



**UNIVERSITÀ
DI PARMA**



**ASSOCIAZIONE DI INGEGNERIA
OFF-SHORE E MARINA**

Buoyancy transfer in a two-layer system in transient and steady state. Experiments in a wave flume

Luca Chiapponi

Diana Petrolo

Sandro Longo

OBIETTIVI

Gli scambi lungo la colonna liquida dei corpi idrici, hanno un ruolo primario nei processi di diffusione e di dispersione, e sono un catalizzatore per molte reazioni chimico-fisiche fondamentali nei bilanci a scala globale e nell'evoluzione climatica.

Gli oceani sono i corpi idrici di maggiore consistenza, e sono intensivamente studiati; tuttavia, la **surf-zone**, comprensiva anche delle marshes, si estende per decine di migliaia di chilometri e dunque merita un'attenzione particolare, anche perché buona parte delle acque interne confluiscono a mare nella surf-zone.

Lo scopo dell'analisi teorico-sperimentale proposta, è l'individuazione e la **quantificazione dei processi fisici che controllano il vertical mixing nella surf-zone**, considerando dominante la forzante periodica delle **onde** generate dal vento.

OBIETTIVI

Per inquadrare i fenomeni oggetto di indagine, riferiremo

- (i) delle analisi già eseguite sul **vertical mixing controllato dalla turbolenza**;
- (ii) dei primi risultati qualitativi sul **vertical mixing controllato da onde periodiche regolari**.

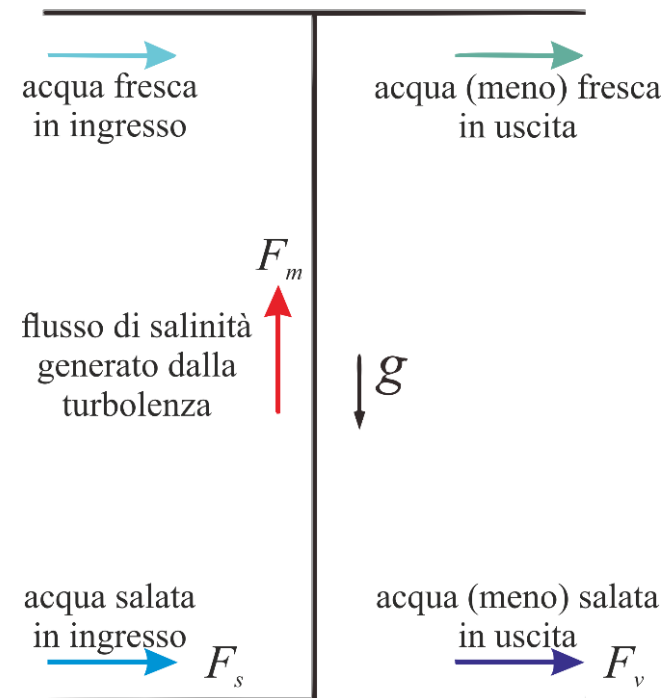
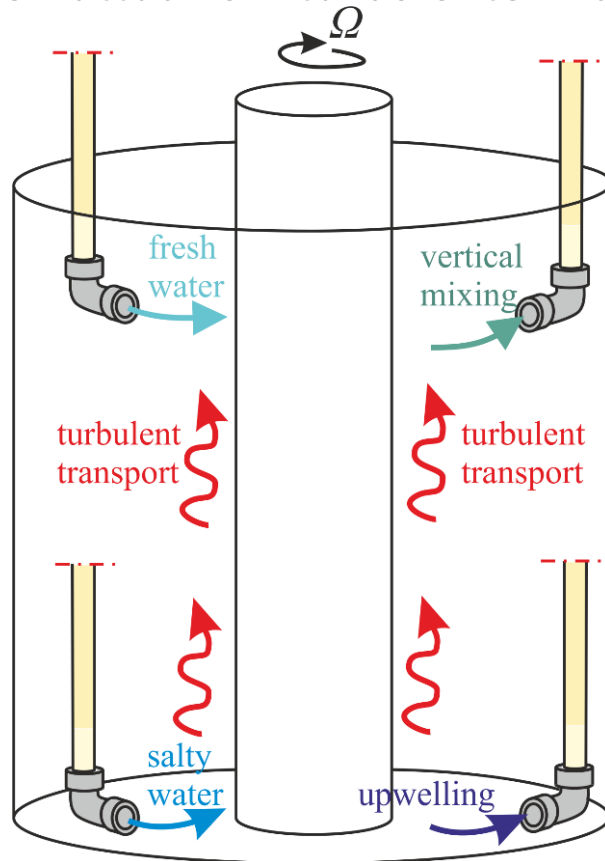
References

- Petrolo, D. & Woods, A.W. *Measurements of buoyancy flux in a stratified turbulent flow*, Journal of Fluid Mechanics Rapids, 2019
- Petrolo, D. & Longo, S. *Buoyancy transfer in a two-layer system in steady state. Experiments in a Taylor-Couette cell*. Journal of Fluid Mechanics, Vol. 896, 2020

INTRODUZIONE: scopo dello studio

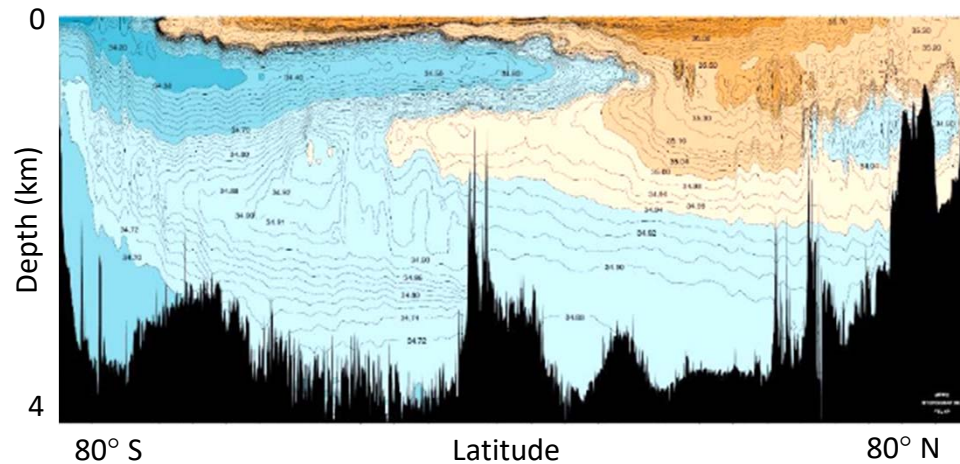
Il turbulent mixing di una stratificazione di densità stabile gioca un ruolo chiave in molti processi ambientali e geofisici, compresa la circolazione degli oceani.

