



Onde e barche

Andrea Ghigo & Alessandro Stecchi • INFN-LNF

Fisica in Barca 2009 - Civitavecchia

Questo materiale e' stato creato per una presentazione *dal vivo*, quindi contiene poco testo e richiede una narrazione a supporto delle immagini.

In questa versione sono stati inseriti dei brevi commenti per facilitarne la consultazione e rimosse alcune parti che sarebbero risultate poco chiare senza le spiegazioni degli autori.

Gli autori: Andrea Ghigo, Alessandro Stecchi
 INFN-LNF

Le onde

Un onda è una **perturbazione** che si propaga con **trasporto di energia**

Elettromagnetiche

radio, luce, raggi X

Gravitazionali

attrazione delle masse

Meccaniche (oscillazione di materia all'interno di un mezzo)

suono, terremoti, onde marine

Le onde

Un onda è una **perturbazione** che si propaga con **trasporto di energia**

Elettromagnetiche
radio, luce, raggi X

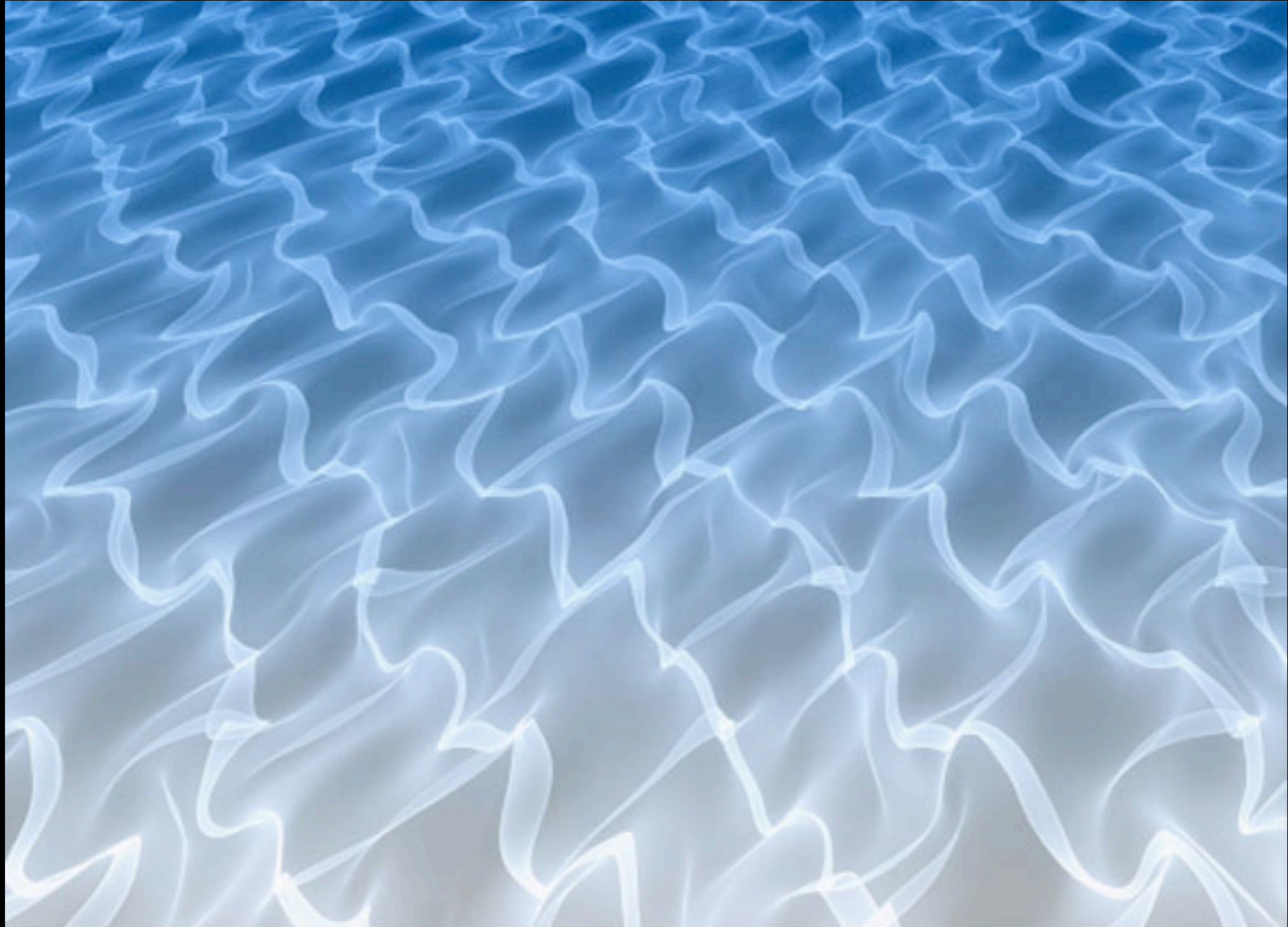
Gravitazionali
attrazione delle masse

Meccaniche (oscillazione di materia all'interno di un mezzo)
suono, terremoti, onde marine

ricordiamoci
questa cosa...



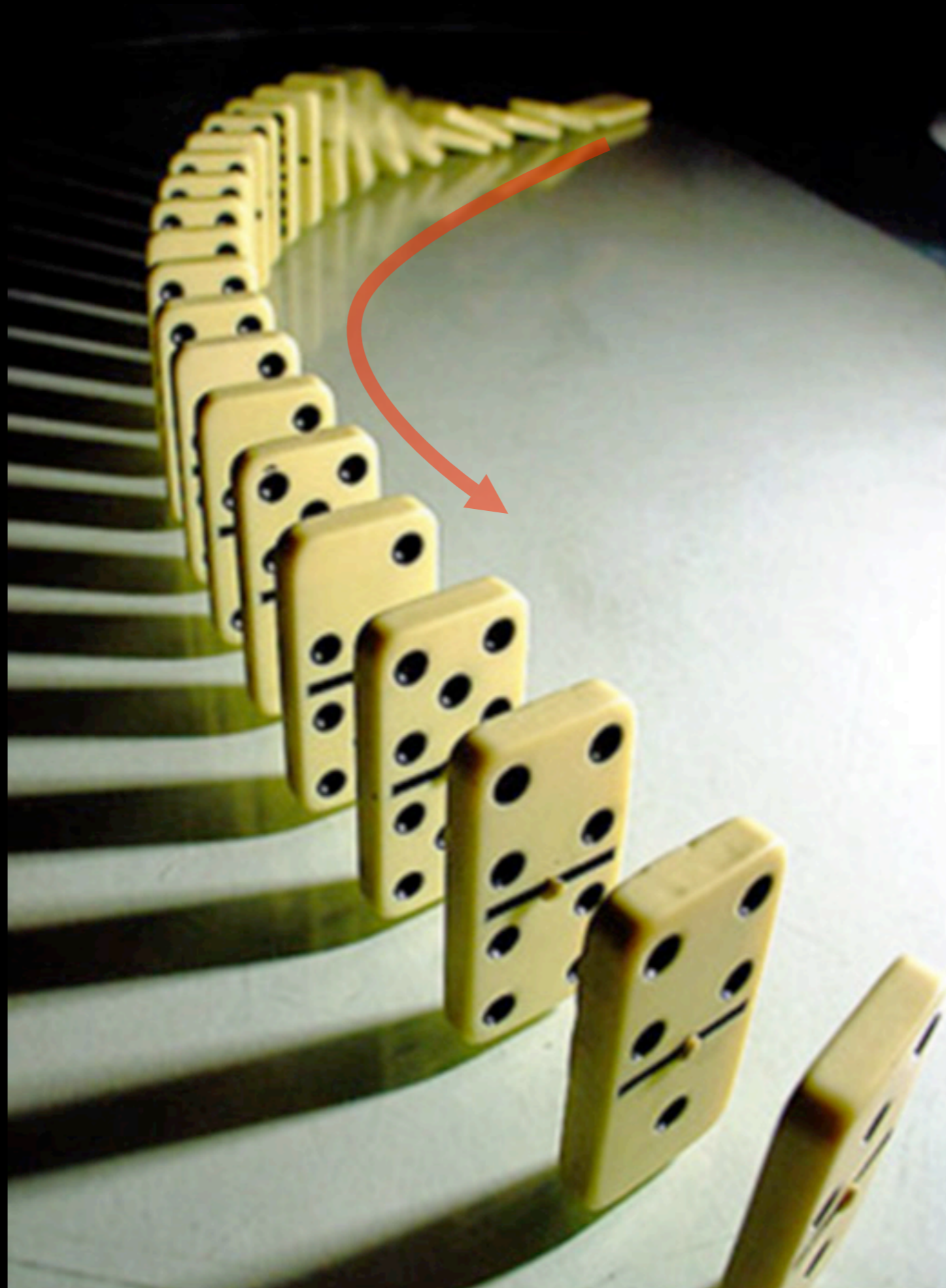
Le onde meccaniche nel mare



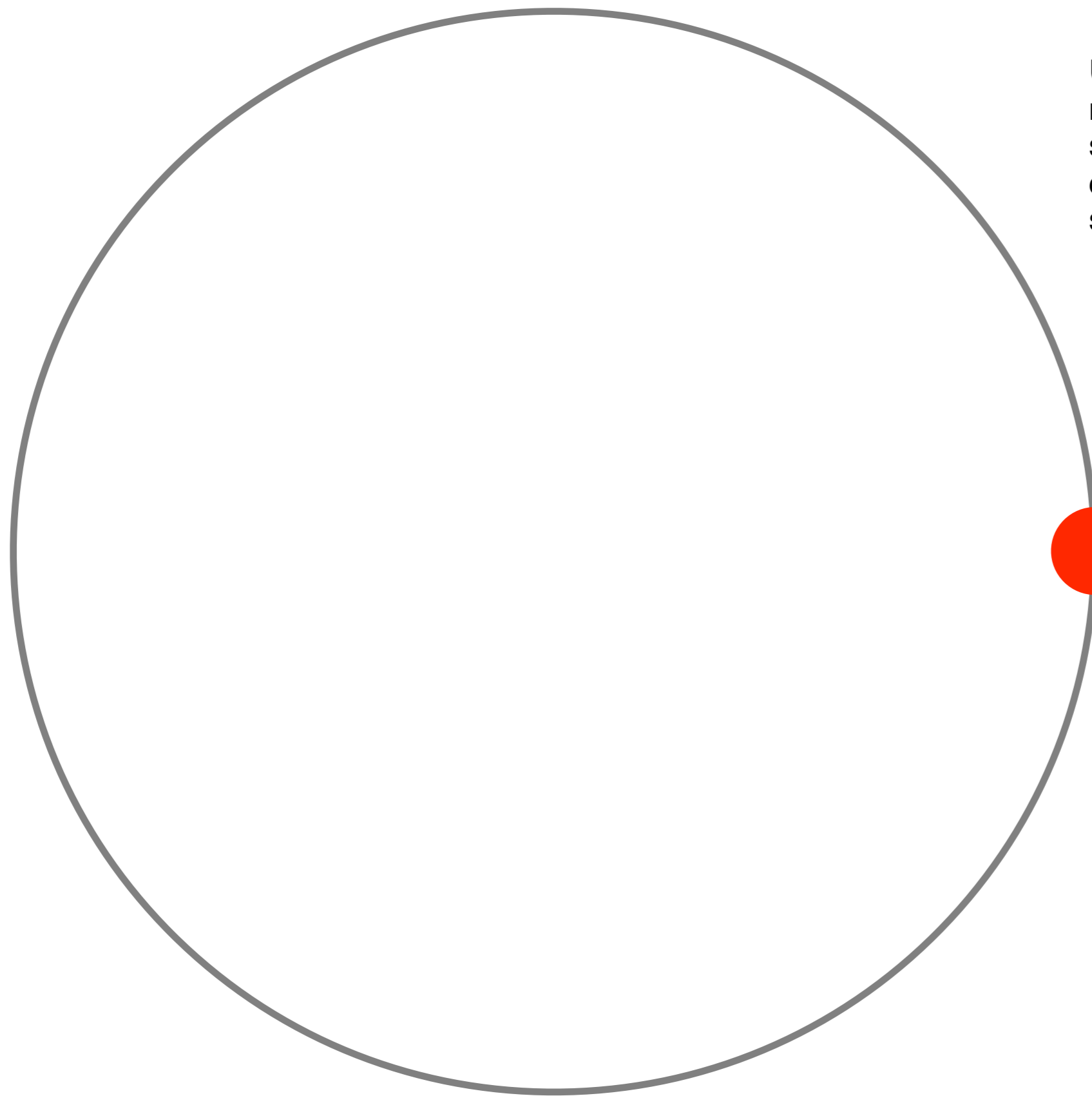
Le onde nel mare si formano sotto l'azione del vento. Da minime increspature superficiali...



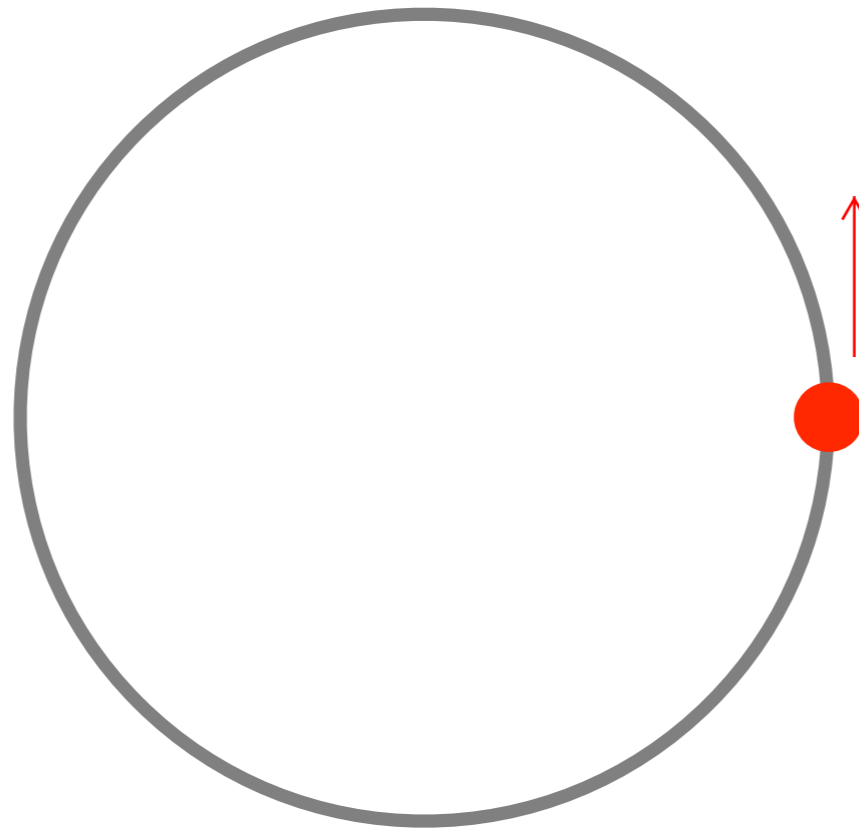
... arrivano a divenire anche enormi. Vediamo come si propagano...



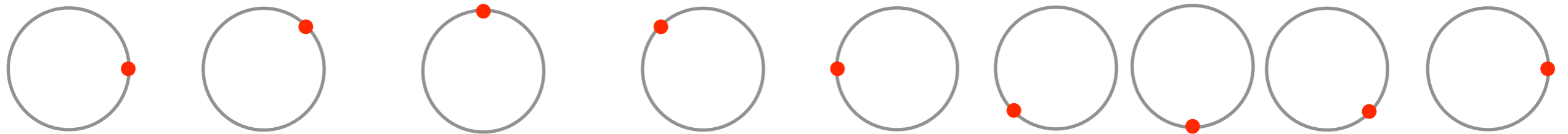
Un'onda
meccanica nel
mare si propaga
secondo un
effetto
cooperativo *a
primi vicini*.
Come le
tesserine del
domino...



