

Paolo Mascheretti

*Dipartimento di Fisica "A. Volta"
Università degli Studi di Pavia*

Appunti grafici sul tema:

**La correlazione
tra posizione e tempo
nelle onde: dai modelli...
all'utilizzo
da parte degli animali**

A. ONDE & OSCILLAZIONI

Un'onda che si propaga in un mezzo materiale (nell'aria, nell'acqua, nelle rocce, sulla superficie dell'acqua, ecc.) o in un sistema materiale (albero motore, ponte sospeso, ecc.) è una forma di moto collettivo nel quale oscillatori identici, distribuiti uniformemente nello spazio, compiono oscillazioni (attorno a punti di equilibrio) opportunamente sfasate da oscillatore a oscillatore.

Esistono tanti tipi di onde quanti sono i tipi di oscillatori.

Caratteristica importante di un oscillatore è il suo **periodo**, cioè il tempo **T** necessario per compiere una oscillazione completa. La **frequenza** è il numero di oscillazioni compiute in un secondo: $f = 1/T$.

Se tra due oscillatori coinvolti in un'onda, distanti Δx c'è uno sfasamento Δt , la **velocità di propagazione** dell'onda risulta:

$$V = \Delta x / \Delta t.$$

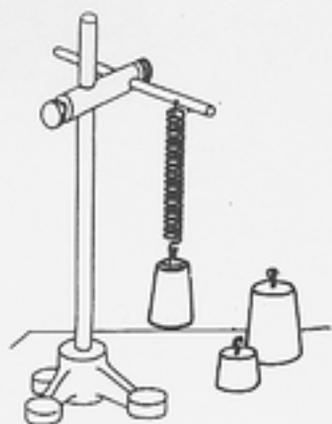
Lo sfasamento pari al periodo di oscillazione T caratterizza due oscillatori che distano tra loro di una **lunghezza d'onda λ** . La velocità di propagazione si può così esprimere come $V = \lambda / T$ (oppure $V = \lambda f$).

Alcuni tipi di oscillatori

1: oscillatori elastici

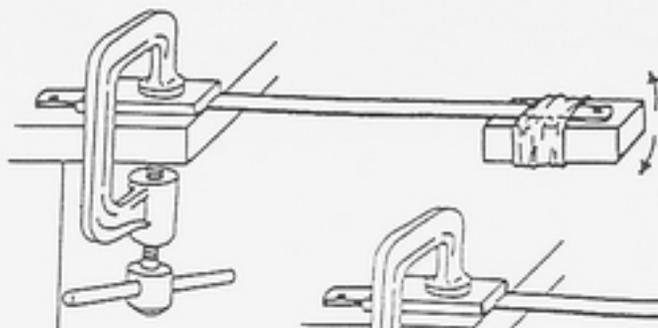
Sono costituiti da sistemi materiali sottoposti a forze di richiamo dovute a molle o altri sistemi elastici; **tanti sono i tipi di molle... tanti sono i tipi di oscillatori:**

a) molla a elica-massa



*aumentando la massa,
la frequenza diminuisce;
aumentando la rigidità della molla,
la frequenza aumenta*

b) molla a lamina di flessione

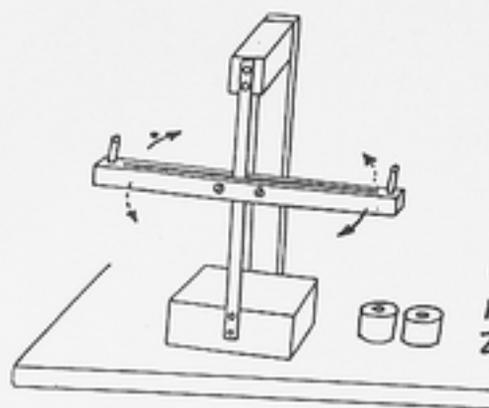


aumentando la massa e/o la lunghezza della molla, la frequenza diminuisce;



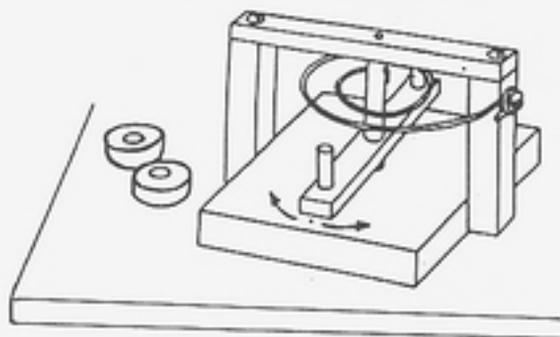
... versione senza massa aggiuntiva: lamine corte vibrano con frequenza elevata...

c) molla a lamina di torsione-braccio con masse aggiuntive



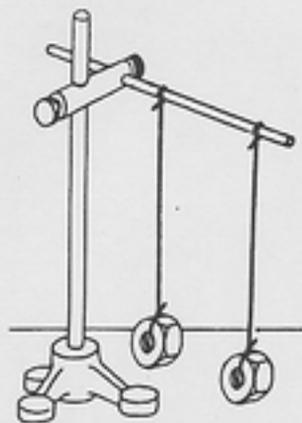
aumentando la massa e/o la lunghezza del braccio oppure il valore delle masse e la loro distanza dalla lamina, si diminuisce la frequenza...

d) molla a spirale-braccio ruotante (si possono aggiungere masse)



masse grandi e/o lontane dall'asse di rotazione provocano la diminuzione della frequenza...