In un fluido stabilmente stratificato, il turbulent mixing esegue un lavoro contro la forza di gravità: una stratificazione stabile può ridurre il rimescolamento verticale del fluido sopprimendo le fluttuazioni turbolente in direzione verticale.

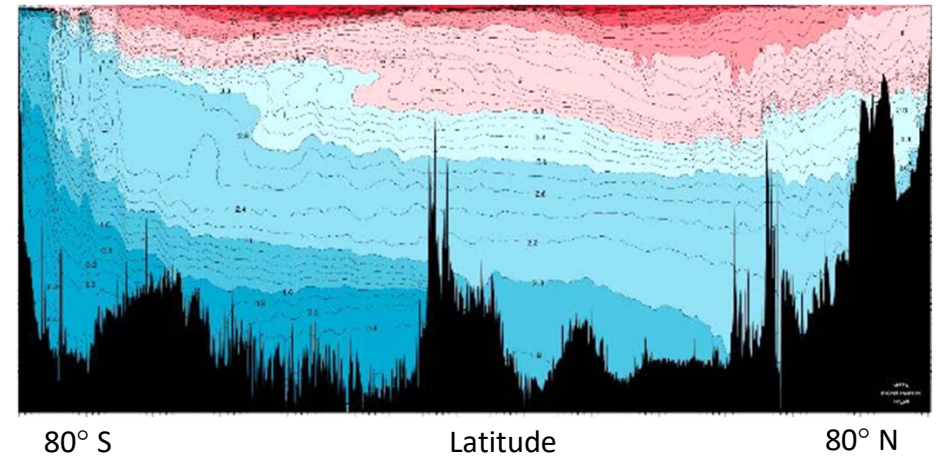


INTRODUZIONE: La stratificazione dell'oceano

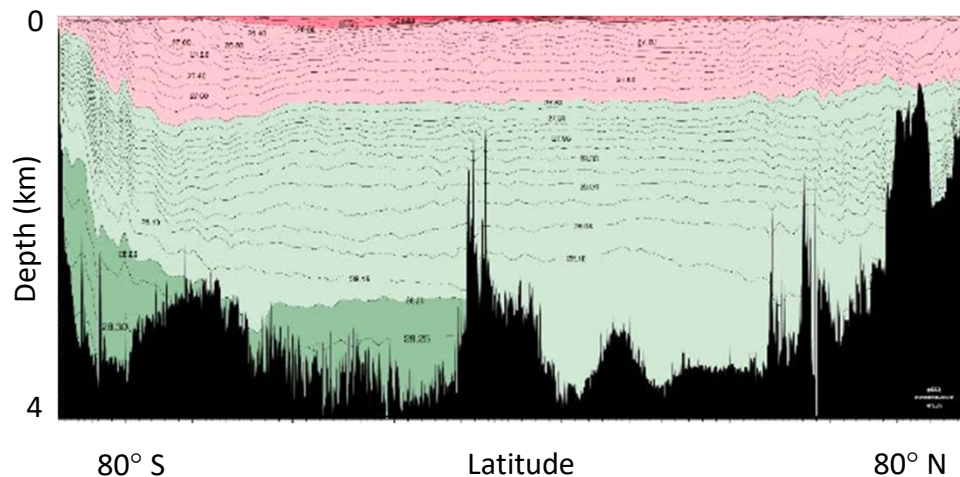
Salinità



Temperatura Potenziale



Densità neutra



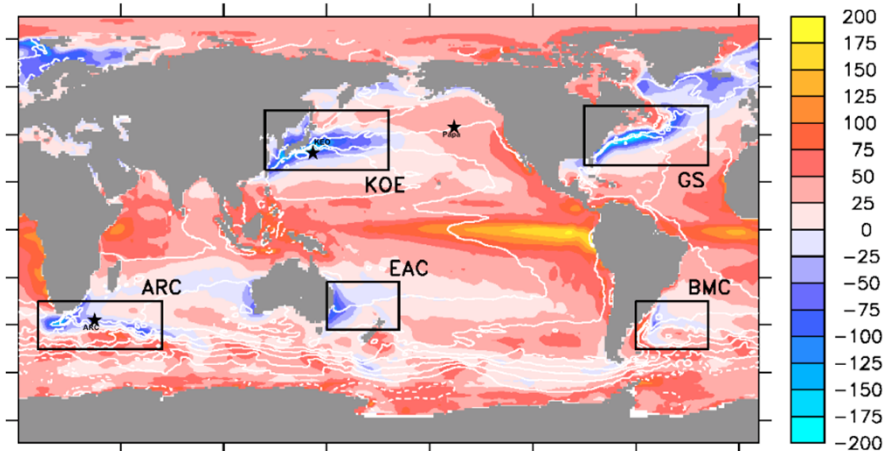
La densità dell'acqua nell'oceano dipende da **salinità**, **temperatura** e **pressione**:

$$\rho = \rho_0(1 + \beta S - \alpha T)$$

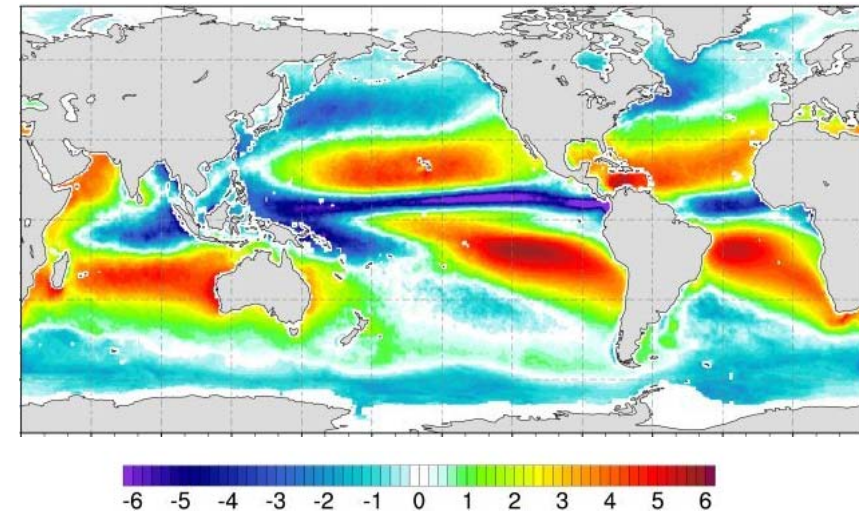
La maggior parte delle masse oceaniche sono stabilmente stratificate, con la densità che aumenta monotonicamente con la profondità e con **superfici isopicnali quasi orizzontali**.

INTRODUZIONE: I drivers della circolazione oceanica

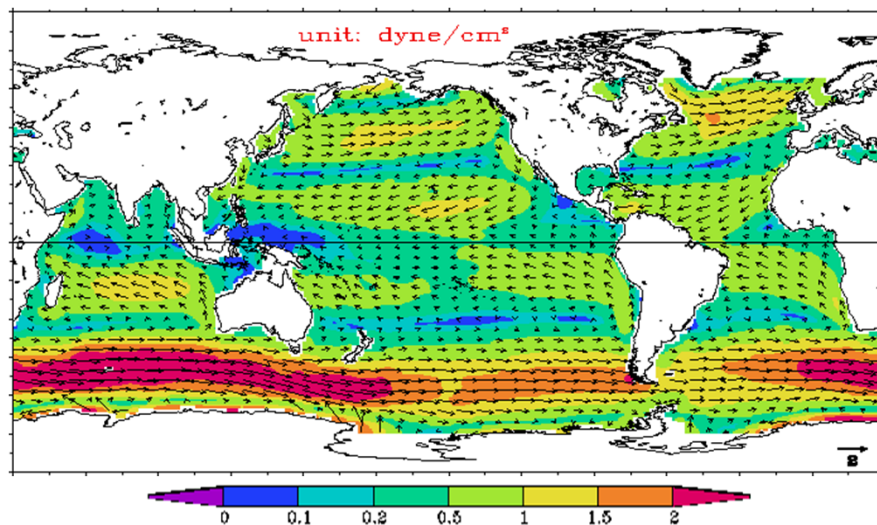
Flusso termico netto medio ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)



Flusso di acqua dolce ($\text{mm}\cdot\text{d}^{-1}$)



Wind stress ($\text{dyn}\cdot\text{cm}^{-2}$)



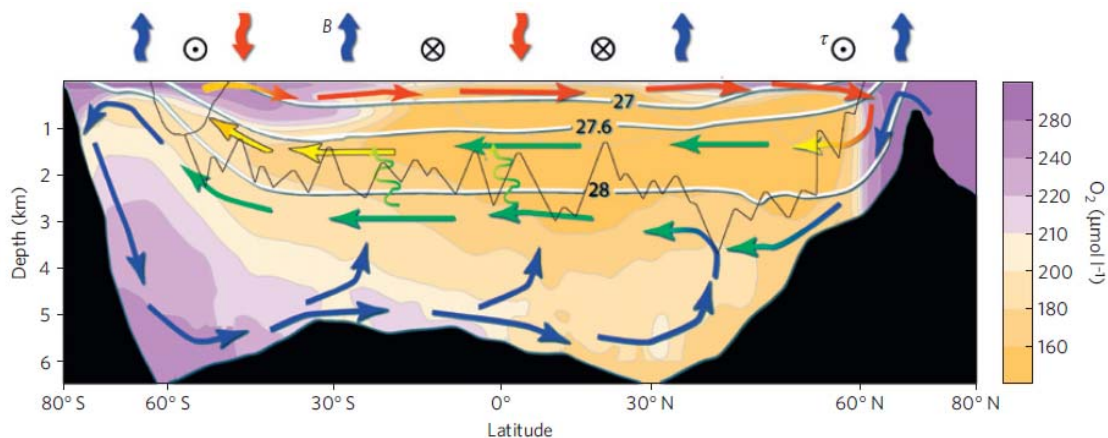
Il calore, il flusso di acqua dolce e il wind stress sono le principali **forzanti della circolazione nell'oceano**, e si manifestano tutte in prossimità della **superficie**.

All'interno delle masse d'acqua oceaniche, la densità si modifica grazie al **rimescolamento turbolento**.