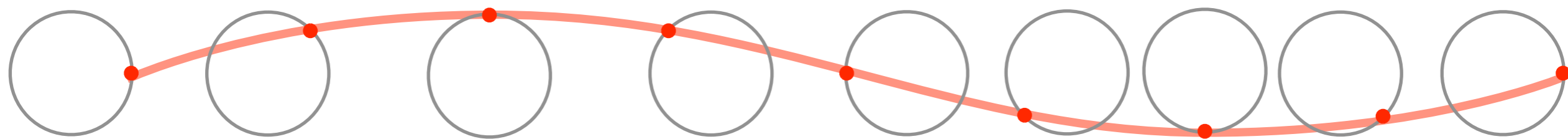
Una particella d'acqua nel
mare, a seguito della
sollecitazione del vento,
compie delle rotazioni orbitali
su un piano verticale



Se pensiamo di fotografare
questa particella d'acqua
durante la sua rotazione...



... otteniamo una serie di
fotogrammi come questi



e facendo l'involuppo delle
posizioni della particella
d'acqua, otteniamo un'onda

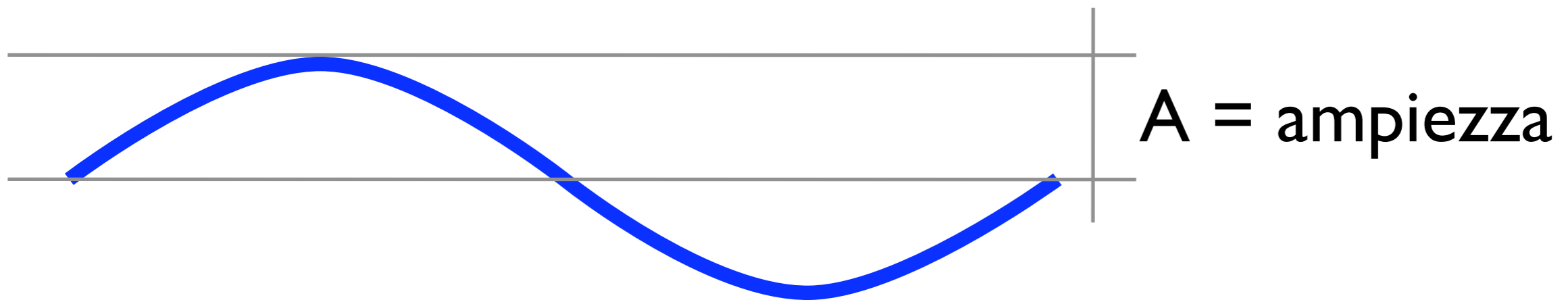
Ogni cosa rimane dove era



Un'onda non trasporta materia ma solo energia.
Per esempio, nel caso della *o/a* allo stadio, alla fine tutti rimangono seduti al loro posto

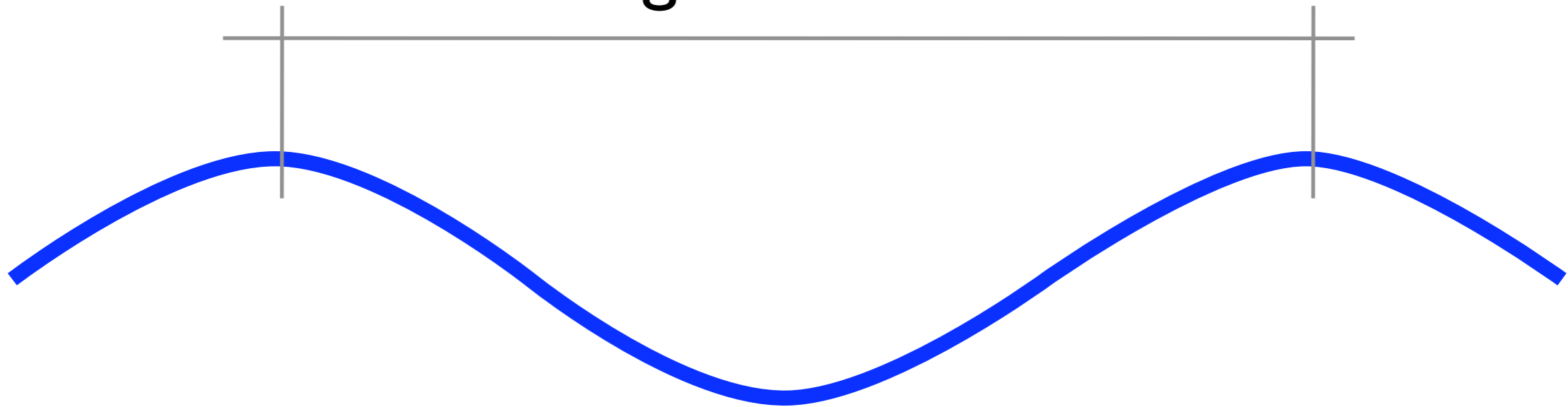
[click per vedere il filmato](#)

Ancora sulle onde...



Ancora sulle onde...

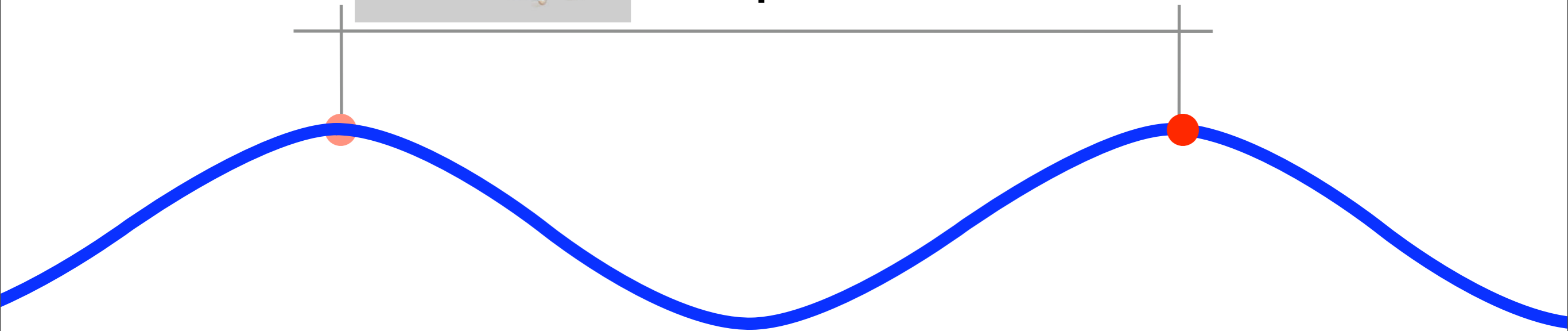
$\lambda =$ lunghezza d'onda



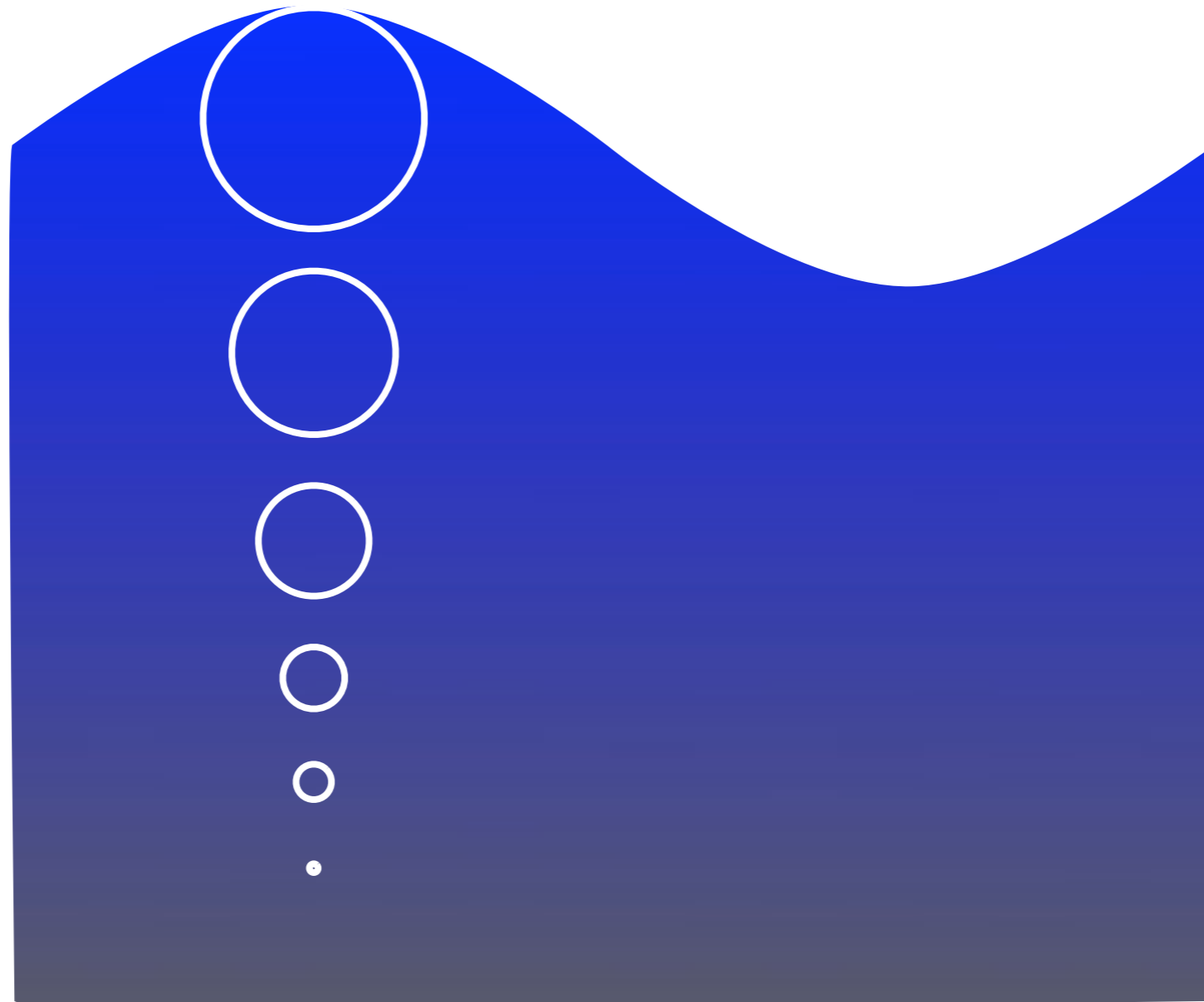
Ancora sulle onde...



$T = \text{periodo}$

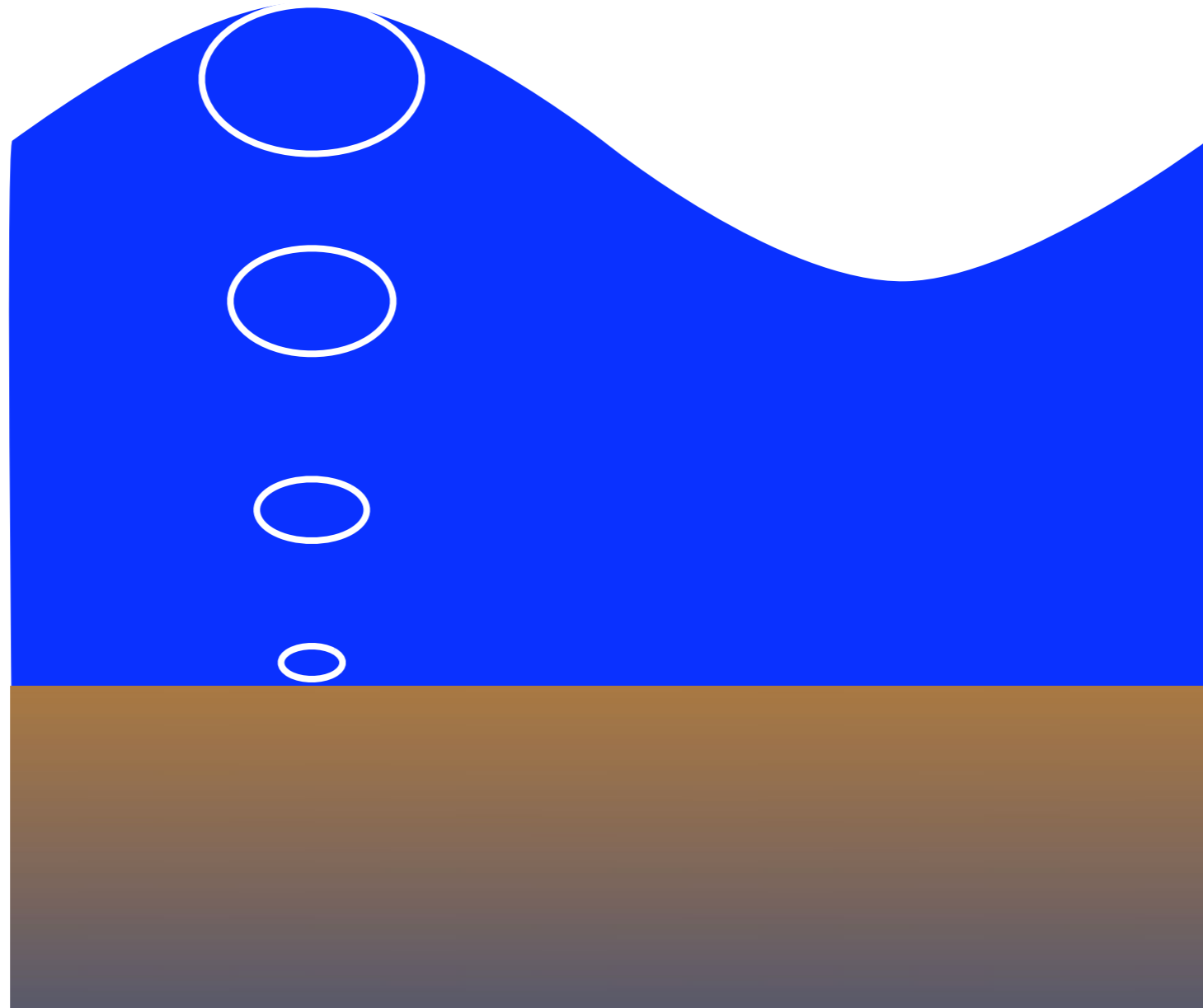


Acque profonde



Le onde nel mare non sono un fenomeno puramente superficiale ma si estendono anche in profondità'. In acque profonde (con profondità' molto maggiore della lunghezza dell'onda), le rotazioni orbitali delle particelle d'acqua hanno un raggio che decresce esponenzialmente man mano che ci si spinge in profondità'.

Acque basse



In acque basse (con profondita' sino a qualche lunghezza d'onda), le rotazioni orbitali da circolari divengono ellittiche. Il rapporto fra i due assi dell'ellissi cambia in funzione della profondita'. Quando la profondita' tende a zero, le ellissi degenerano in tratti lineari e si ha il fenomeno del frangente.