2: anche i pendoli sono oscillatori



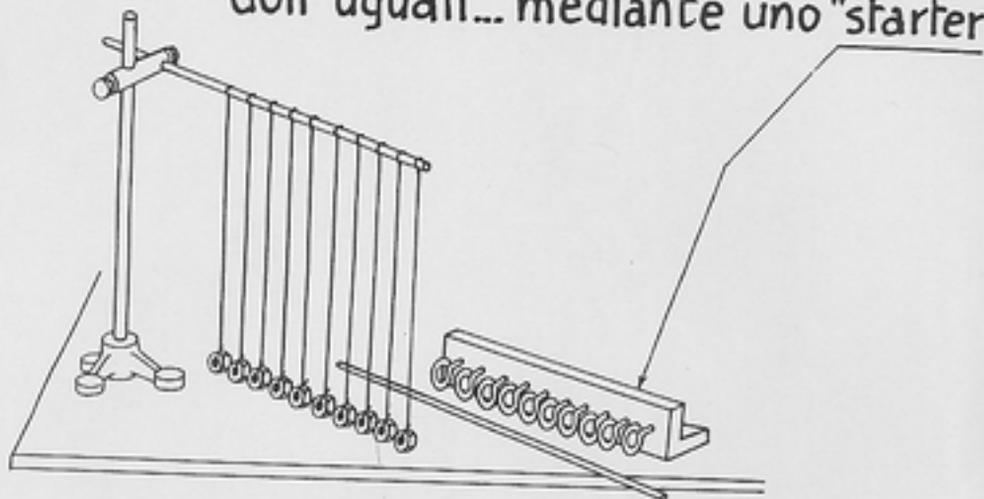
se il filo è abbastanza lungo rispetto alle dimensioni della massa, e le oscillazioni si mantengono di piccola ampiezza, la frequenza di oscillazione dipende solo dalla lunghezza del filo: diminuisce all'aumentare della lunghezza.

(pendoli corti hanno periodo breve; pendoli lunghi oscillano lentamente)

Con due pendoli uguali si studiano facilmente alcuni valori dello sfasamento

Onde: due esempi

a1) ... generare onde in una fila di pendoli uguali... mediante uno "starter"



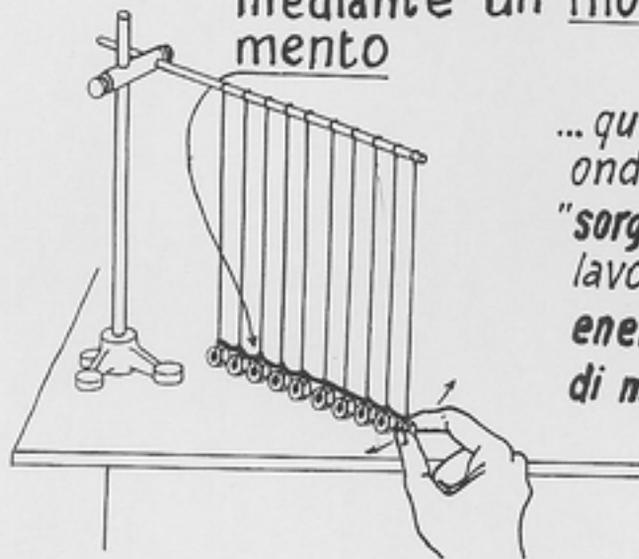
Il moto collettivo di questi pendoli **non** è una vera onda ma costituisce un modello puramente cinematico che realizza la correlazione tra posizione e tempo nelle onde fisiche (... le vere onde!).

Esso, tuttavia, consente di riconoscere che lo spostamento s di ogni pendolo dall'assetto di riposo, come funzione (armonica) della posizione x lungo la fila e del tempo t è del tipo

$$s(x, t) = s_0 \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right)$$

Se i pendoli interagissero (per esempio grazie a un sottile filo che li unisse oppure fossero così vicini da risentire l'azione dell'aria che ognuno di loro muoverebbe) l'onda si genererebbe anche senza lo starter: basterebbe eccitare il primo della fila!....

a2)... generare onde in una fila di pendoli uguali che interagiscono mediante un filo di accoppiamento

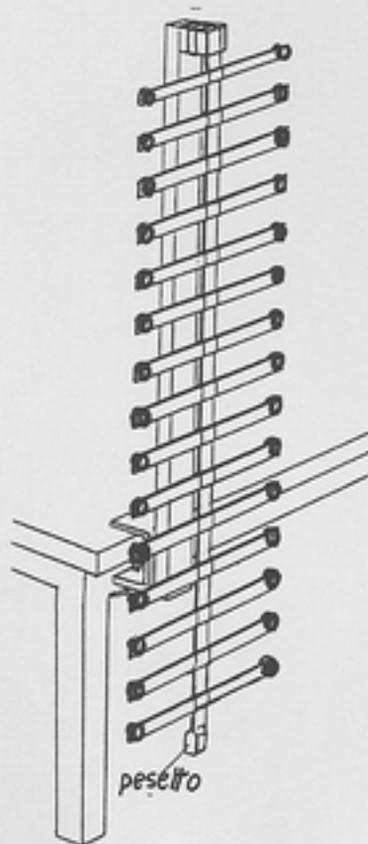


... questa é una vera onda "fisica": ha una "sorgente" (che compie lavoro...), **trasmette energia e quantità di moto...**

I vari tipi di onde dipendono dal particolare tipo di interazione che si stabilisce tra ogni oscillatore e i suoi vicini.