INTRODUZIONE: I drivers della circolazione oceanica

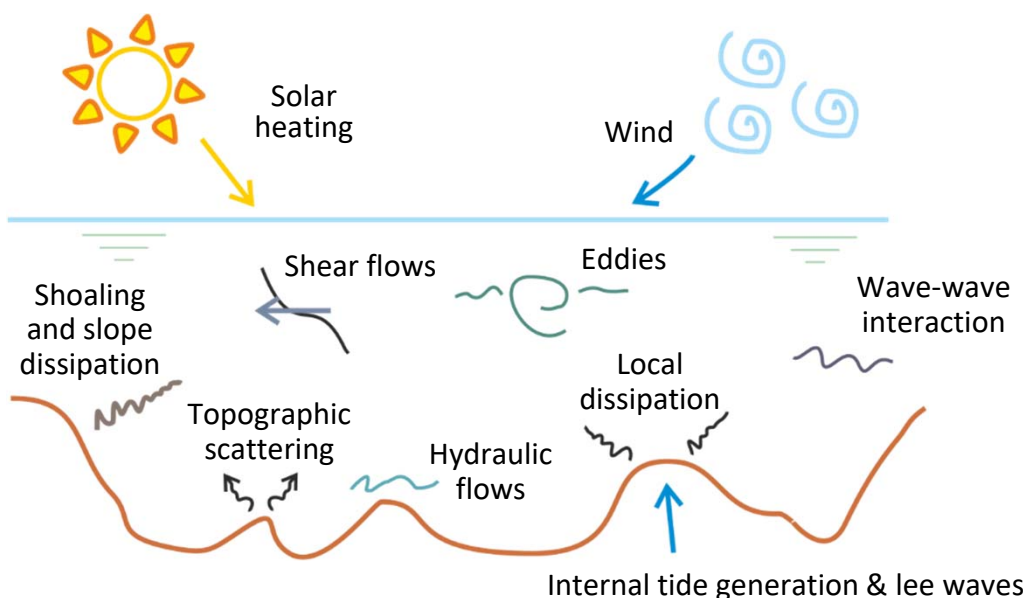
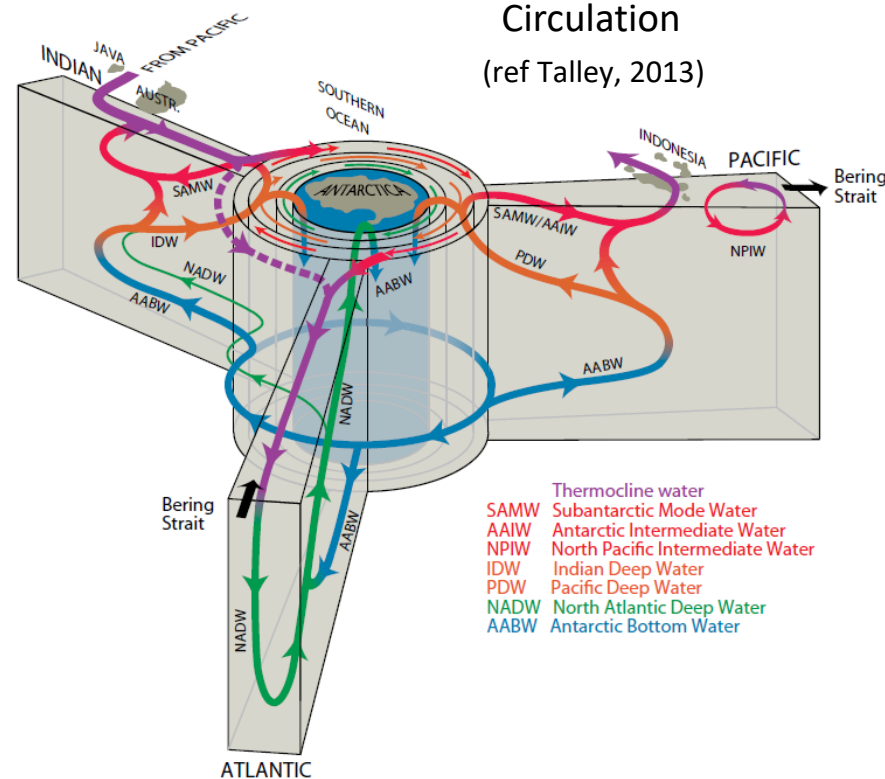
Cella inferiore e superiore dell'Oceano Atlantico

(ref Marshall and Speer, 2012)



3D schematics of the global Meridional Overturning Circulation

(ref Talley, 2013)



Il mescolamento nell'interno dell'oceano può essere causato dal frangimento di onde interne, da vortici e correnti alla mesoscala, dalla dissipazione di energia lungo le scarpate e dalla macroscabrezza del fondale...