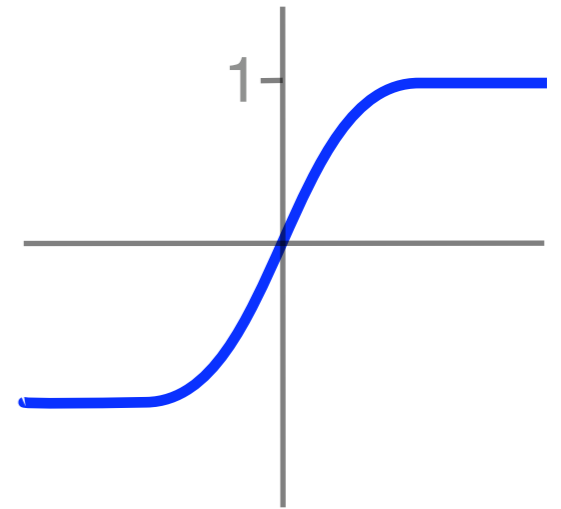
Velocità

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda}\right)}$$

Velocità

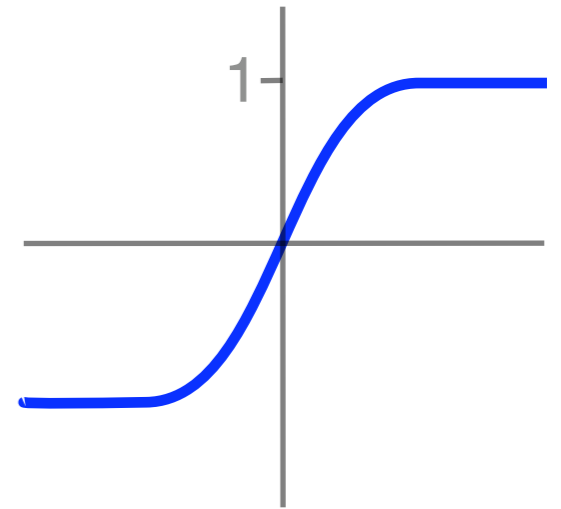
$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda}\right)}$$

dipendenza dalla
profondità



Velocità

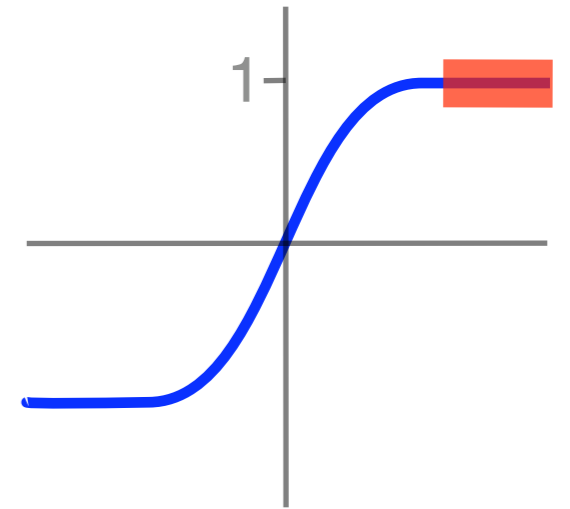
$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda}\right)}$$



Velocità

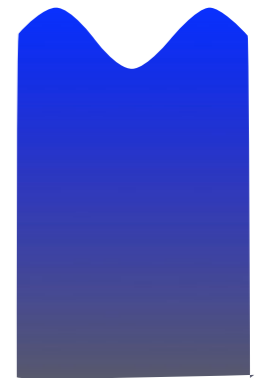
$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda}\right)}$$

→ 1



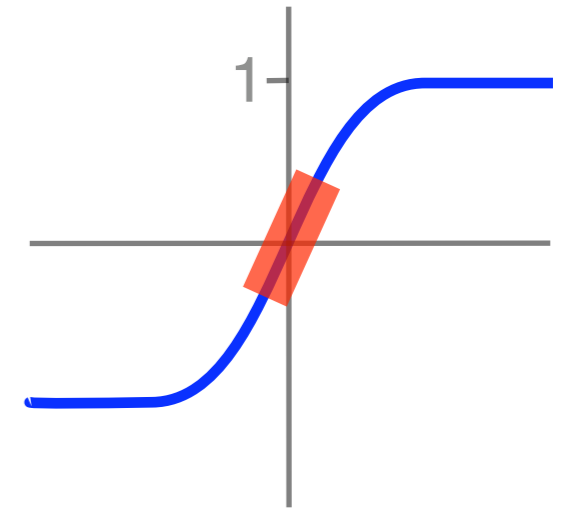
$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$$

$d \gg \lambda$
acqua profonda



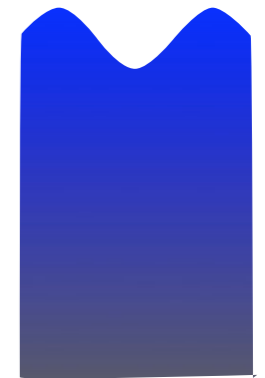
Velocità

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi \cdot d}{\lambda}\right)} \rightarrow \frac{2\pi \cdot d}{\lambda}$$



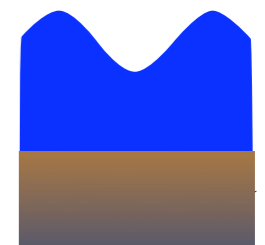
$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$$

$d \gg \lambda$
acqua profonda



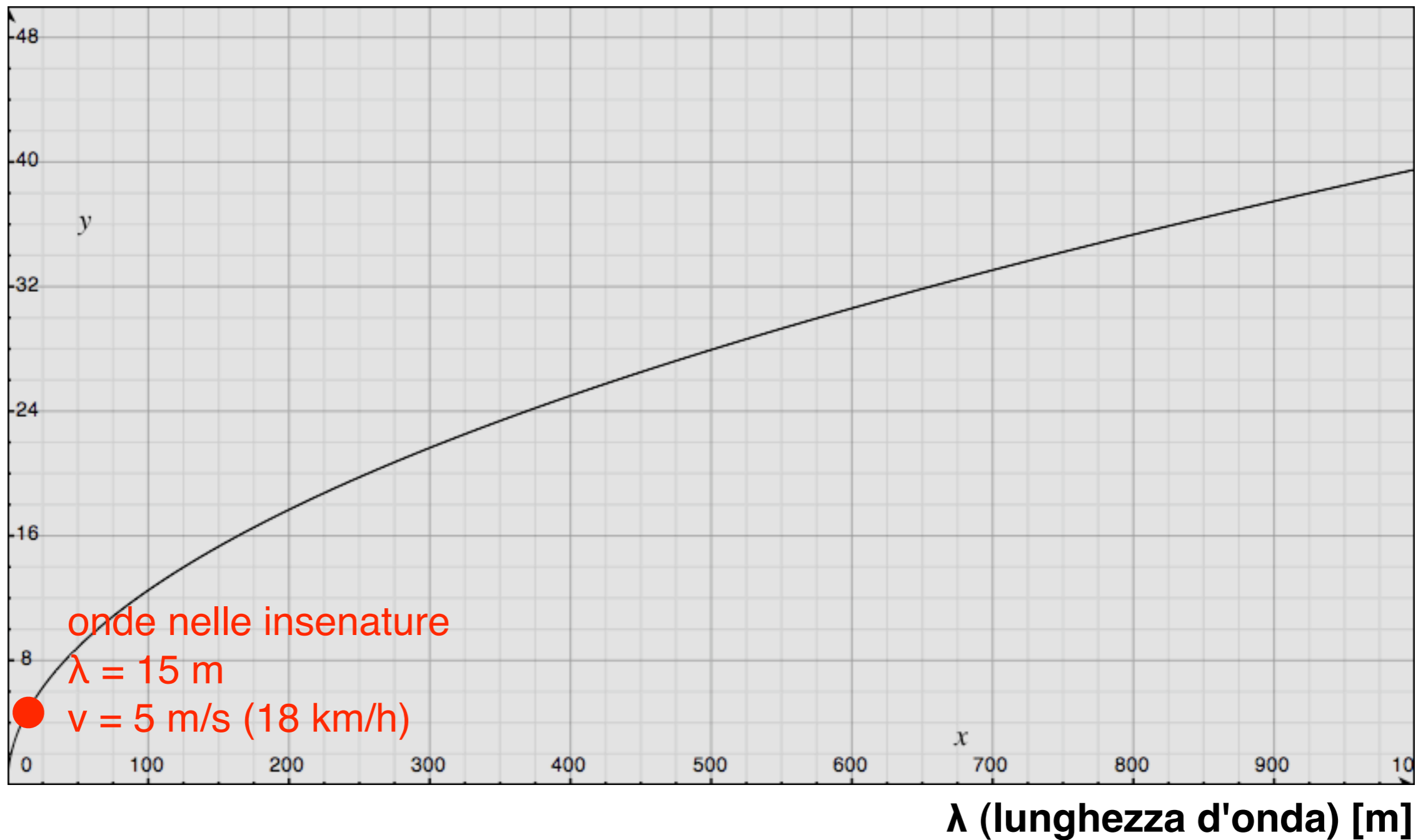
$$v = \sqrt{g \cdot d}$$

$\lambda \gg d$
acqua bassa



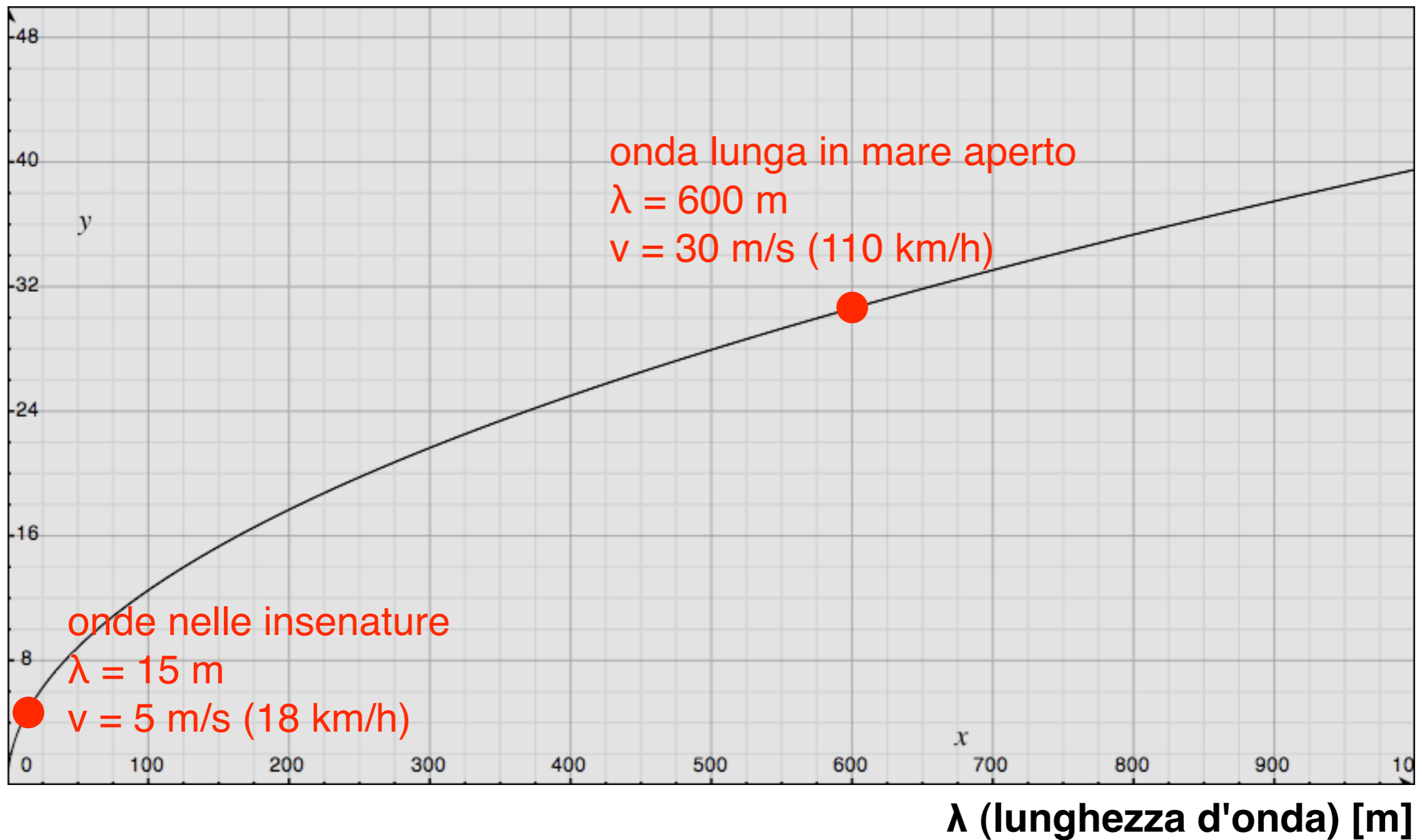
Velocità (acqua profonda)

$$v \sim \sqrt{\lambda}$$



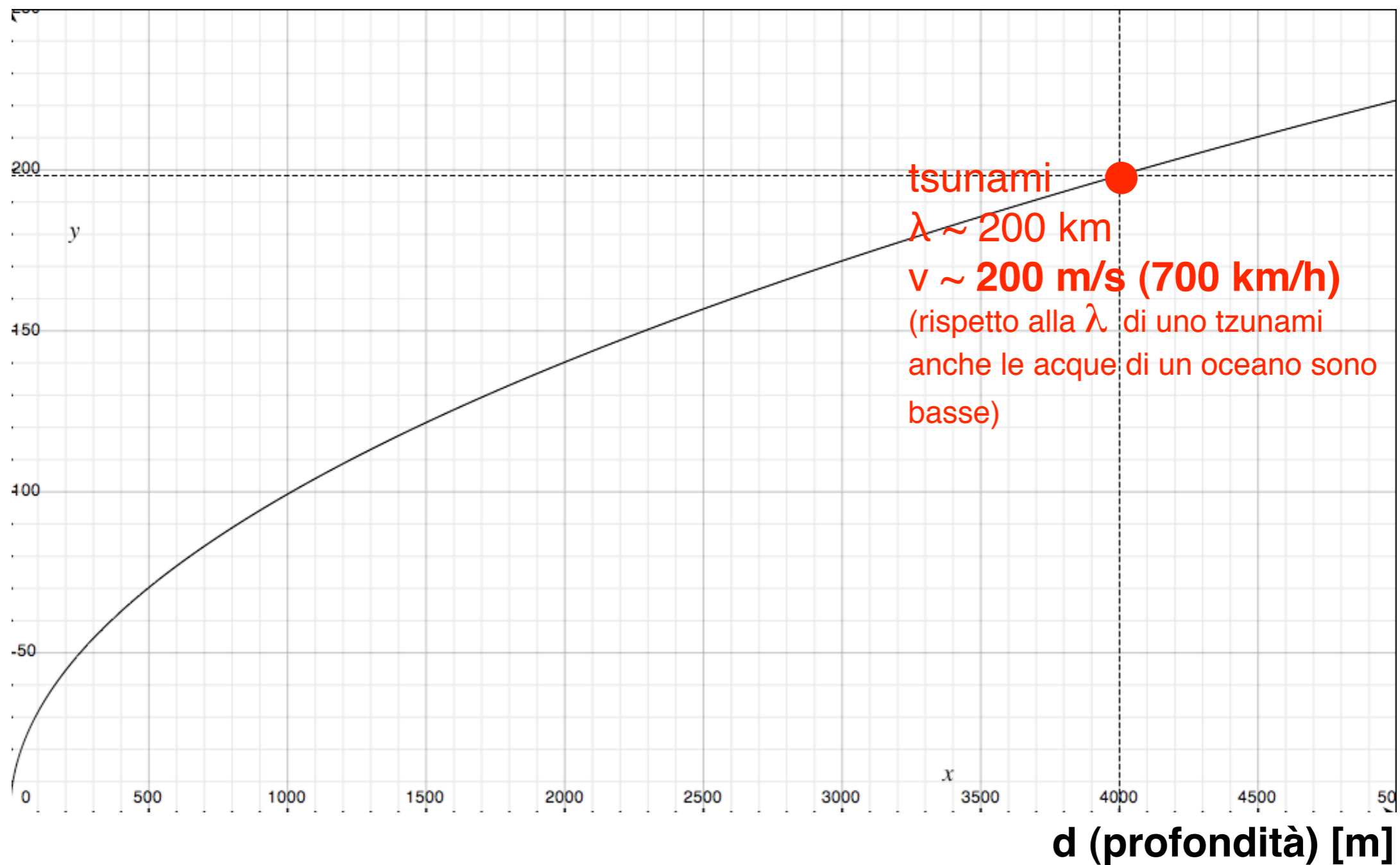
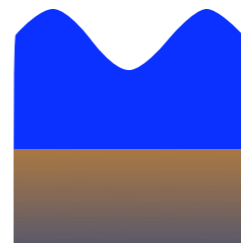
Velocità (acqua profonda)

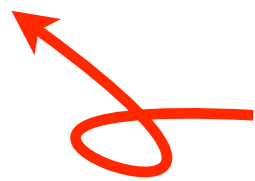
$$v \sim \sqrt{\lambda}$$



Velocità (acqua bassa)