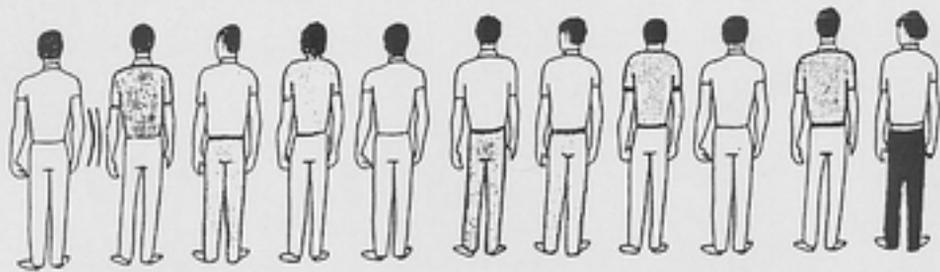
La frequenza dell'onda dipende dalla sorgente (è uguale alla frequenza della sorgente); dal mezzo in cui si propaga l'onda, dipende la velocità di propagazione (e, quindi, la lunghezza d'onda).

b) onde di torsione in una fila di oscillatori con molla a lamina di torsione



..imponendo al braccio inferiore di ruotare di un piccolo angolo attorno alla lamina, si provoca la propagazione di un'onda: l'onda, giunta al supporto superiore (che impedisce la torsione della lamina) si riflette ("torna indietro")

.. un modello "antropomorfo" di onda:
una fila di ragazzi affiancati, pronti per
iniziare una specie di gioco...

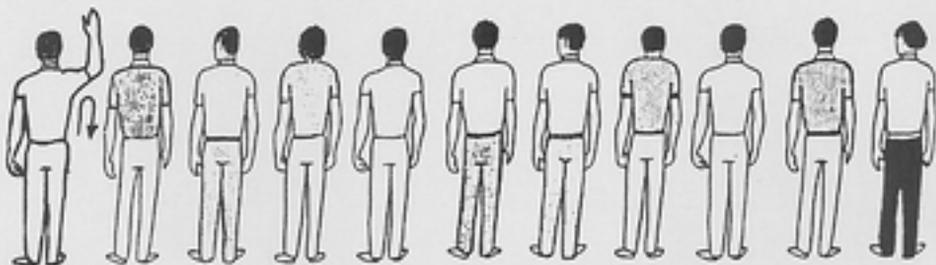


Il gioco inizia quando il primo della fila dà un colpetto sul braccio del compagno che gli sta a destra, poi ritorna nella posizione iniziale, con le braccia distese lungo i fianchi. Il compagno, dopo che ha ricevuto il colpetto, dà a sua volta un colpetto al compagno che gli sta a destra e così, uno alla volta, successivamente fino al termine della fila.

Lungo la fila si è propagato il **gesto** del primo ragazzo, proprio con le modalità con le quali si propagano i movimenti dei componenti coinvolti nella propagazione di un'onda.

Da notare che il gesto è diretto nella stessa direzione della fila, cioè nella stessa direzione di propagazione dell'onda: in questo caso si parla di "onda longitudinale".

Se il movimento è "alzare e abbassare la mano" (come nella figura seguente),



cioè trasversale rispetto alla direzione di propagazione dell'onda, questa si dice "onda trasversale".

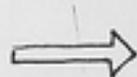
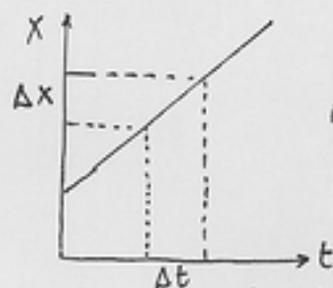
I due esempi precedenti sono onde trasversali.

Onde longitudinali sono quelle che costituiscono il suono (dilatazioni e compressioni) nell'aria o nell'acqua.

"ognuno fa ciò che ha fatto un suo vicino (che lo precede) con un ritardo proporzionale alla distanza"

(La costante di proporzionalità è la "velocità" (V) con cui si propaga "quello che si fa")

- In modo formale: $s(x,t) = s(x+\Delta x, t+\Delta t)$
con $\Delta t = \frac{\Delta x}{V}$ o, anche $\Delta x = V\Delta t$
con V costante;
- Quale relazione tra x e t soddisfa la costanza della velocità di propagazione?



$$x = Vt + \text{costante}$$

$$\boxed{x - Vt = \text{cost}} \quad (\mathbf{a})$$

Dunque; la funzione $s(x,t)$ risulta del tipo:

$$s(x,t) = s(x - Vt)$$

(il valore della costante è definito dalla funzione $s(0,t)$ che caratterizza la sorgente dell'onda, posta in $x=0$)

Se $s(x,t)$ è armonica, tra i possibili valori di Δx e Δt ci sono anche i valori $\Delta x = \lambda$ e $\Delta t = T$:

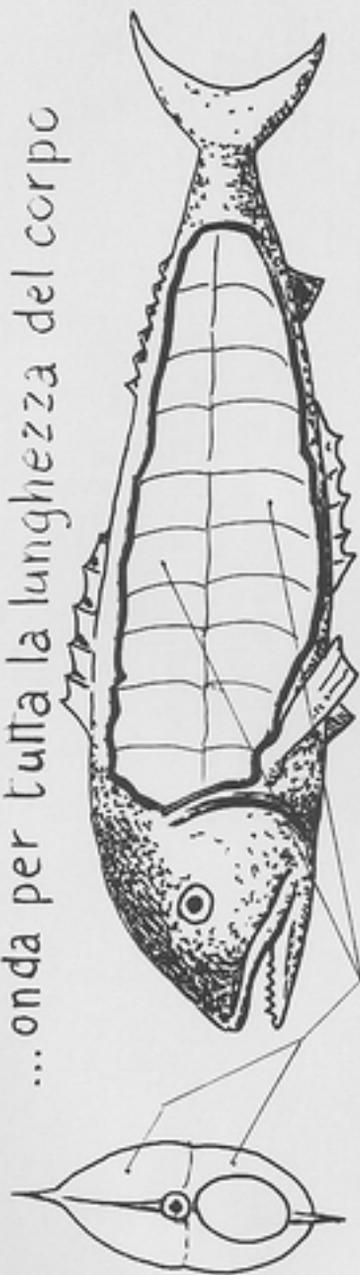
la (a) può così essere scritta: $\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} = 0$,

da cui

$$s(x,t) = s_0 \sin 2\pi \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T} \right)$$

B.ONDE PER MUOVERSI: UN MODO MOLTO DIFFUSO IN TUTTI I TIPI ANIMALI

... onda per tutta la lunghezza del corpo



i principali muscoli motori dei pesci



il nuoto per onde



anguilliforme

tutto il corpo
"ospita" onde:
la pinna caudale
è esigua
(anguilla - murena...)



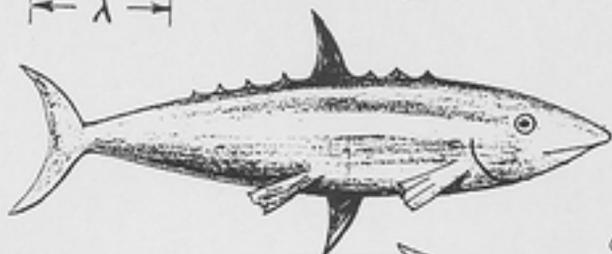
sub-carangiforme

si realizza un'onda
non completa
che coinvolge
soprattutto l'ampia
pinna caudale
(trout...)



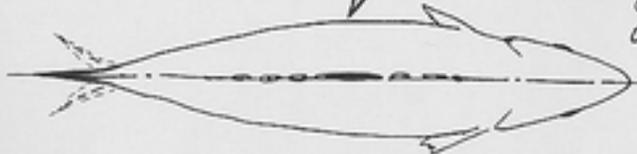
carangiforme

un'onda completa
è realizzata dalla
sola pinna caudale,
ampia e lunga
(pesce pilota...)



tunniforme

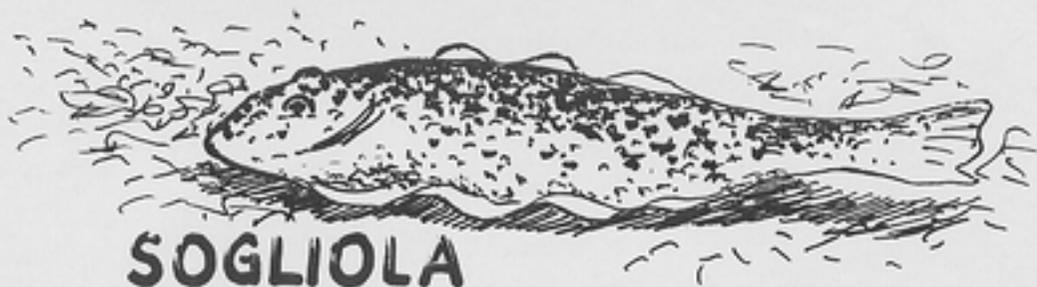
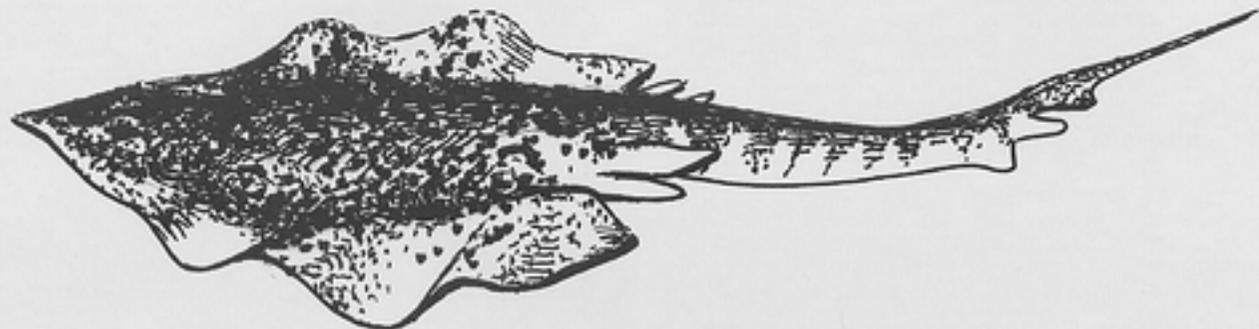
corpo rigido, pinna
caudale falcata e
rigida, con rapido
brandeggio
(tonni, pescespada...)