METODI: Il dispositivo sperimentale

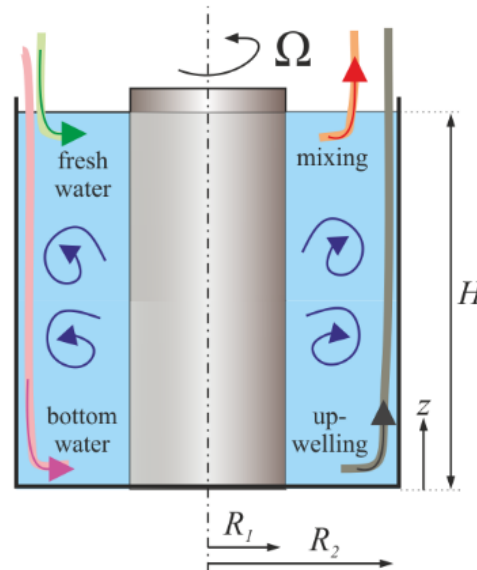


UNIVERSITÀ
DI PARMA

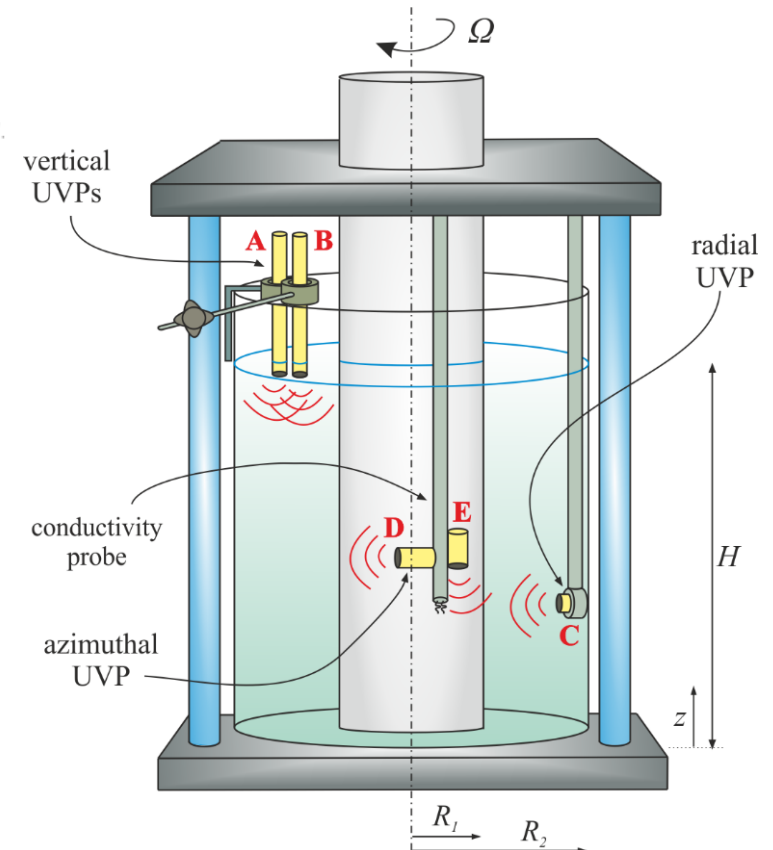
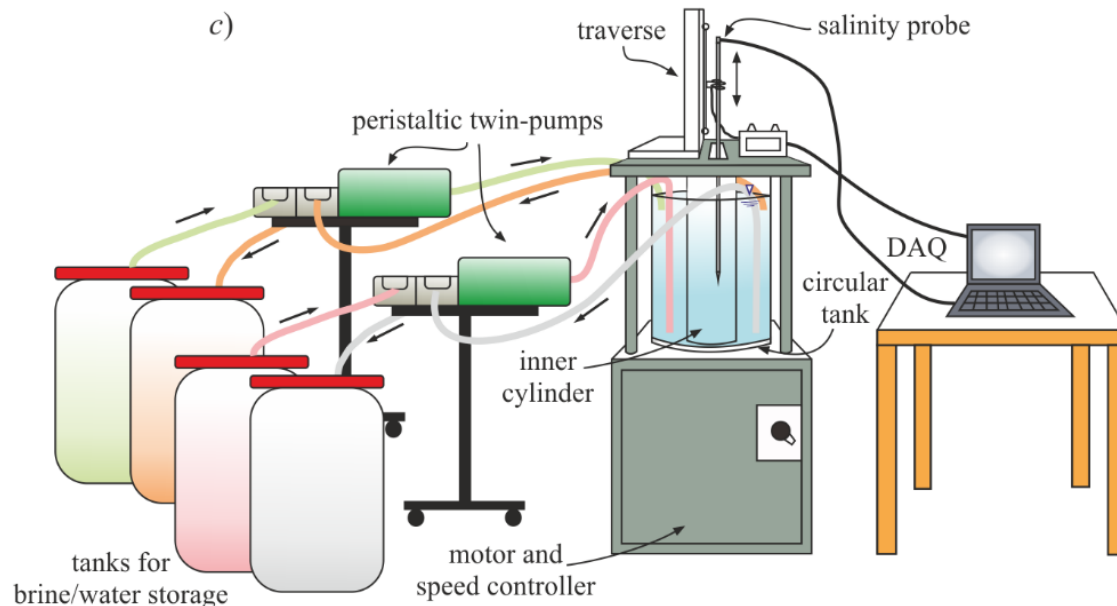


UNIVERSITY OF
CAMBRIDGE

La cella di Taylor-Couette genera un mixing turbolento NON invasivo. Modificando i rapporti tra i flussi, si simula sia la sola **diffusione**, sia la **diffusione + convezione verticale**.



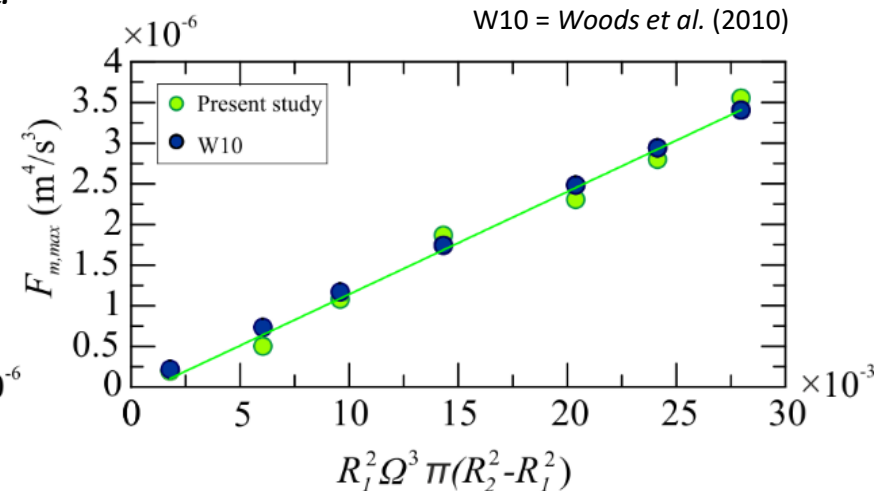
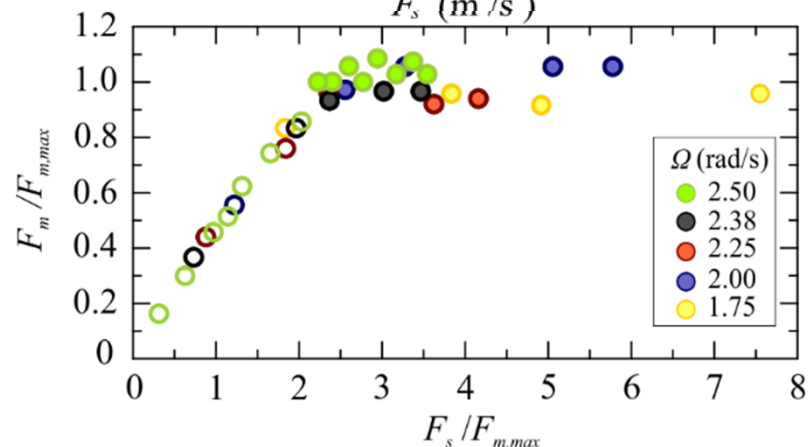
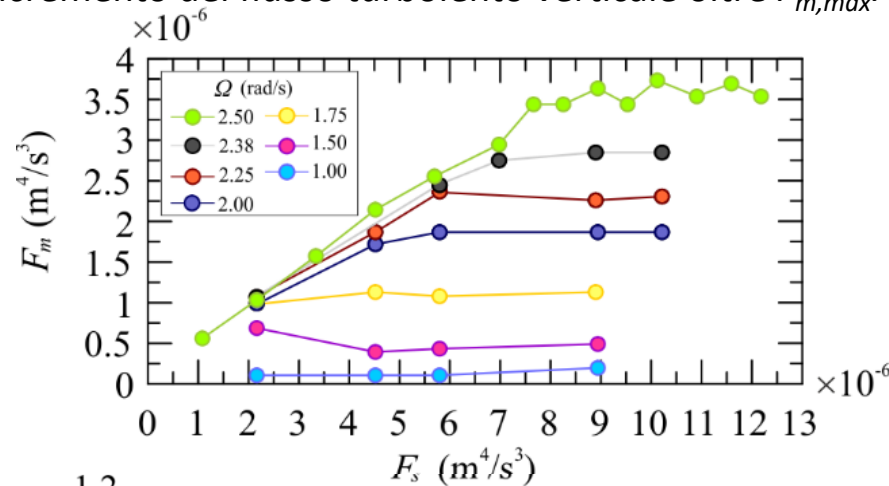
- Sources/sinks di salinità
- Conductivity probe
- Ultrasonic Velocity Profilers