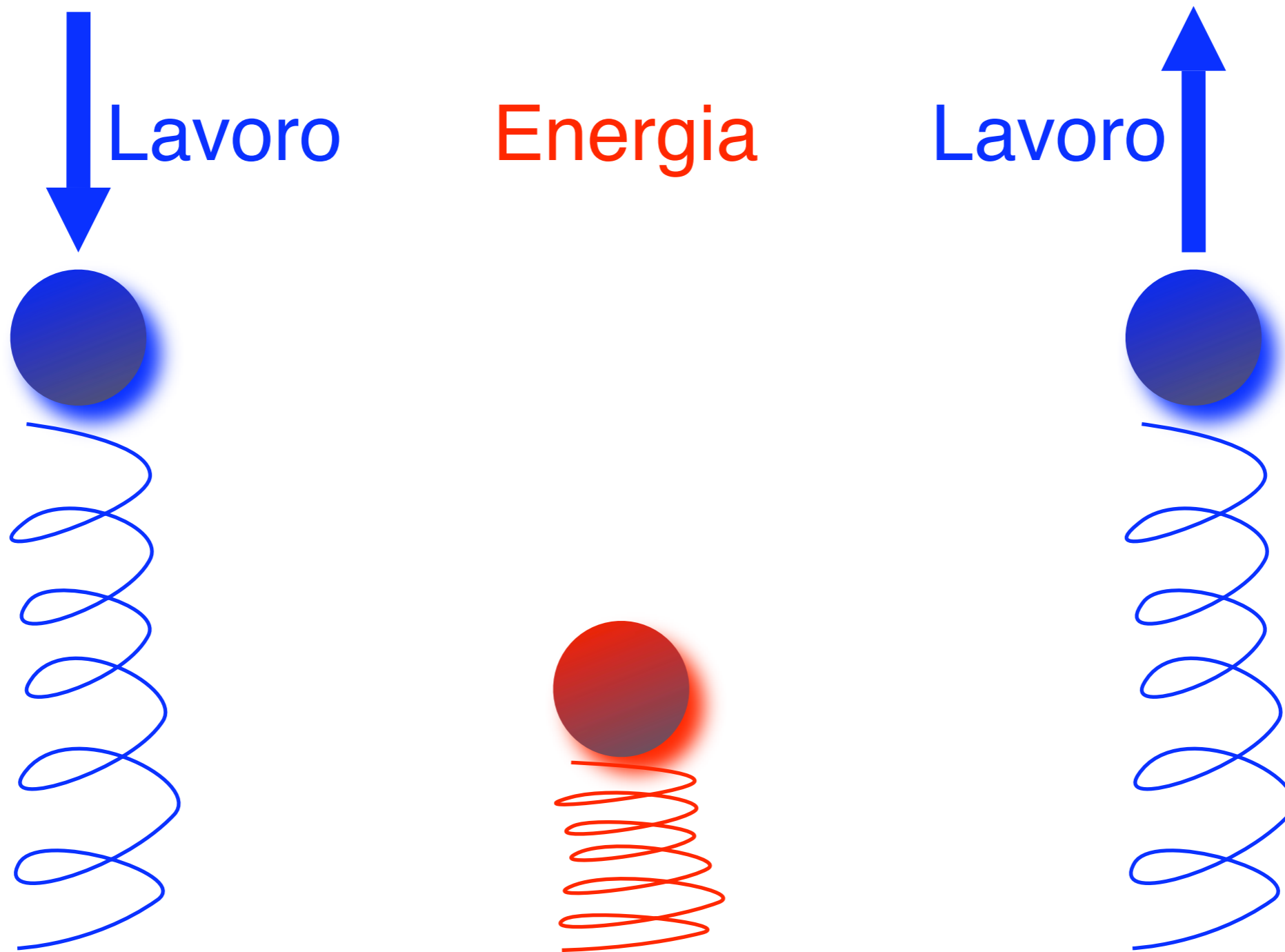
$$v \sim \sqrt{d}$$





ricordiamoci
e dimostriamo che...

Un onda trasporta energia



Kalutara Beach, Sri Lanka



dimostriamo che un'onda trasporta energia:
questo e' un tratto costiero prima dell'arrivo di uno tsunami

Kalutara Beach, Sri Lanka



dimostriamo che un'onda trasporta energia:
questo e' lo stesso tratto costiero dopo il passaggio di uno tsunami



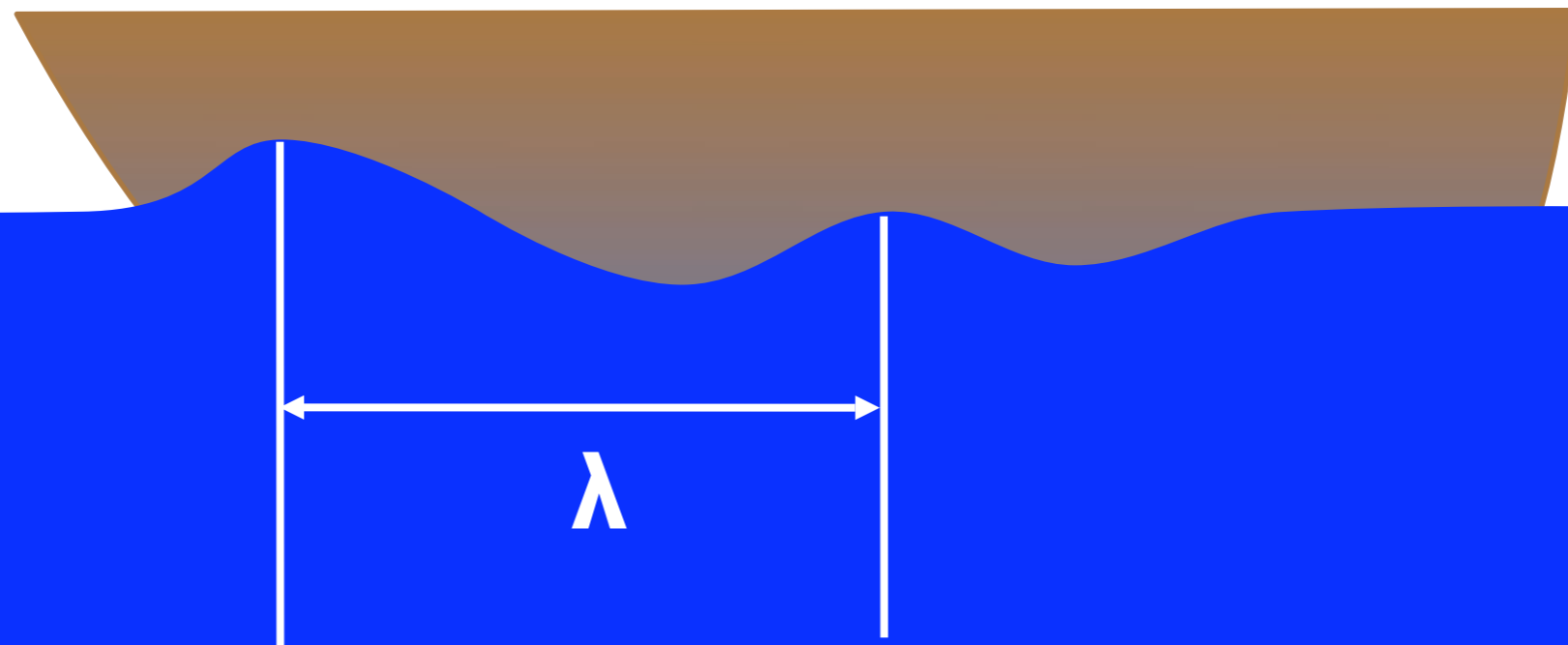
dimostriamo che un'onda trasporta energia:

- se guardiamo da vicino, vediamo una situazione di questo tipo
- partendo da una situazione ordinata, per disporre tutto in questo modo dobbiamo compiere un lavoro
- per compiere un lavoro bisogna avere a disposizione dell'energia
- questo lavoro e' stato fatto da un'onda
- quindi l'onda trasportava dell'energia

Le onde e le barche

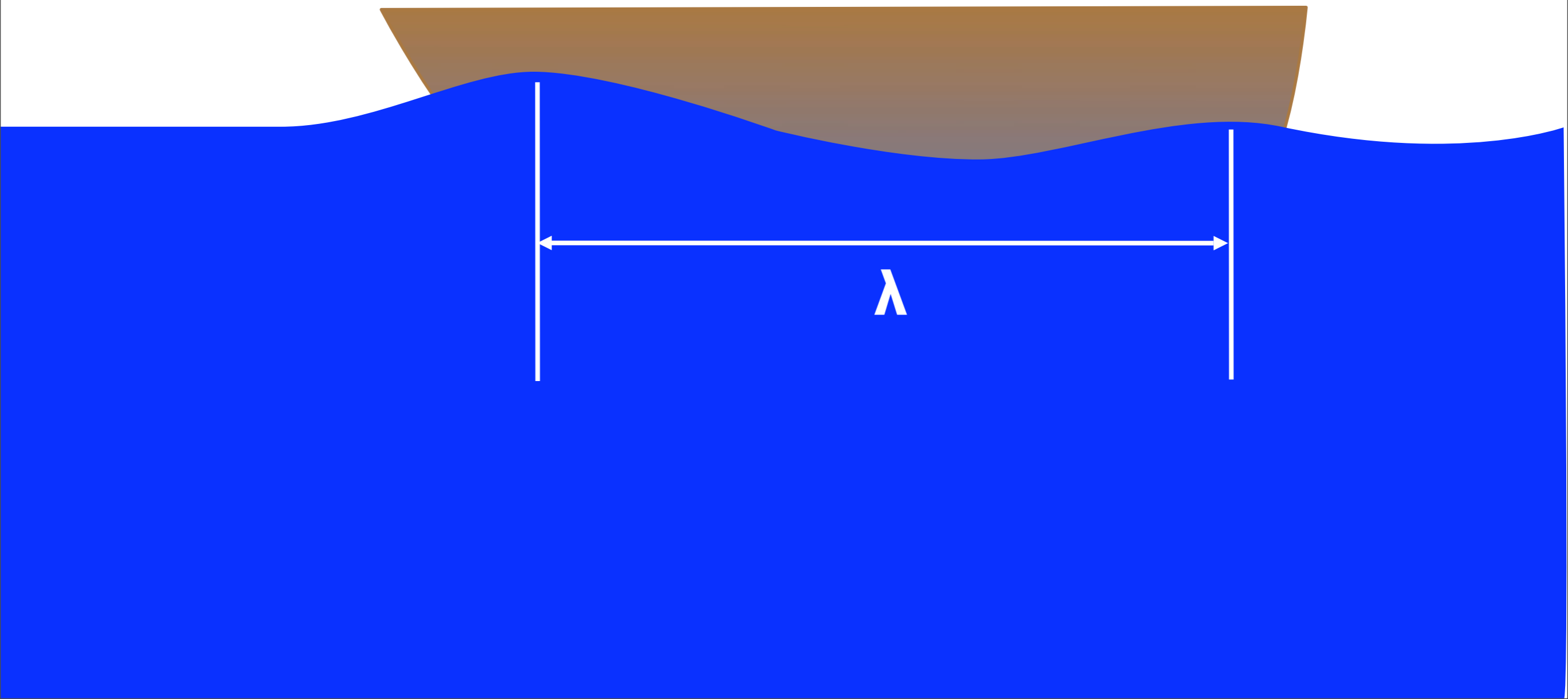
Assetto dislocante:

- lo scafo è immerso nell'acqua
- lo scafo durante il moto sposta l'acqua
- l'acqua si sposta tramite le onde



Le onde e le barche

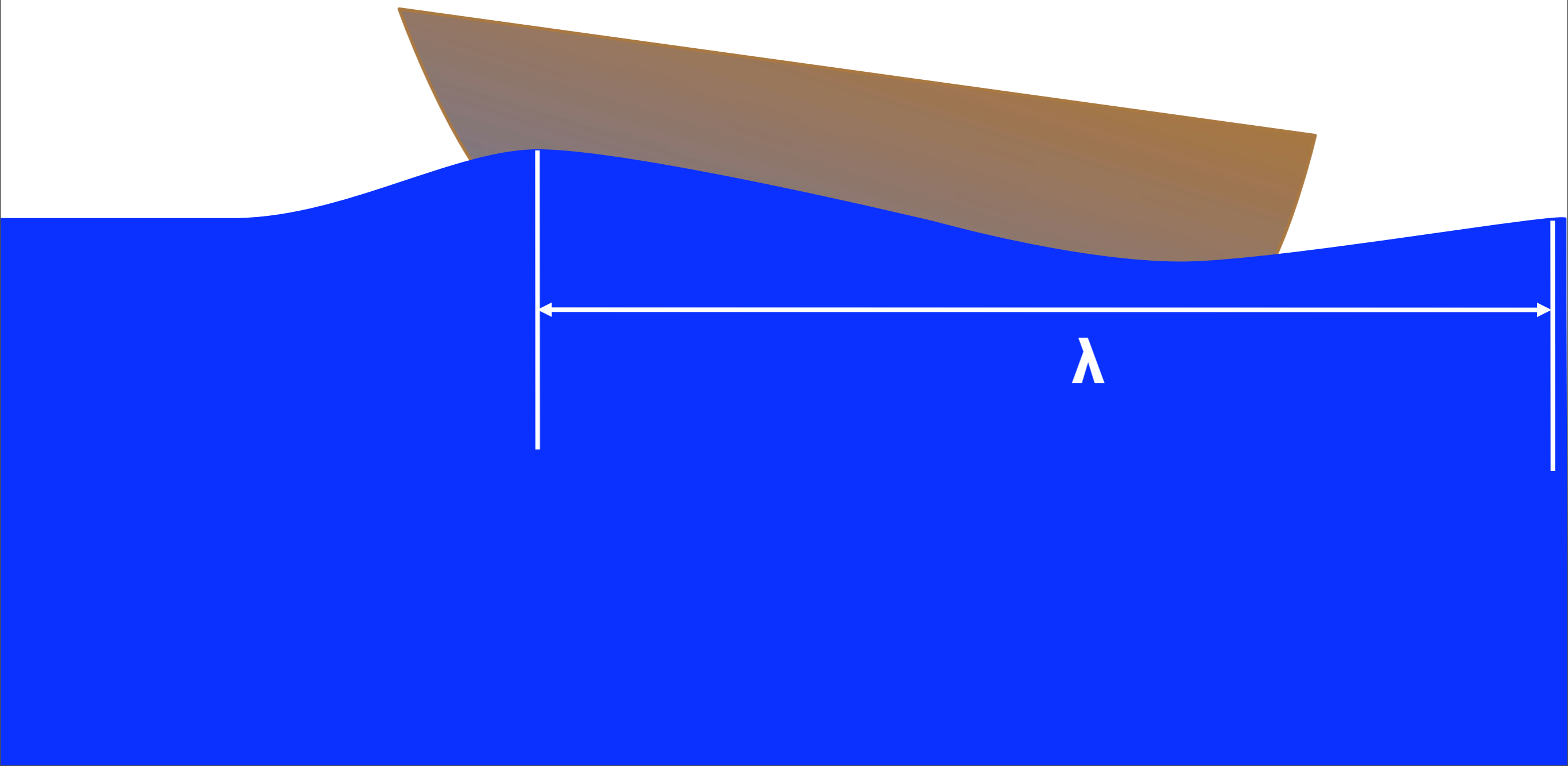
Aumentando la velocità aumenta la lunghezza d'onda delle onde prodotte dal moto dello scafo.



Le onde e le barche

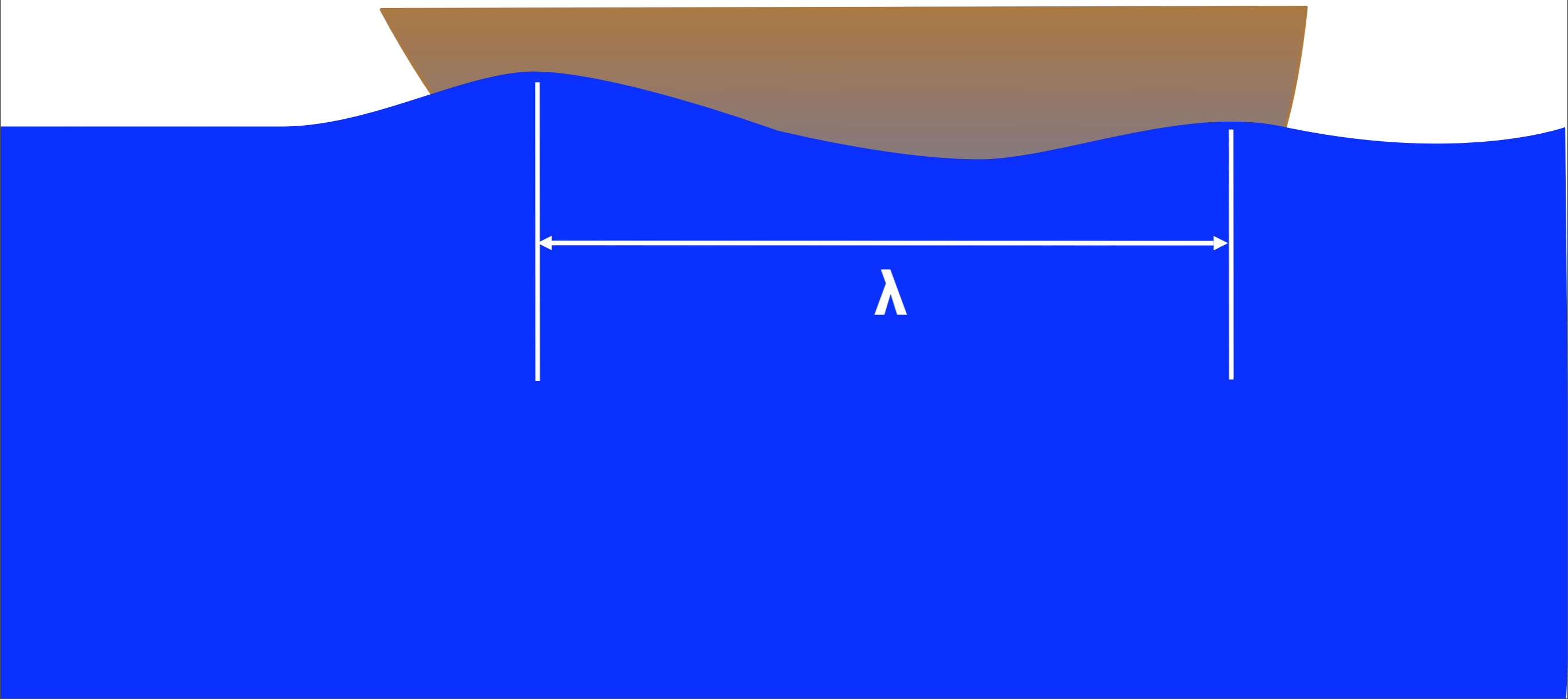
Se la lunghezza d'onda supera quella dello scafo, l'imbarcazione "cade" con la poppa nel cavo dell'onda.