...vari stili in diverse specie...

... onde lungo pinne a nastro

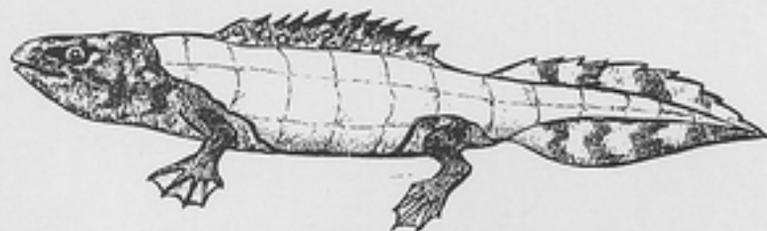
RAZZA



SOGLIOLA

...anfibi e rettili: onde nella coda

TRITONE

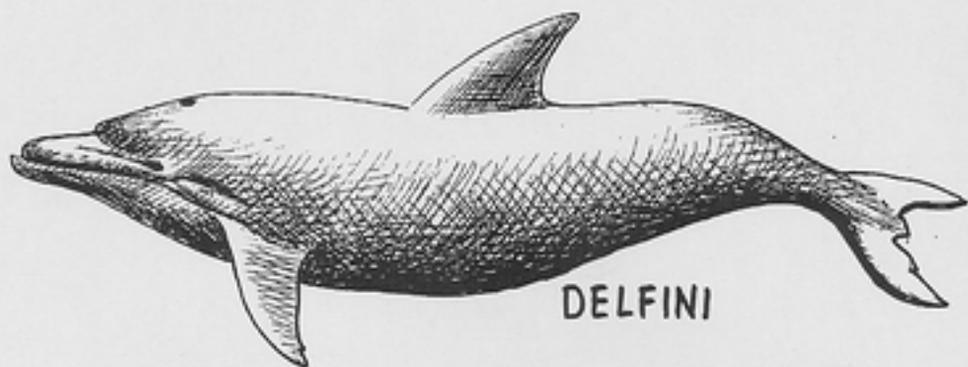


COCCODRILLO



*(da una foto ripresa da un
Subacqueo)*

*onde in mammiferi marini... e in
molluschi cefalopodi...*



DELFINI



LONTRA

... onde lungo nastri laterali



CALAMARO



SEPPIA

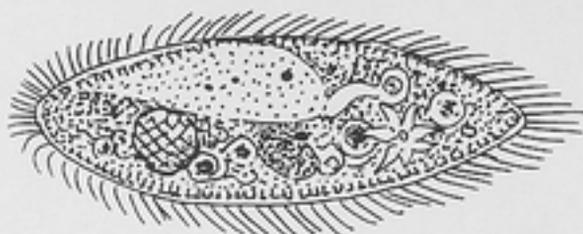
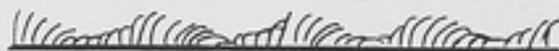
... onde lungo cilia e flagelli...



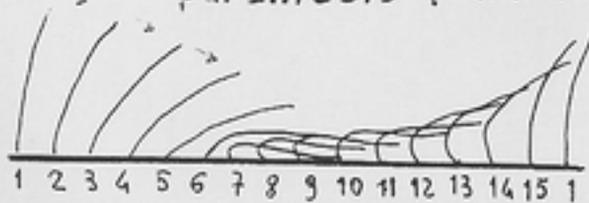
**GAMETOFITI
SPERMATOZOI**

PROTOZOI

onda del battito ciliare

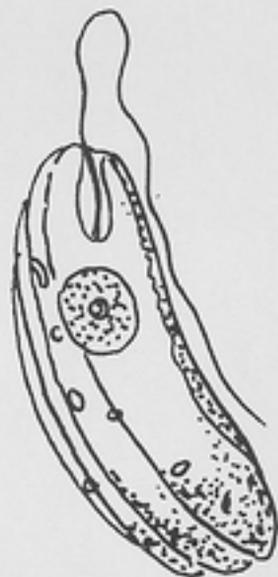


paramecio (ciliati)



