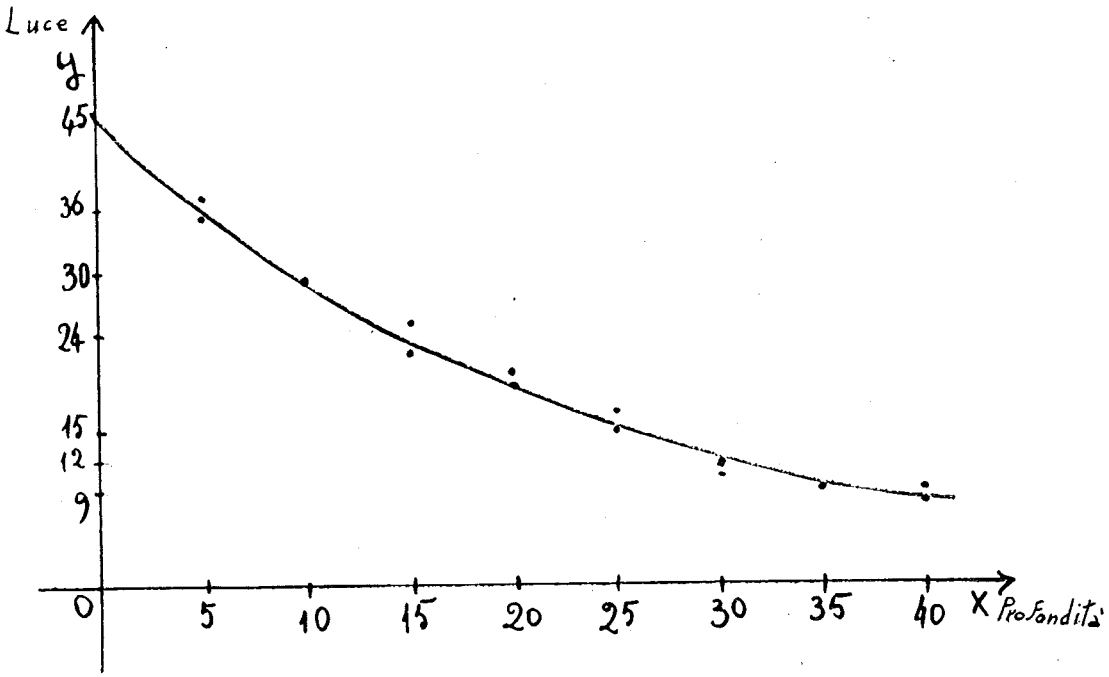


Fig. 13