In queste condizioni la resistenza all'avanzamento diviene impossibile da superare. Si raggiunge quindi una velocità limite detta **velocità di carena**.



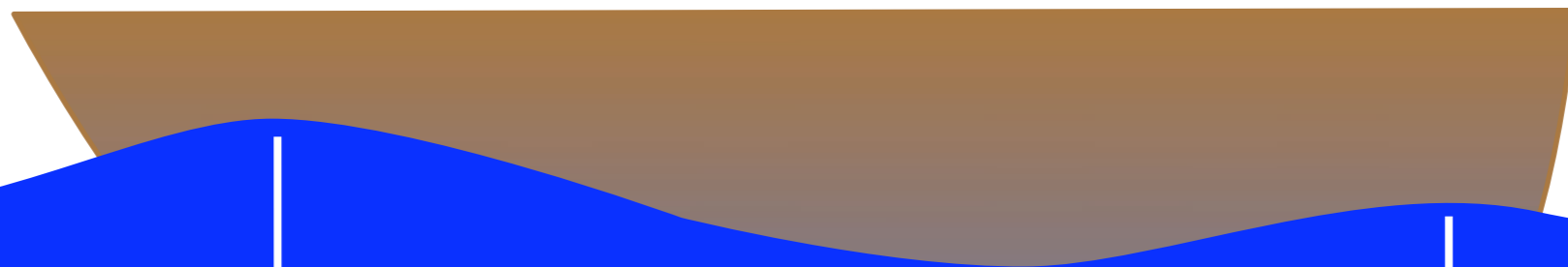
Le onde e le barche

Facciamo un esempio...



Le onde e le barche

Facciamo un esempio...

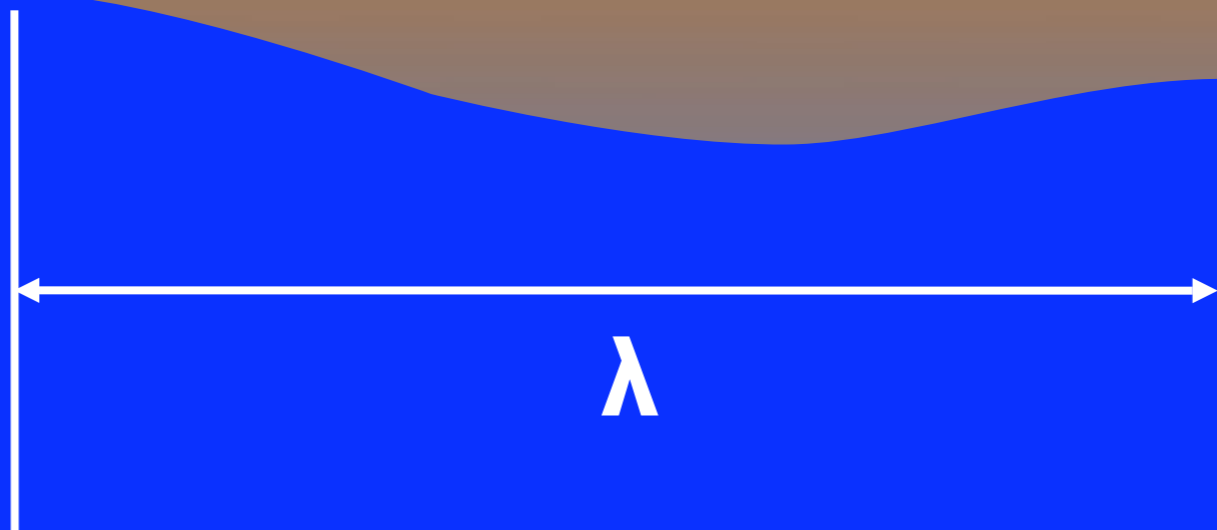
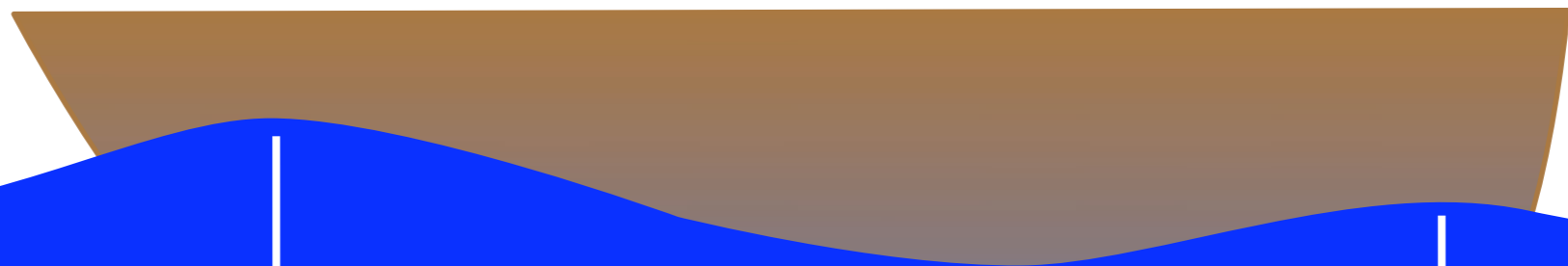


λ

lunghezza scafo = 10 m

Le onde e le barche

Facciamo un esempio...

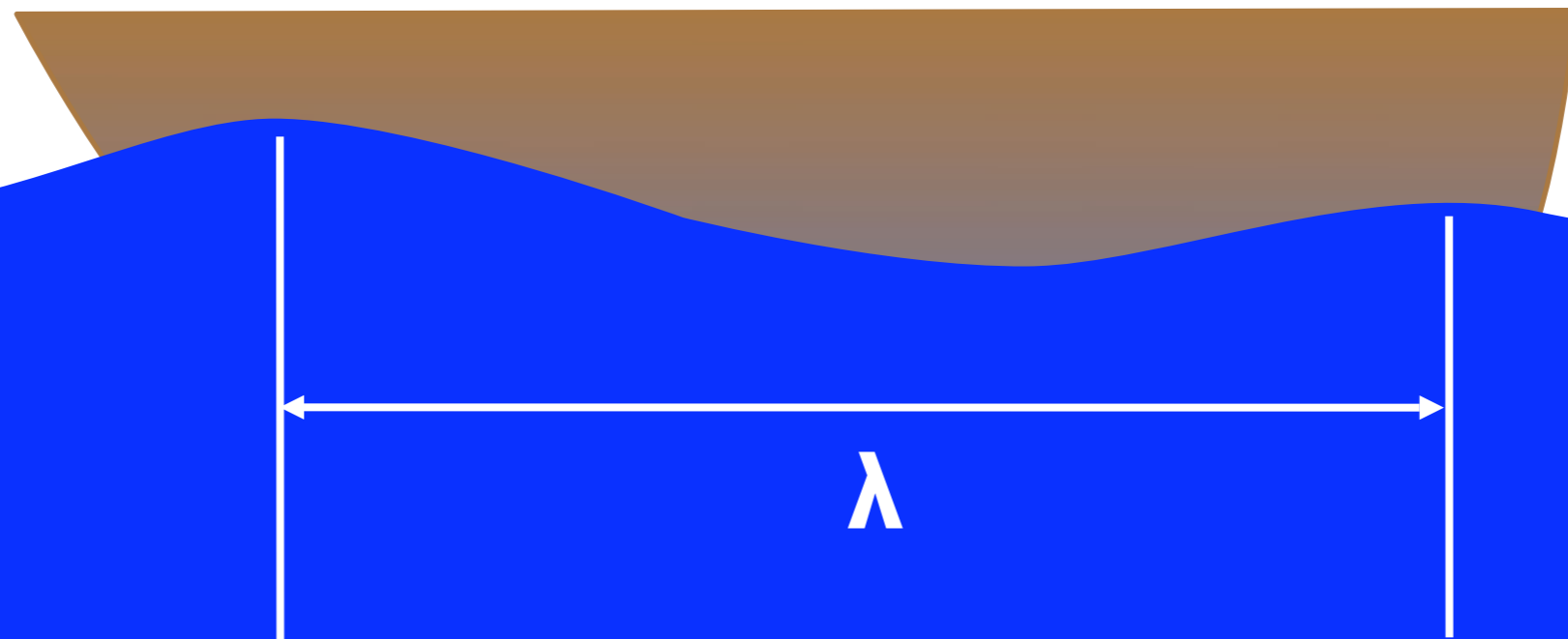


lunghezza scafo = 10 m

$\lambda_{\max} = 10 \text{ m}$

Le onde e le barche

Facciamo un esempio...



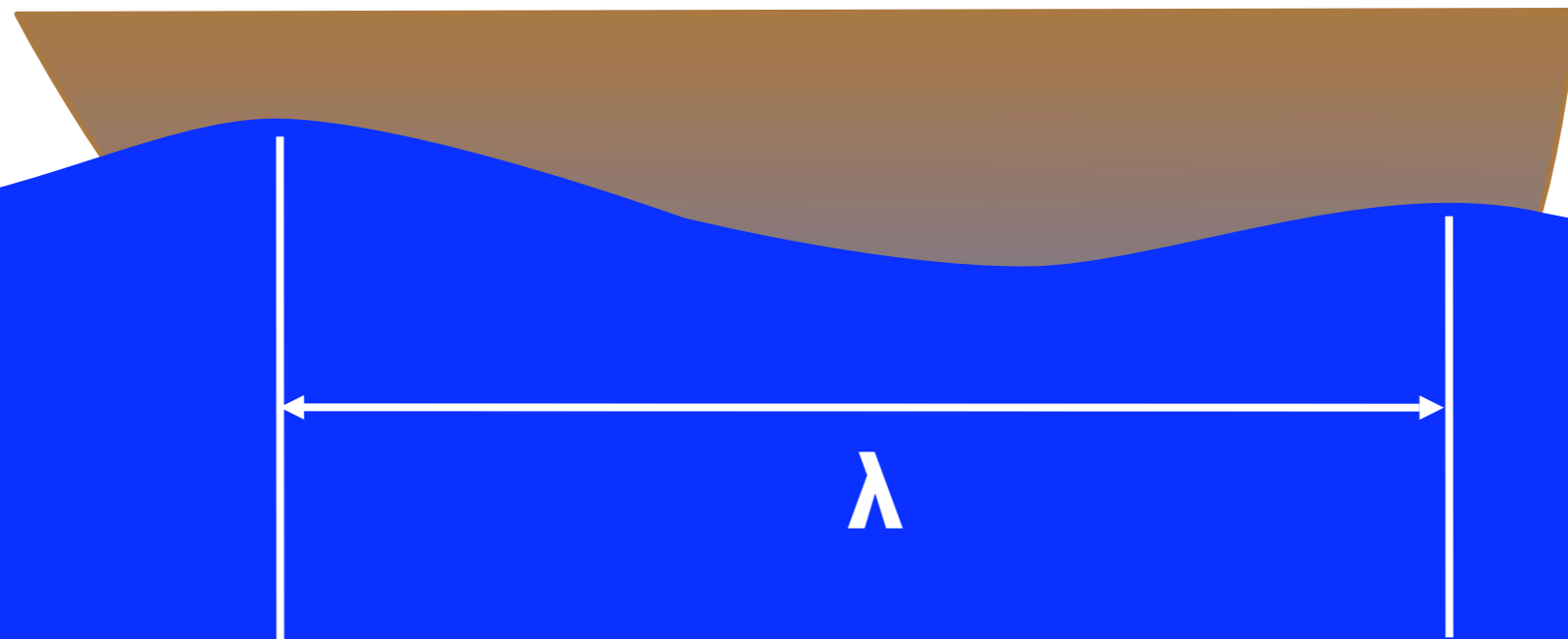
lunghezza scafo = 10 m

$\lambda_{\max} = 10 \text{ m}$

$v_{\max} = (g \cdot \lambda / 2\pi)^{1/2}$

Le onde e le barche

Facciamo un esempio...



lunghezza scafo = 10 m

$\lambda_{\max} = 10 \text{ m}$

$V_{\max} = (g \cdot \lambda / 2\pi)^{1/2}$

$V_{\max} = (9.8 \cdot 10 / 2\pi)^{1/2} = 3.95 \text{ m/s} = 14 \text{ km/h (7.5 kts)}$

Record di Velocita'



Per superare la velocità limite di carena bisogna uscire dall'assetto **dislocante** e passare a quello **planante**. In questo assetto si esce dall'acqua e ci si libera quindi dal legame con le onde accoppiate allo scafo.