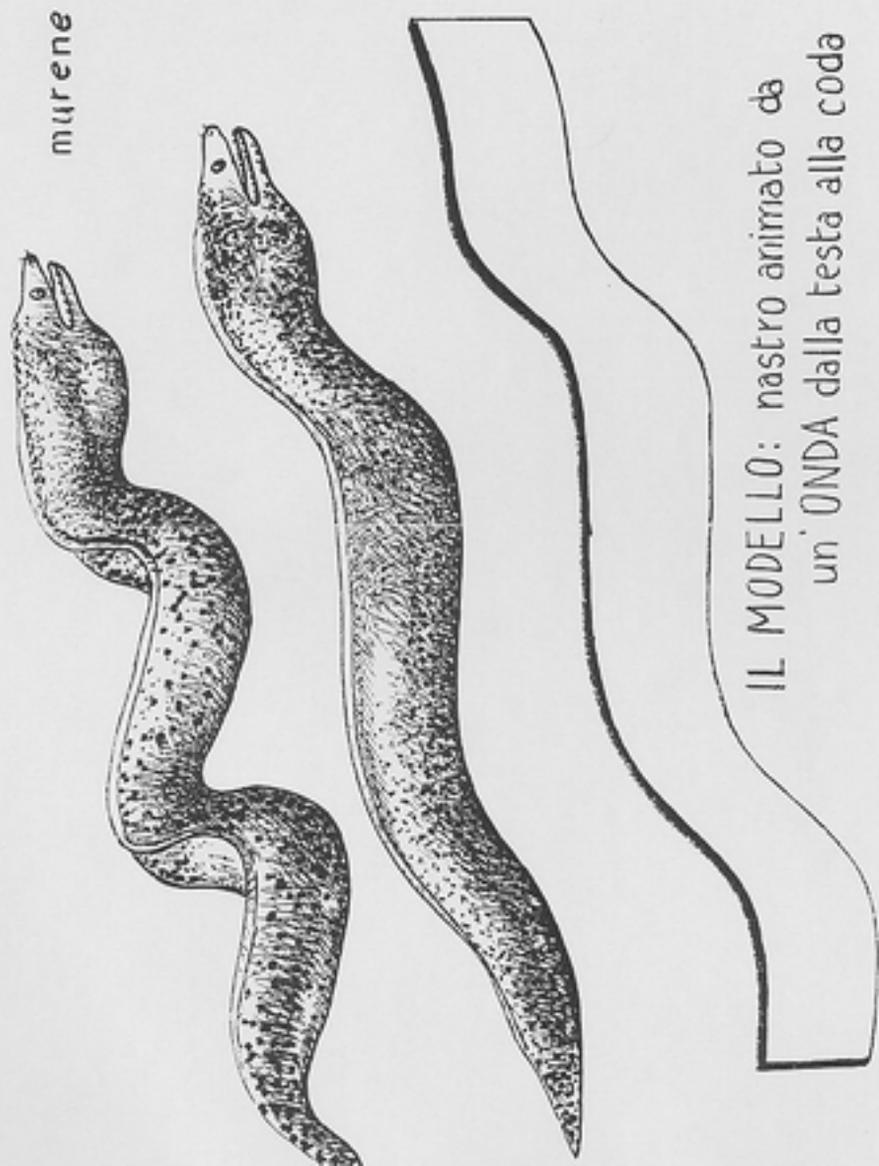
battito
efficace

movimento di
ritorno



(flagellati)

.. il "segreto" dell'efficienza del
nuoto "per onde"



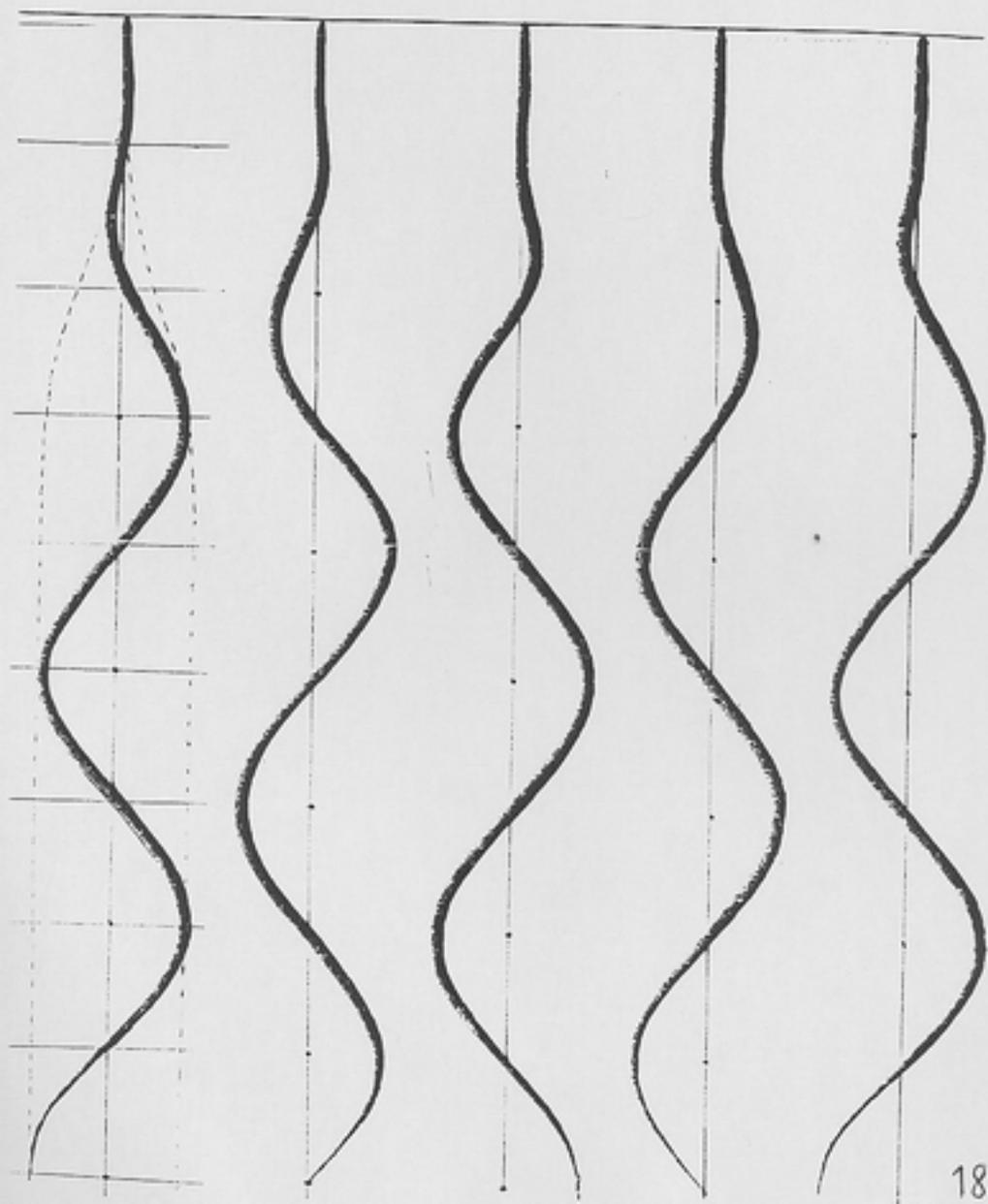
sequenze delle forme d'onda: l'onda si genera dietro la testa, che non compie spostamenti trasversali