RISULTATI parte I: il flusso verticale di salinità

esperimenti in assenza di convezione verticale

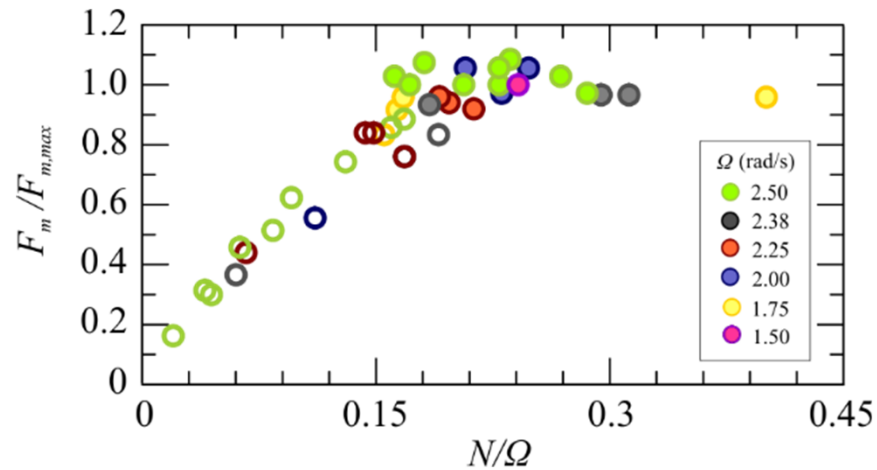
Modificando la velocità di rotazione, risulta che il flusso verticale di salinità $F_m = gu \cdot A \Delta S$ cresce linearmente con la concentrazione di sale della sorgente, fino a raggiungere un massimo $F_{m,max}$. Definiamo questo massimo come la condizione di **flusso saturo**, nella quale il trasporto verticale è **limitato dalla turbolenza** (cioè, dalla velocità di rotazione angolare della cella). Un ulteriore incremento del flusso di salinità in ingresso alla base, F_s , non provoca un incremento del flusso turbolento verticale oltre $F_{m,max}$.



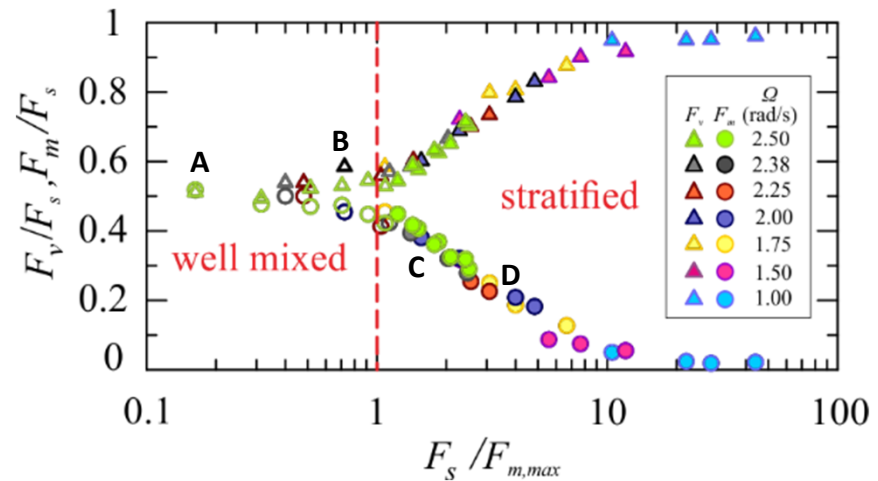
Il flusso massimo in condizioni di saturazione scala con Ω^3 .

Al contrario, **bassi flussi in ingresso alla base (F_s) limitano il flusso verticale turbolento (F_m)**. Tale regime viene definito di **flusso insaturo**.