Links ai filmati



l'hydroptero: un aliscafo a vela
<http://www.youtube.com/watch?v=jCuP-XHefTo>



record del mondo di velocità a vela
<http://www.youtube.com/watch?v=v0Ro6iWaBgg>

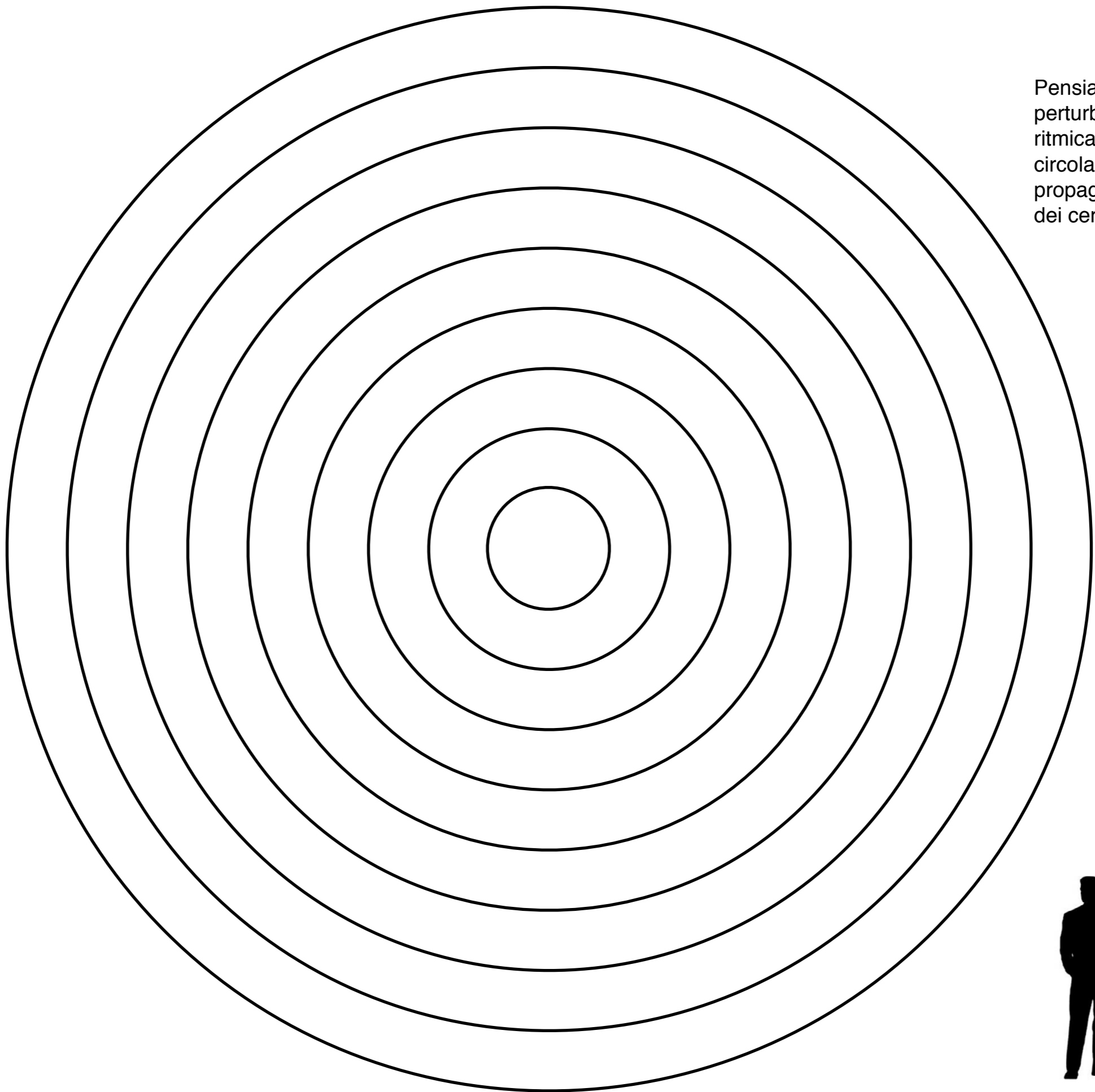
Le onde e le barche

Le onde e le barche

onda cherenkov

Pavel Alekseyevich Cherenkov



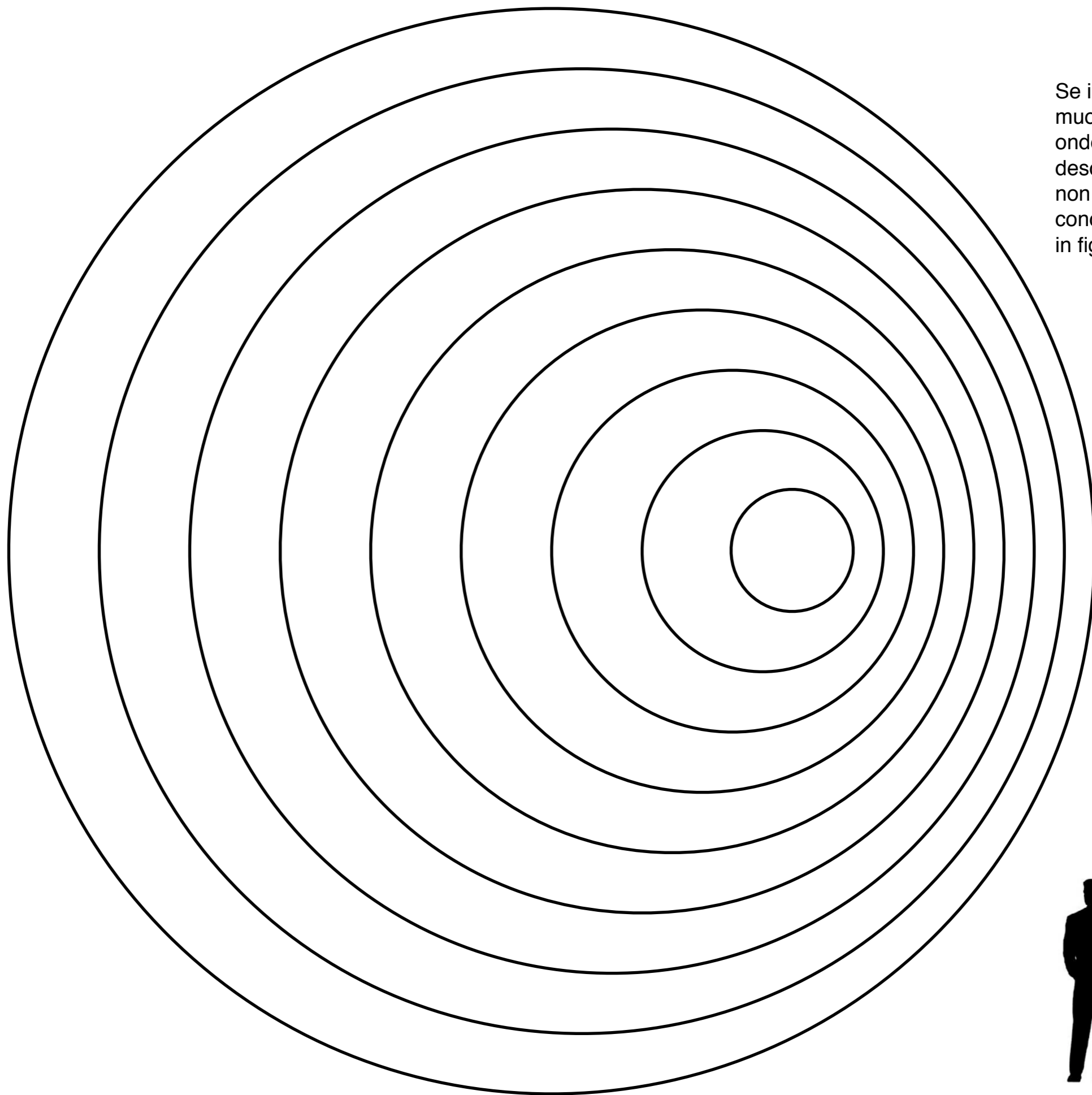


Pensiamo ad un perturbatore che crei ritmicamente delle onde circolari. Queste si propagheranno secondo dei cerchi concentrici.

Ad un osservatore fermo, i fronti arriveranno in sequenza uno dopo l'altro



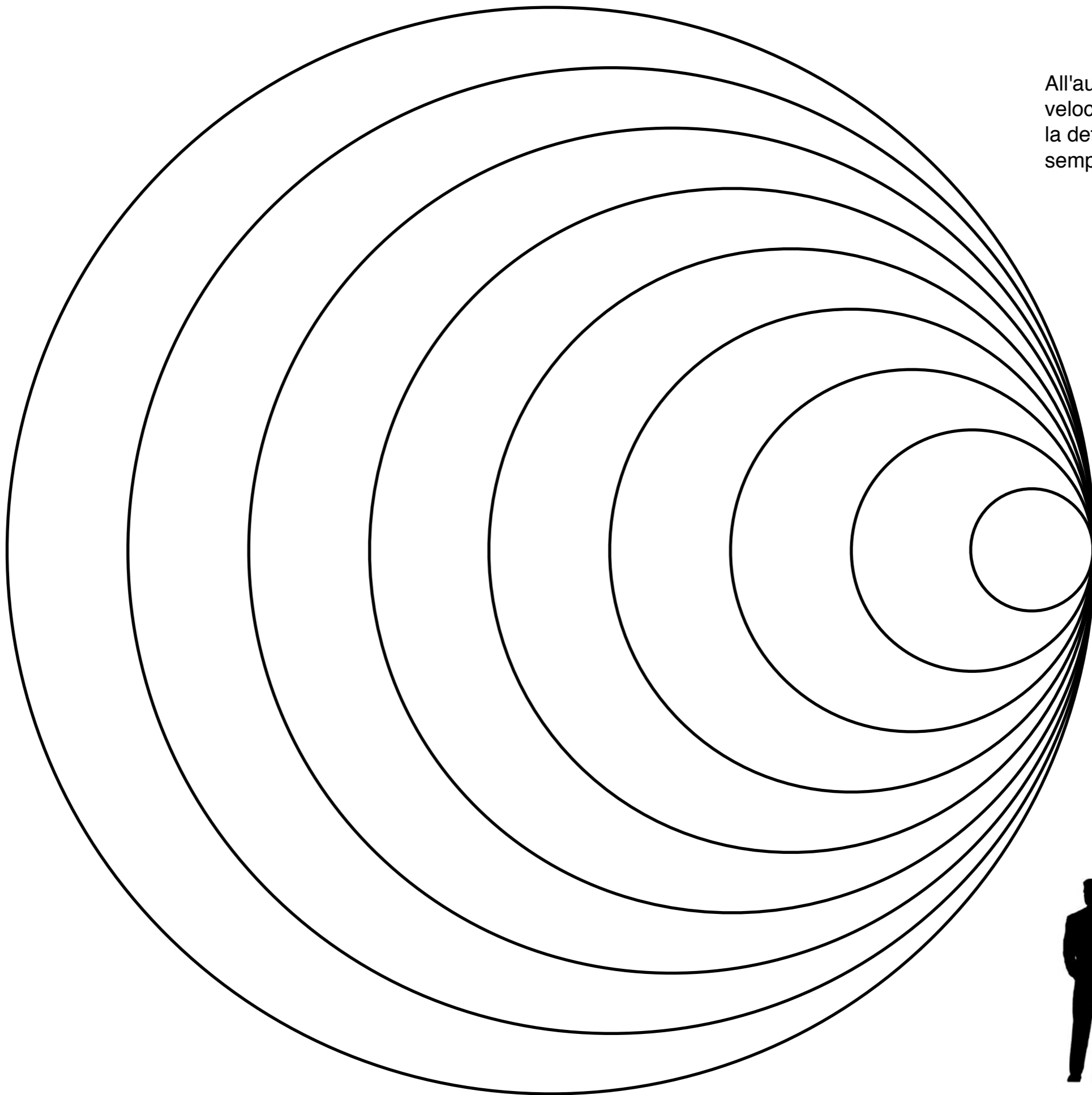
Se il perturbatore si muove mentre crea le onde, i cerchi che descrivono i loro fronti non saranno piu' concentrici ma come in figura



Ad un osservatore fermo, i fronti arriveranno in sequenza uno dopo l'altro



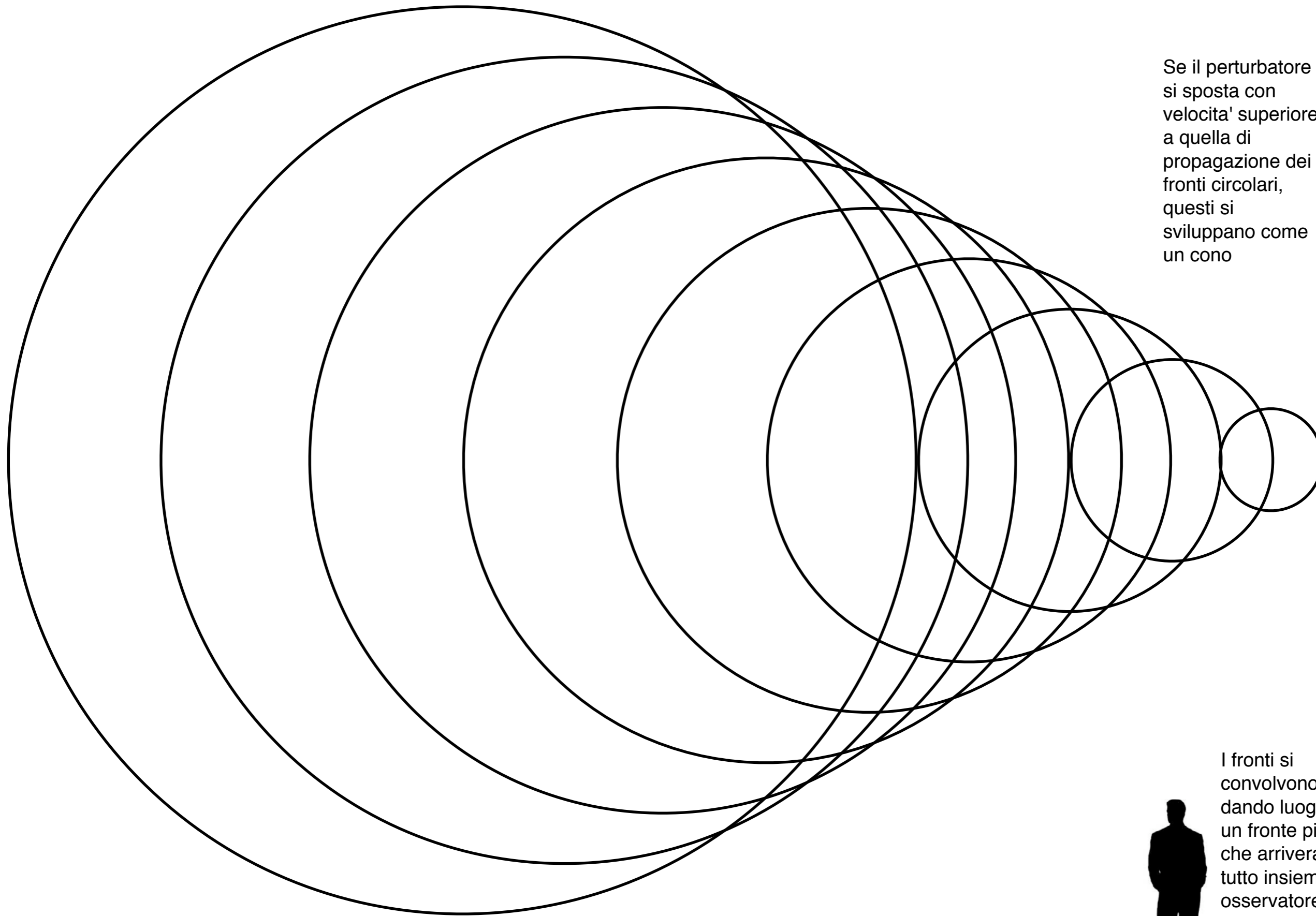
All'aumentare della
velocita' del perturbatore
la deformazione sara'
sempre piu' evidente



Ad un
osservatore
fermo, i fronti
arriveranno in
sequenza uno
dopo l'altro



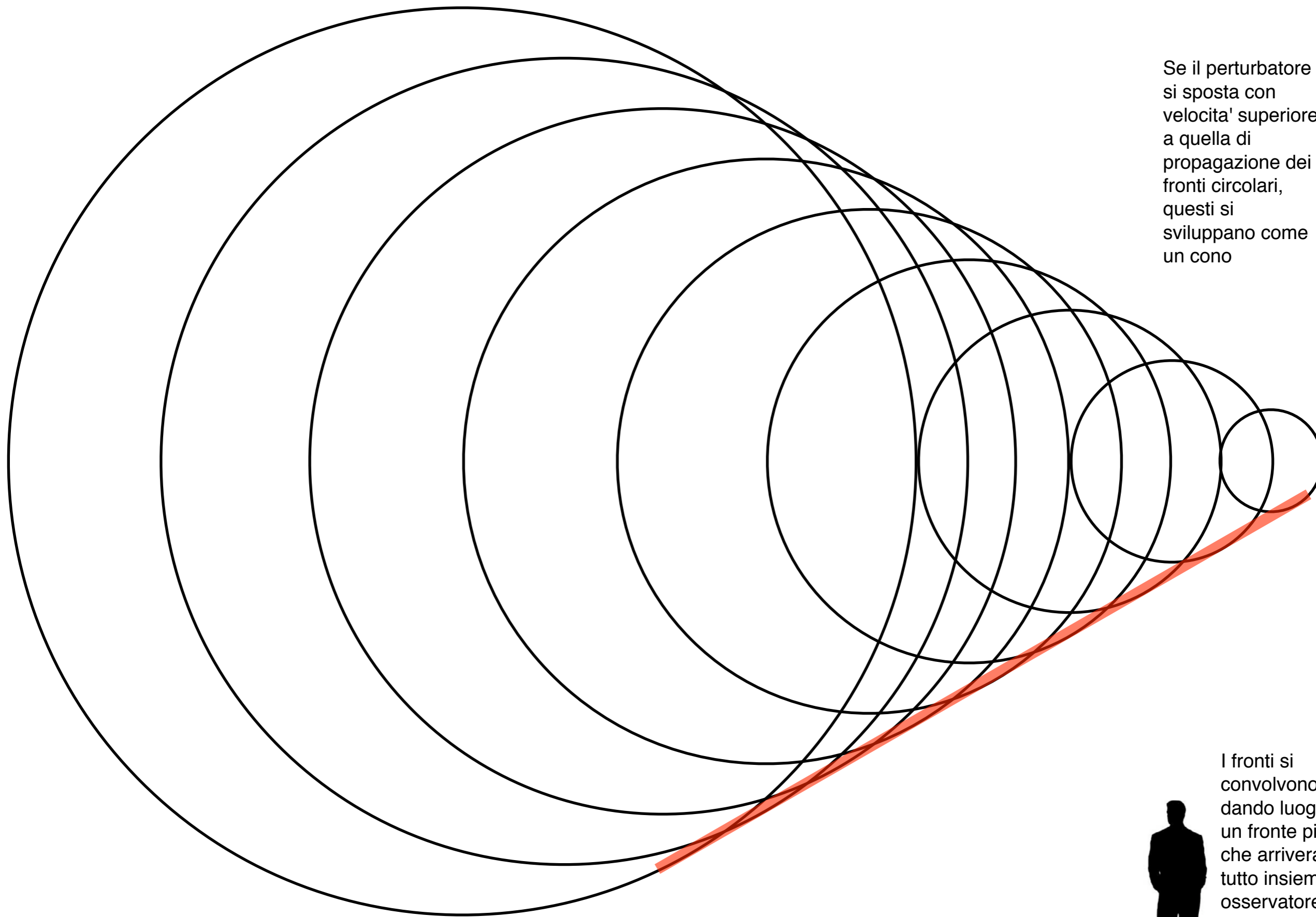
Se il perturbatore
si sposta con
velocita' superiore
a quella di
propagazione dei
fronti circolari,
questi si
sviluppano come
un cono