t_1

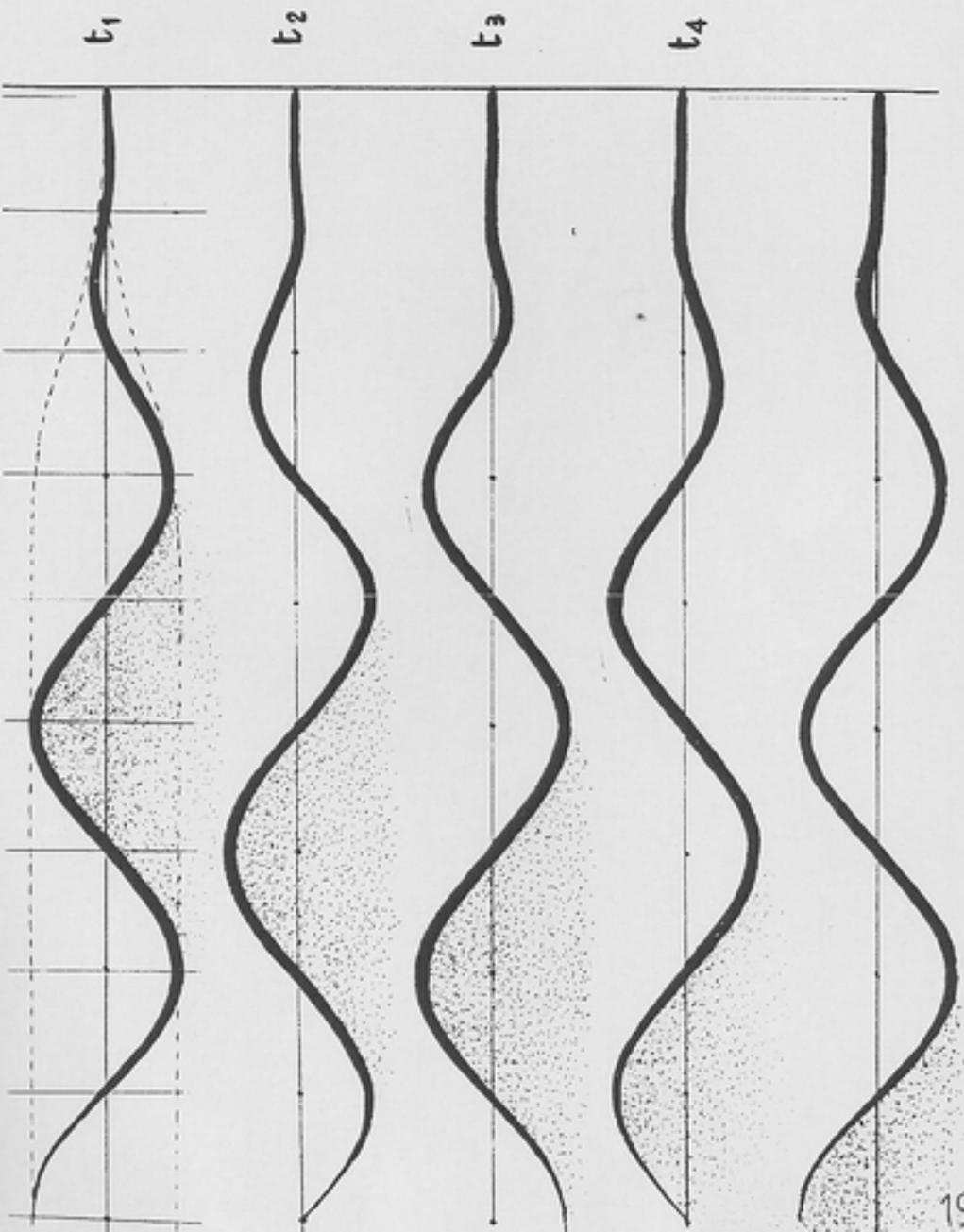
t_2

t_3

t_4

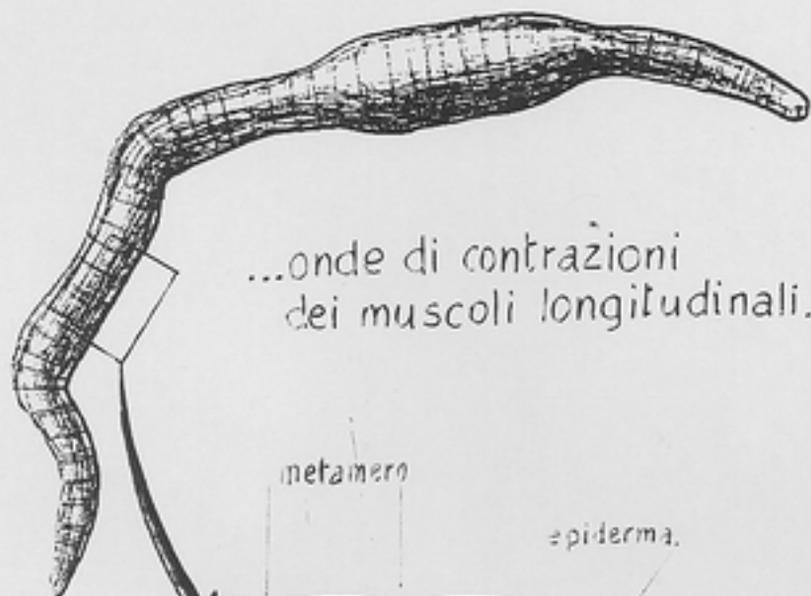


... masse d'acqua, accolte nelle varie anse dell'onda, vengono convogliate all'indietro dallo spostamento del profilo: per reazione, il pesce riceve una spinta in avanti

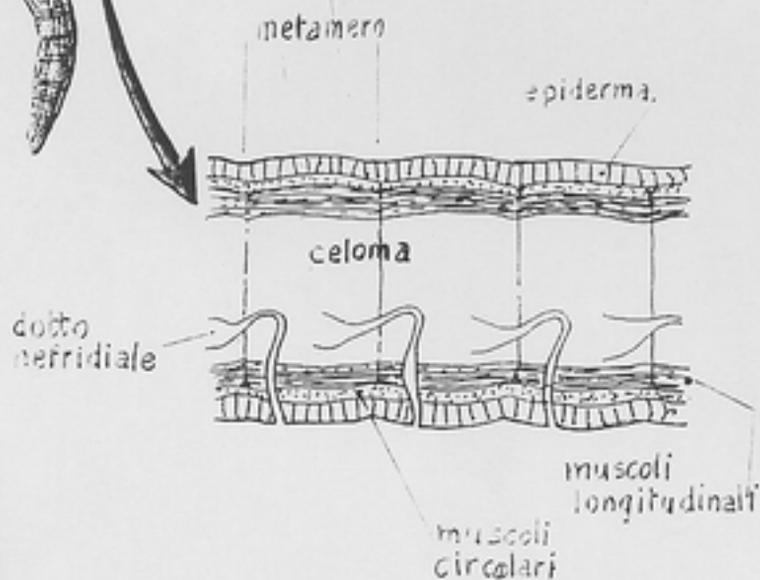


.. propulsione per spinta a
onde contro il terreno