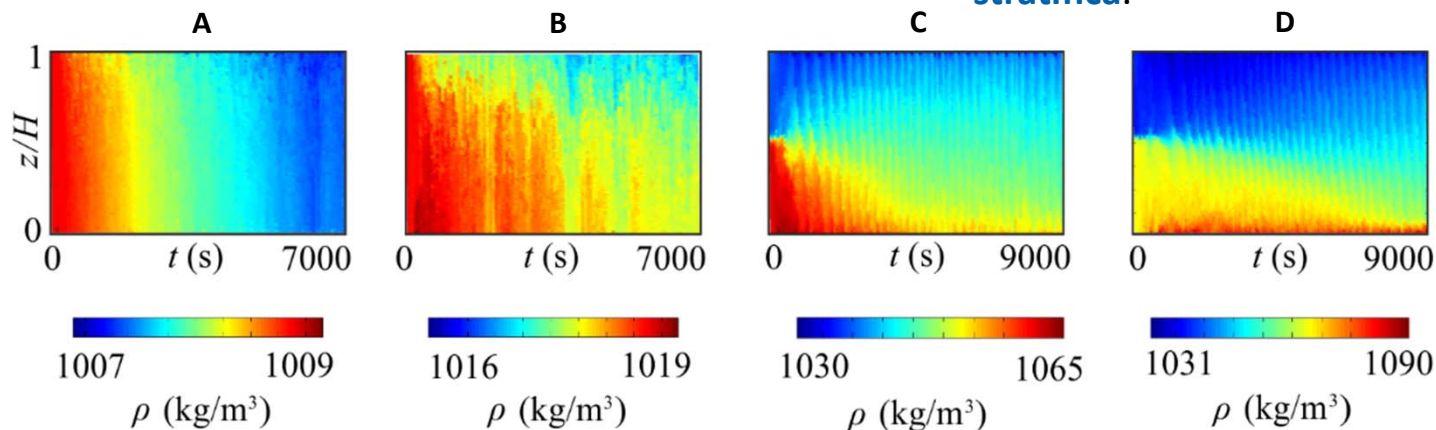
RISULTATI parte I : Stratificazione



Il flusso verticale, adimensionalizzato con il suo massimo, cresce linearmente con N/Ω per $0.02 < N/\Omega < 0.16$, e raggiunge un plateau per valori più elevati di N/Ω . $N=[(-g/\rho_0) d\rho/dz]^{0.5}$ è la **frequenza di Brunt-Väisälä**.



Per valori piccoli del flusso di salinità in ingresso, il flusso verticale è approssimativamente uguale al flusso in uscita alla base, con una ripartizione al 50%. Incrementando il flusso in ingresso, oppure riducendo la velocità di rotazione (il livello di turbolenza), il flusso verticale si riduce progressivamente e il sistema si **stratifica**.

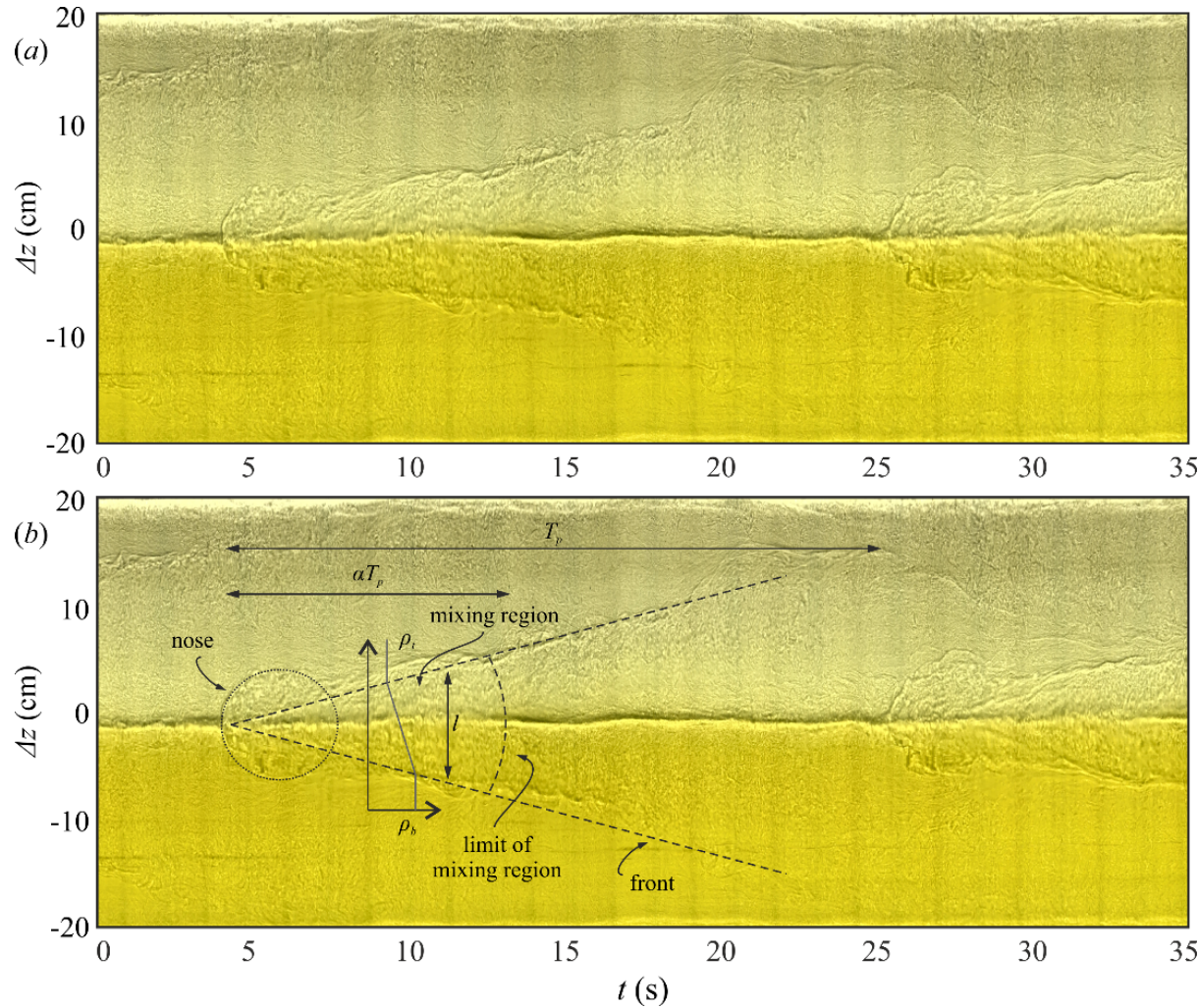


Il processo di mescolamento avviene con una serie di strati che si formano alla base o nella parte superiore e si propagano verso il dominio opposto.