I fronti si
convolgono
dando luogo ad
un fronte piano
che arrivera'
tutto insieme all'
osservatore



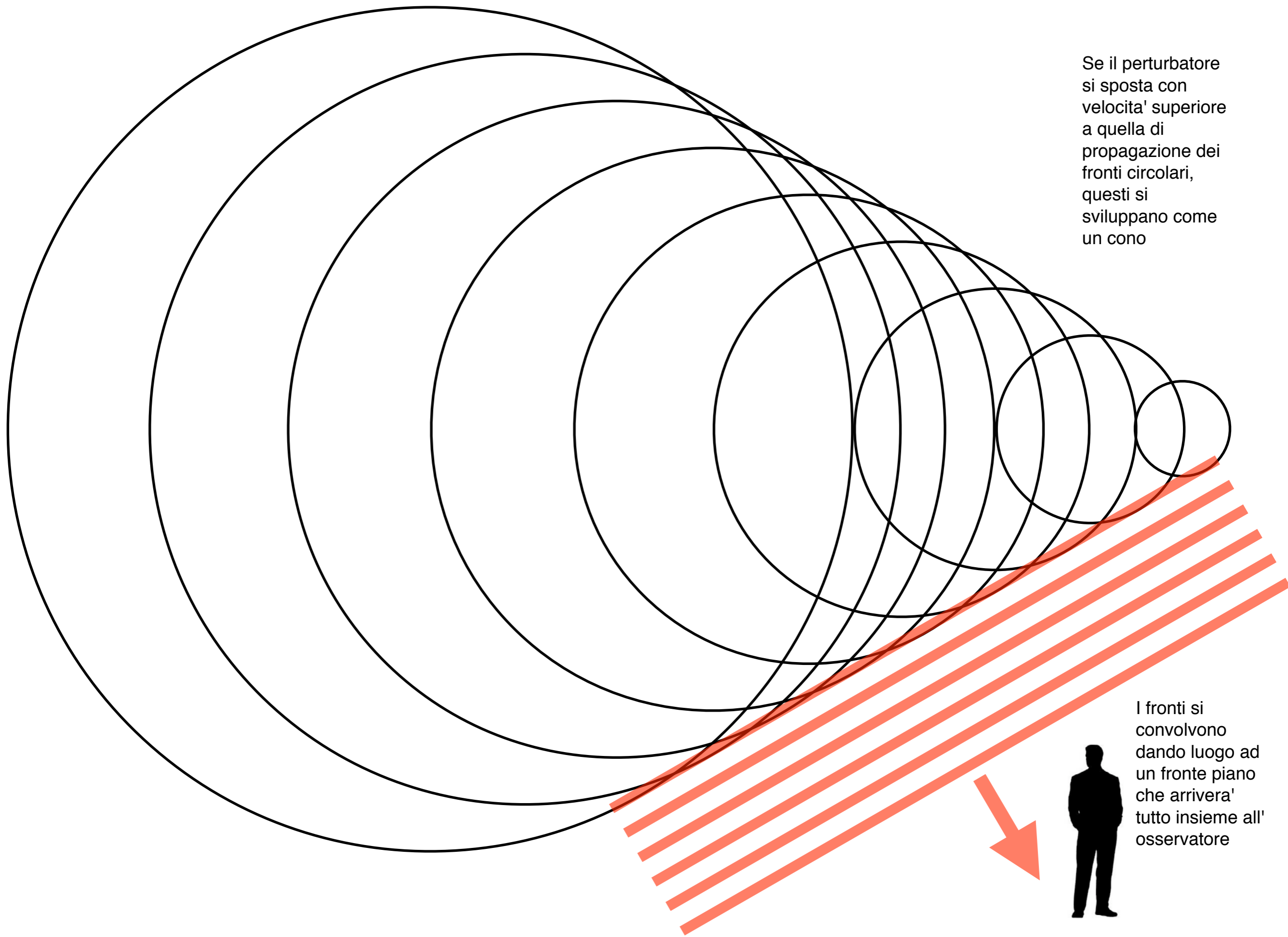
Se il perturbatore
si sposta con
velocita' superiore
a quella di
propagazione dei
fronti circolari,
questi si
sviluppano come
un cono



I fronti si
convolvono
dando luogo ad
un fronte piano
che arrivera'
tutto insieme all'
osservatore

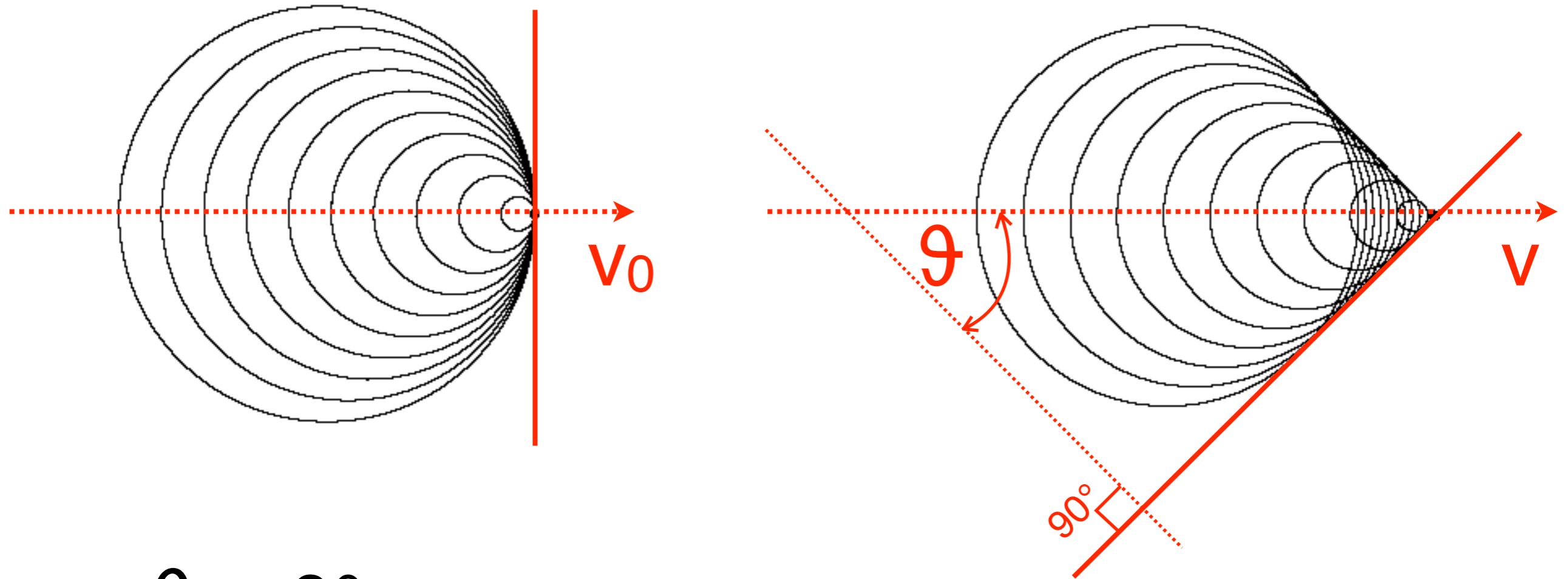


Se il perturbatore si sposta con velocità superiore a quella di propagazione dei fronti circolari, questi si sviluppano come un cono



I fronti si convolvono dando luogo ad un fronte piano che arriverà tutto insieme all'osservatore

Effetto Cherenkov



$$\theta = 0^\circ$$

$$\cos(0) = 1$$

$$v = v_0$$

$$\cos\theta = \frac{v_0}{v}$$

v_0 = velocità delle onde nel mezzo

v = velocità del perturbatore

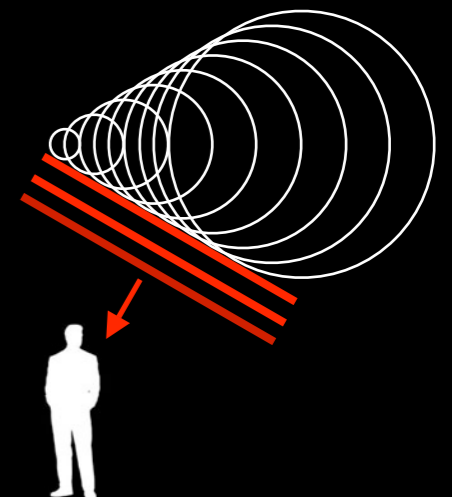


Filmato
<http://www.youtube.com/watch?v=7tWwQE4HqE8>



Filmato
<http://www.youtube.com/watch?v=krs2YRGEadk>

La velocità del perturbatore (aereo) è maggiore di quella di propagazione delle onde sonore.
Il cono Cherenkov è ben evidente a causa della transizione di fase che causa la formazione di condensa sul fronte.
Il fronte -in questo caso sonoro- giunge ad un ascoltatore come un unico forte impulso acustico. **Il bang supersonico.**



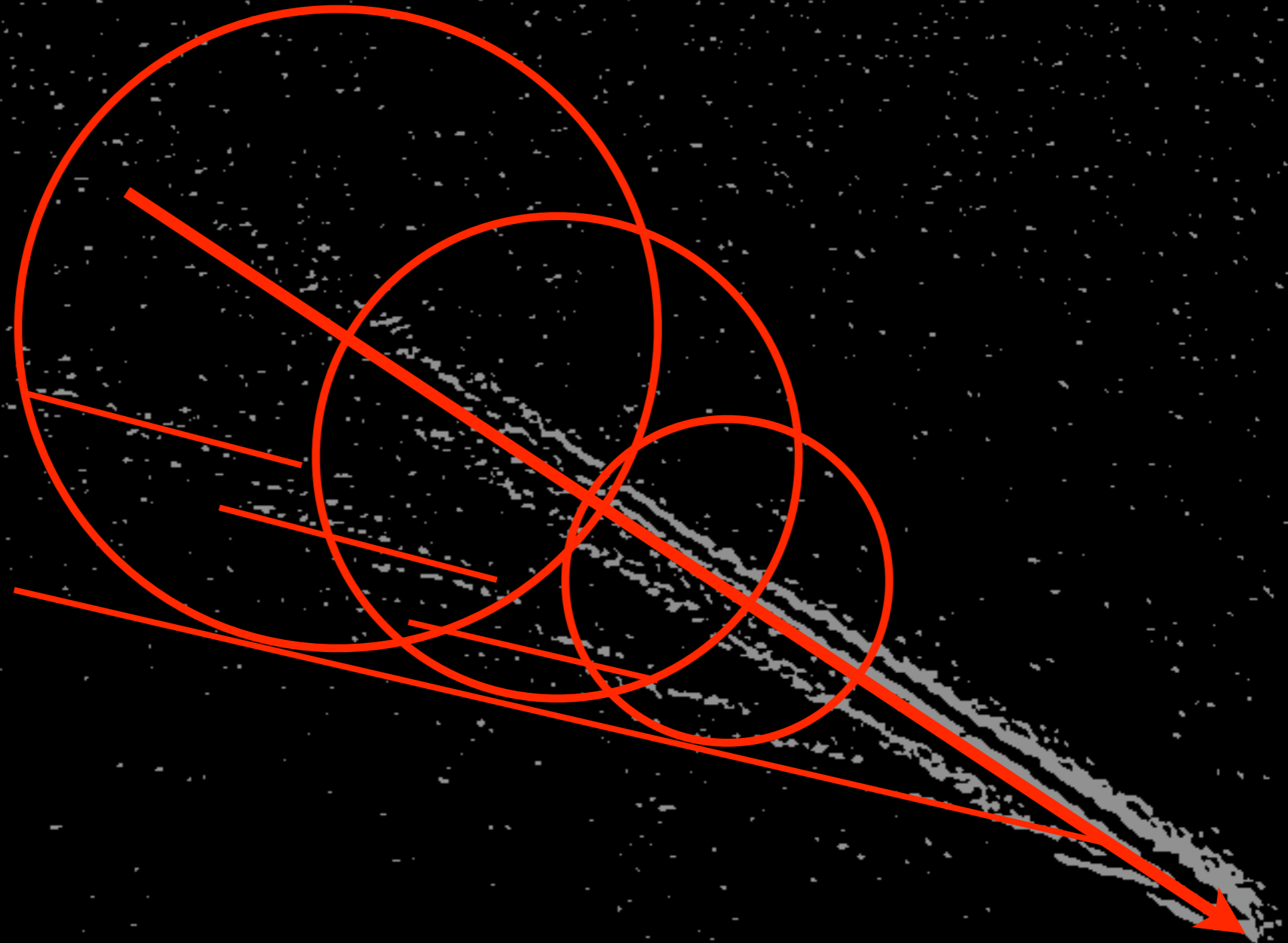
Effetto Cherenkov

vediamo cosa succede nel mare...