LOMBRICO (ANELLIDI)



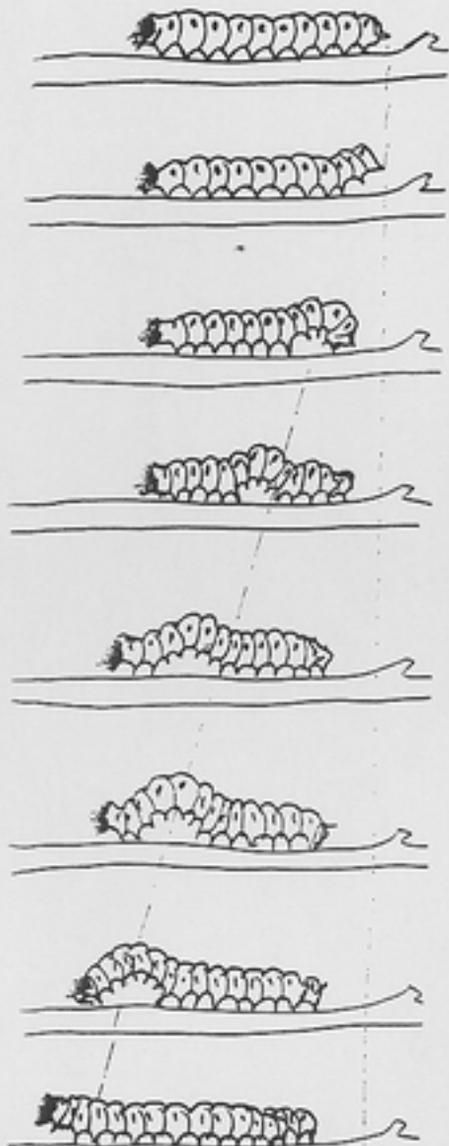
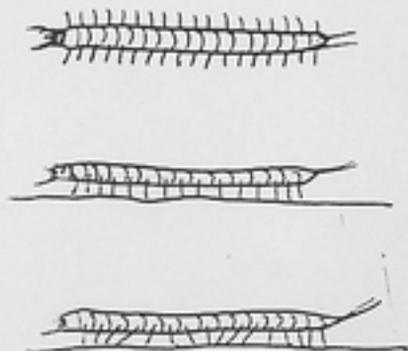
...onde di contrazioni
dei muscoli longitudinali...



.. come muovere
tutti questi piedi?

BRUCO di INSETTO

"MILLEPIEDI" (miriapodi)



**...movimenti "a onda"
delle coste**

*(...non ho zampe... ma
ho molte coste ... libere!)*

SERPENTI ARBORICOLI