Effetto Cherenkov

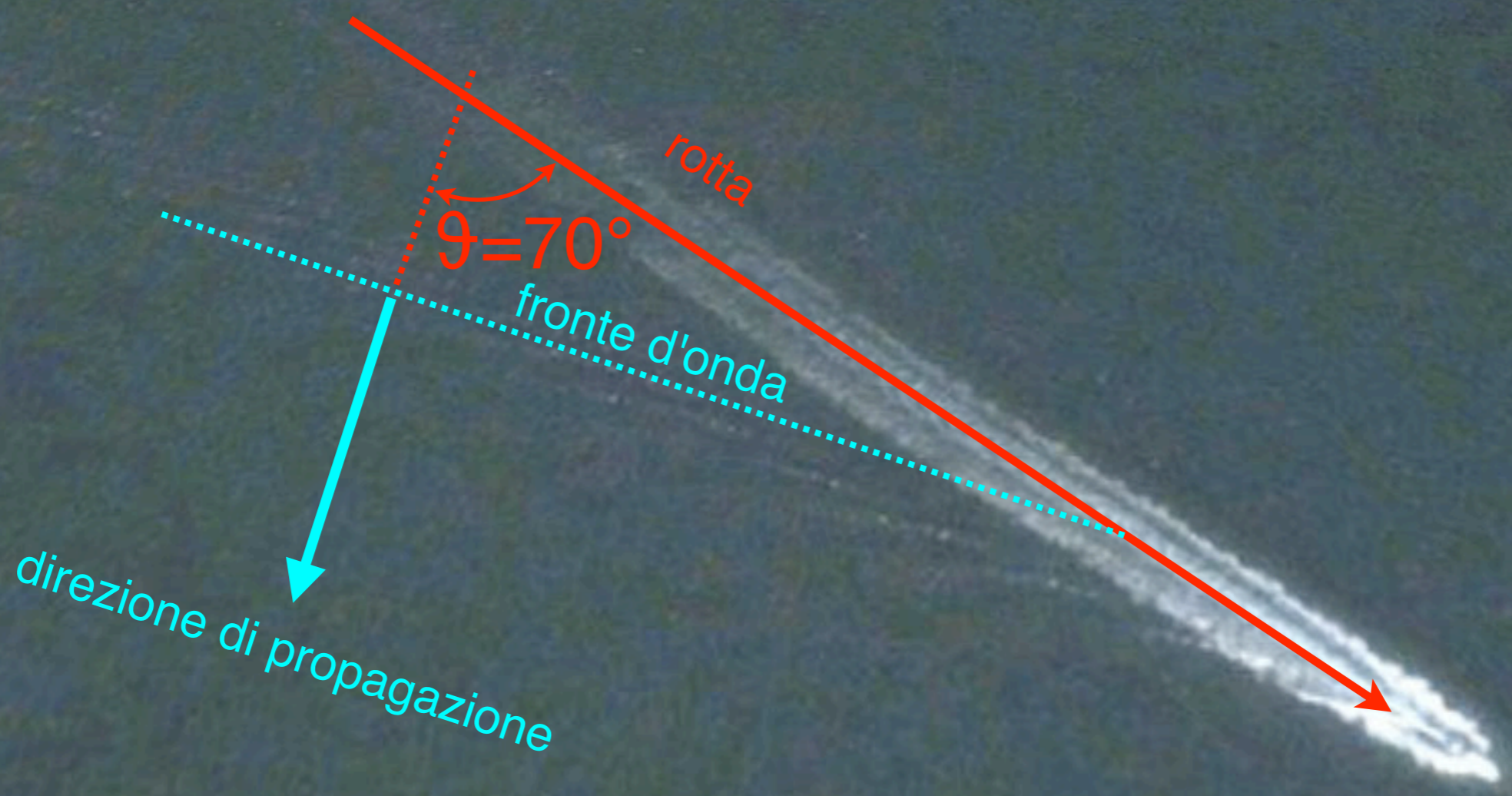


Effetto Cherenkov



Questa elaborazione grafica evidenzia il fronte d'onda piano risultante dall'involuppo dei fronti circolari

Effetto Cherenkov



Effetto Cherenkov



La velocità di un'onda con $\lambda = 12 \text{ m}$ e'

$v_0 = 4.3 \text{ m/s}$

15.5 km/h

8.4 kts



La velocità di un'onda con $\lambda = 12 \text{ m}$ e'

$$v_0 = 4.3 \text{ m/s}$$

$$15.5 \text{ km/h}$$

$$8.4 \text{ kts}$$

La velocità di questa barca e' $v = v_0 / \cos\theta$ [$\theta = 70^\circ$]

$$v = 12.6 \text{ m/s}$$

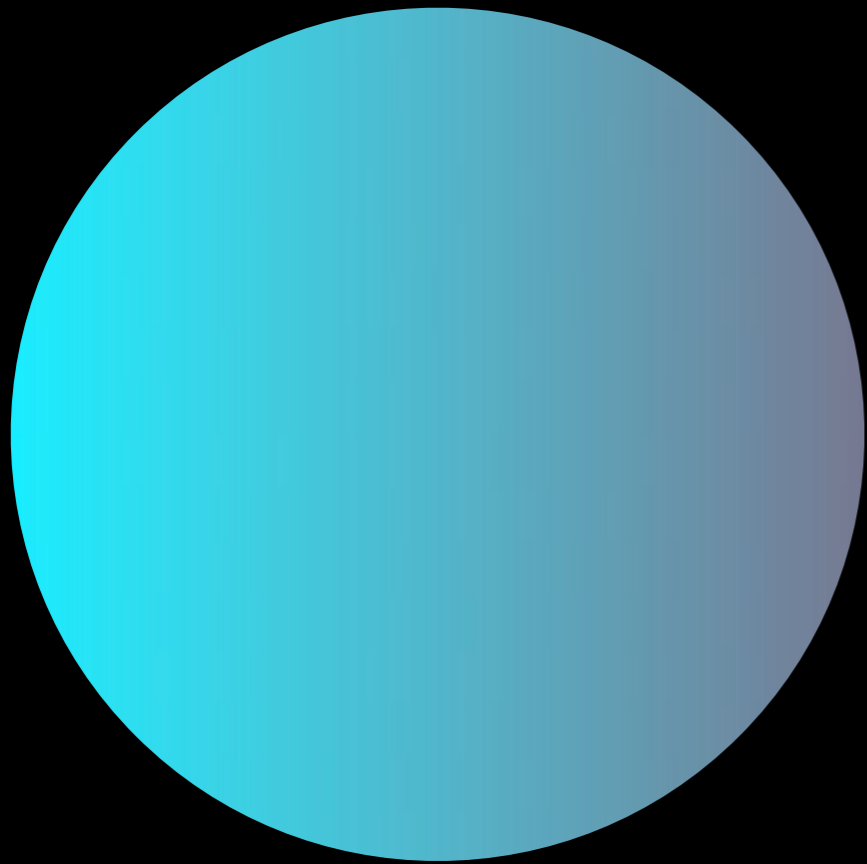
$$45.3 \text{ km/h}$$

$$24.4 \text{ kts}$$



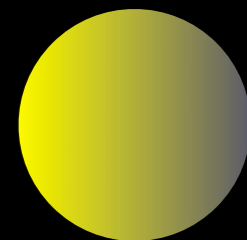
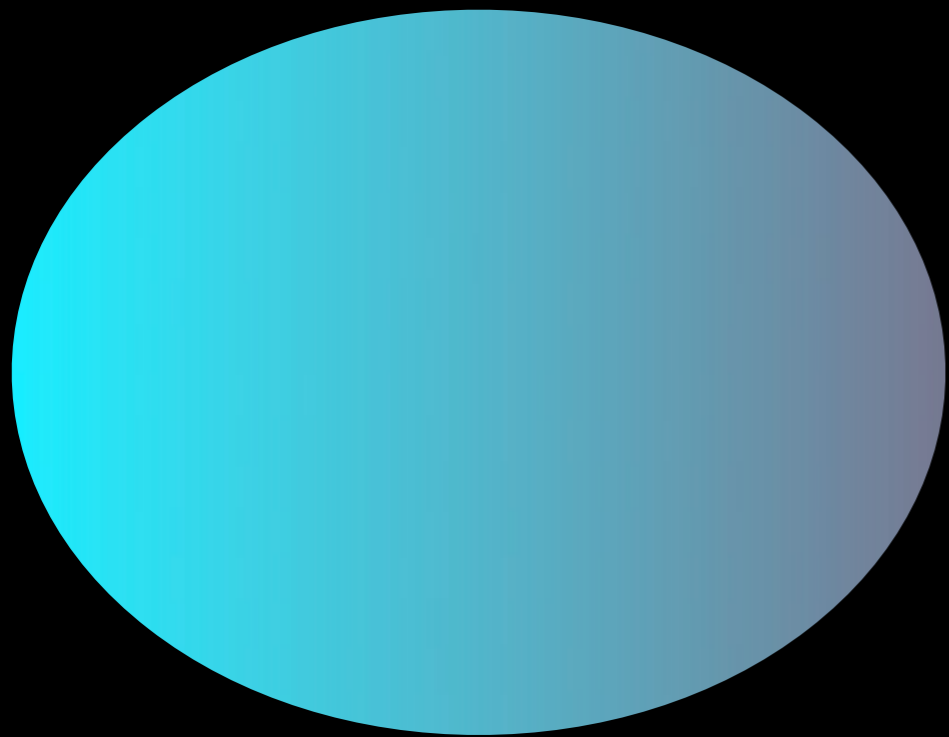
L'effetto Cherenkov, nel caso di un'imbarcazione che supera la propria velocità di carena, e' la scia!





La marea si comporta localmente come un'onda molto lenta

La marea



La marea si comporta localmente come un'onda molto lenta

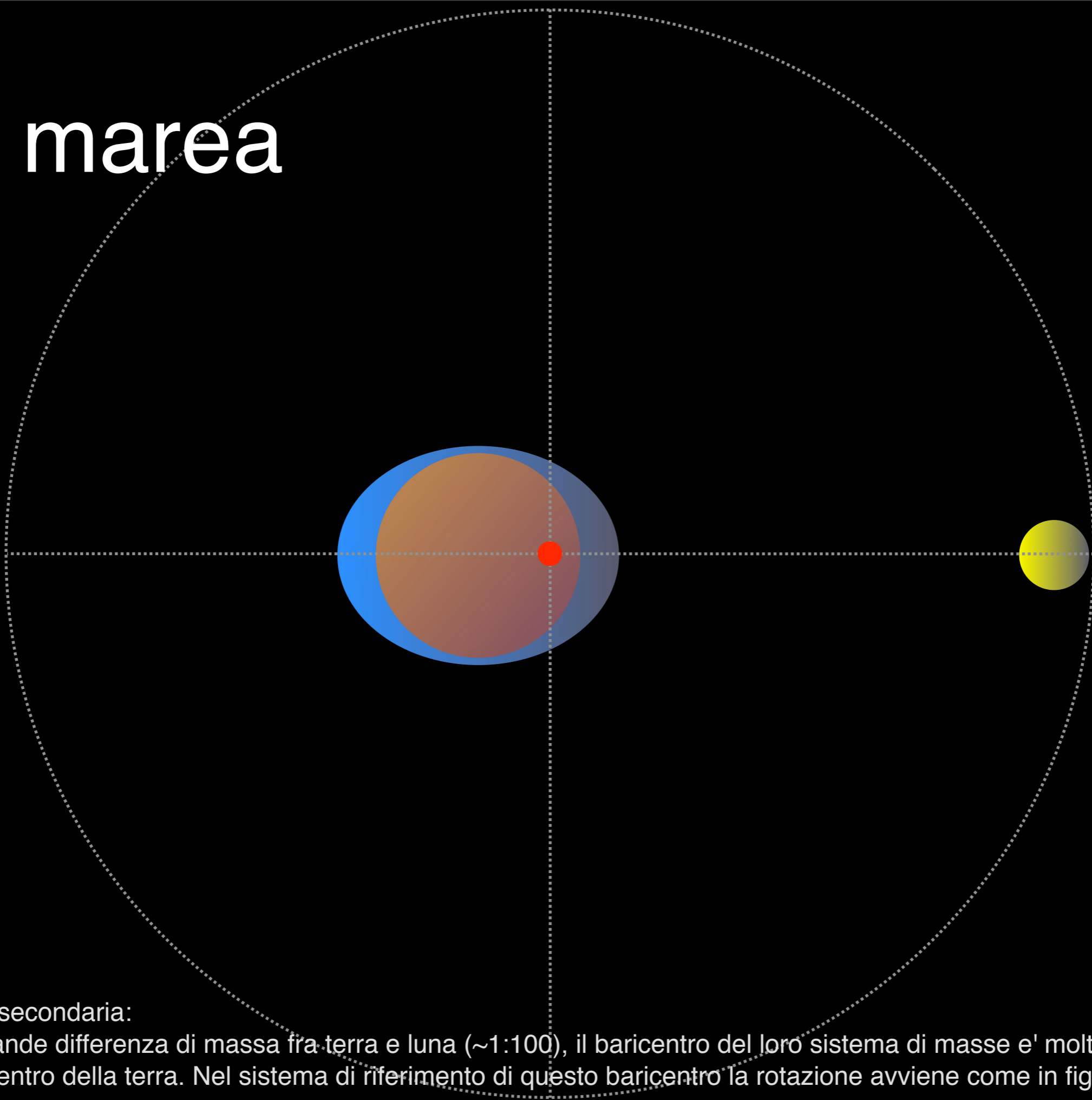
La marea



La marea e' alta in due punti agli antipodi

La **gobba primaria** e' dovuta all'effetto dell'attrazione gravitazionale esercitata dalla luna sulla massa d'acqua
La **gobba secondaria** si spiega in un'altro modo...

La marea



La gobba secondaria:

data la grande differenza di massa fra terra e luna ($\sim 1:100$), il baricentro del loro sistema di masse e' molto vicino al centro della terra. Nel sistema di riferimento di questo baricentro la rotazione avviene come in figura...

La marea

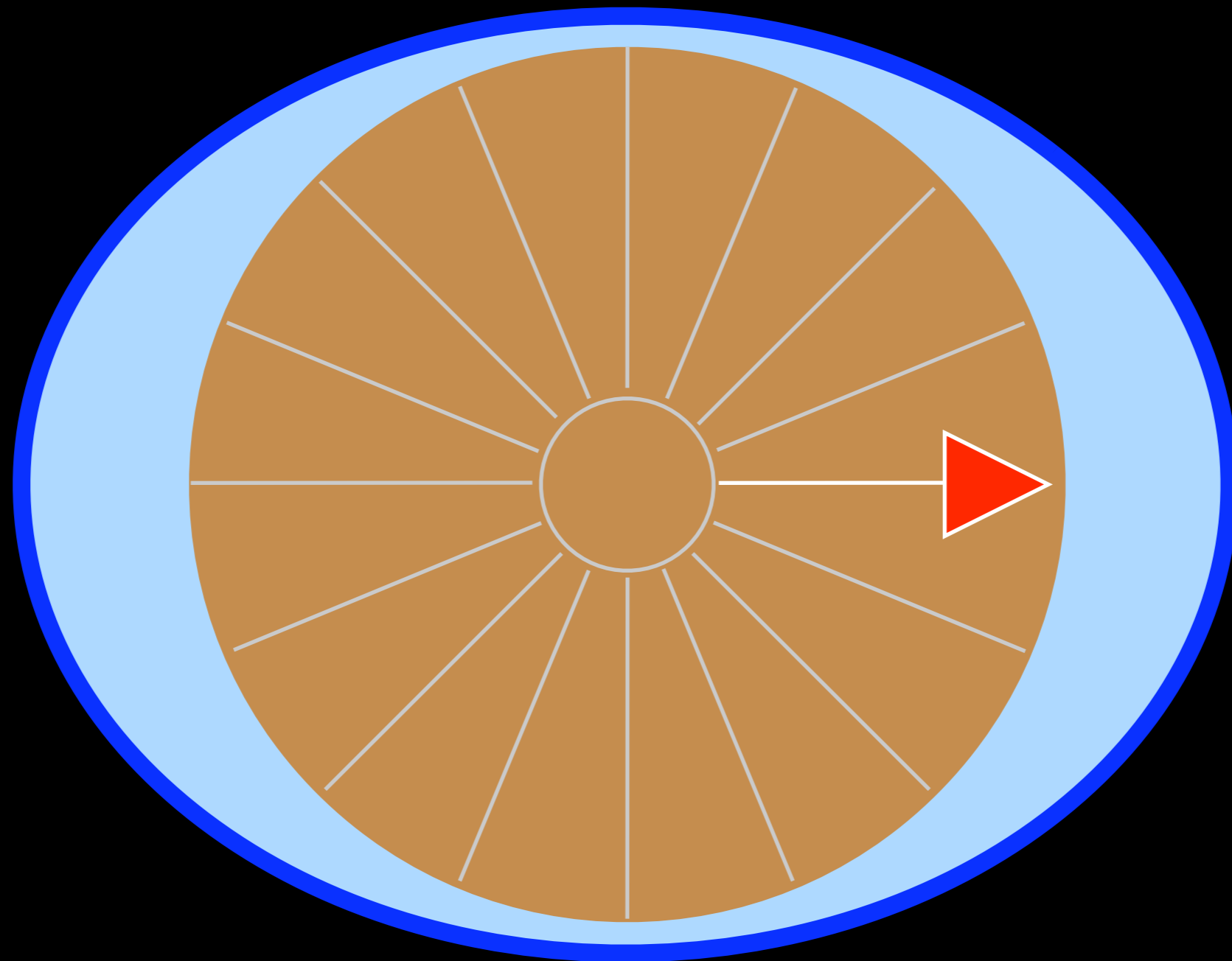
forza centrifuga



La gobba secondaria:
se osserviamo bene il $\&\} d[\text{Á}\text{á}[\text{æ} \text{á}] \wedge$ della Terra,
vediamo che $\bullet \text{á} \text{e}$ una rotazione eccentrica...

...e quindi si manifesta una forza centrifuga che e'
la causa della gobba secondaria

La marea



Guardiamo bene la marea:
se osserviamo cosa succede in un punto della terra nel corso delle 24 ore vediamo che c'è una sequenza di innalzamenti e abbassamenti del livello del mare: **l'onda di marea**

L'alta marea



La bassa marea