RISULTATI parte II : Wake-like perturbation all'interfaccia



RISULTATI parte II : Wake-like perturbation all'interfaccia



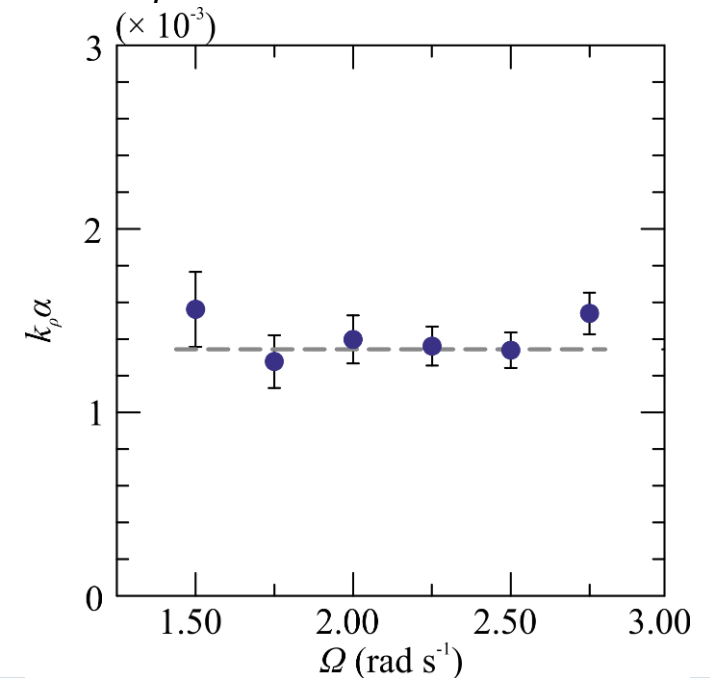
$$\overline{\rho'w'}(t) = -D(t) \frac{(\rho_b - \rho_t)}{\delta(t)}$$

top layer bottom layer
 diffusivity thickness of the mixing region

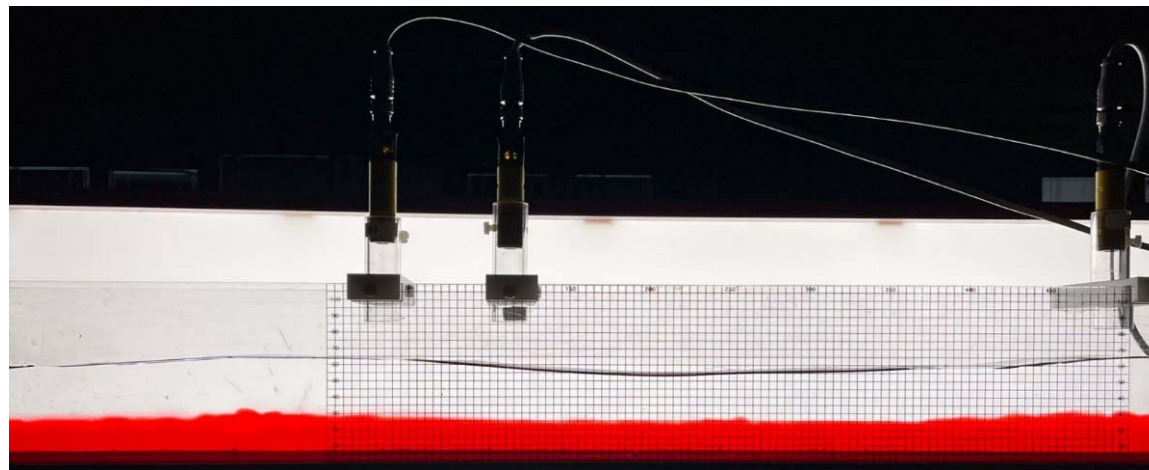
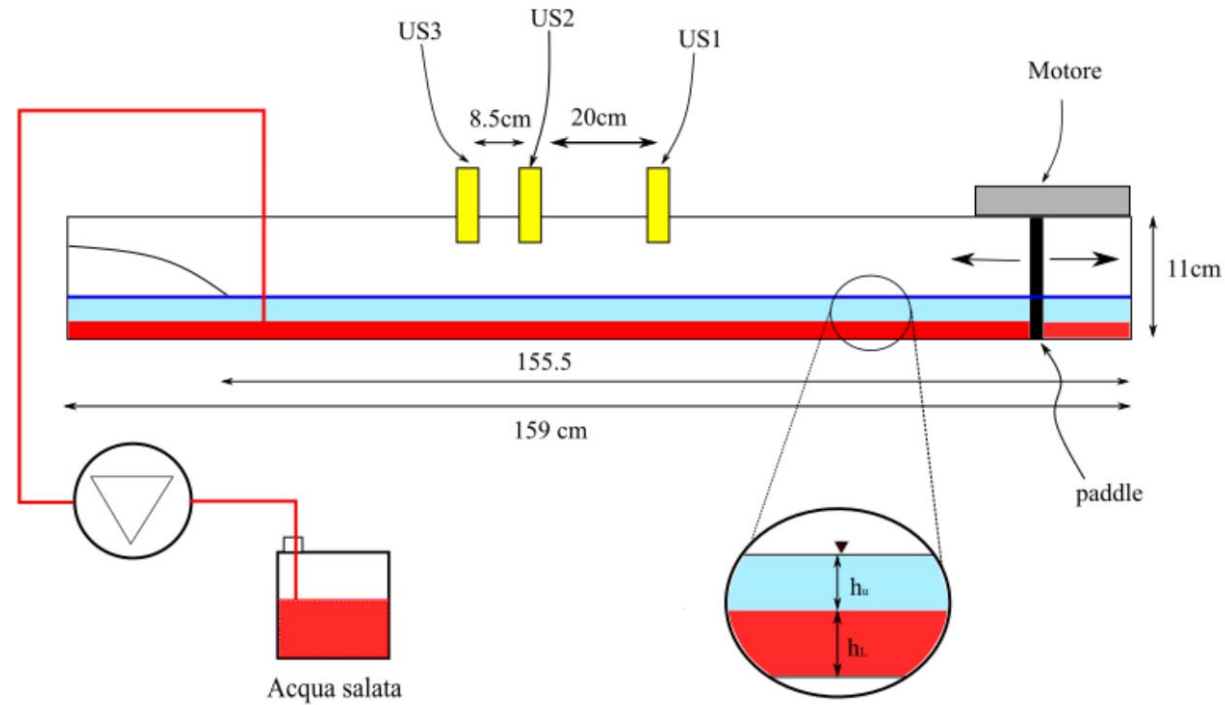
Se esprimiamo la diffusività

$$D(t) = k_\rho \delta(t) c,$$

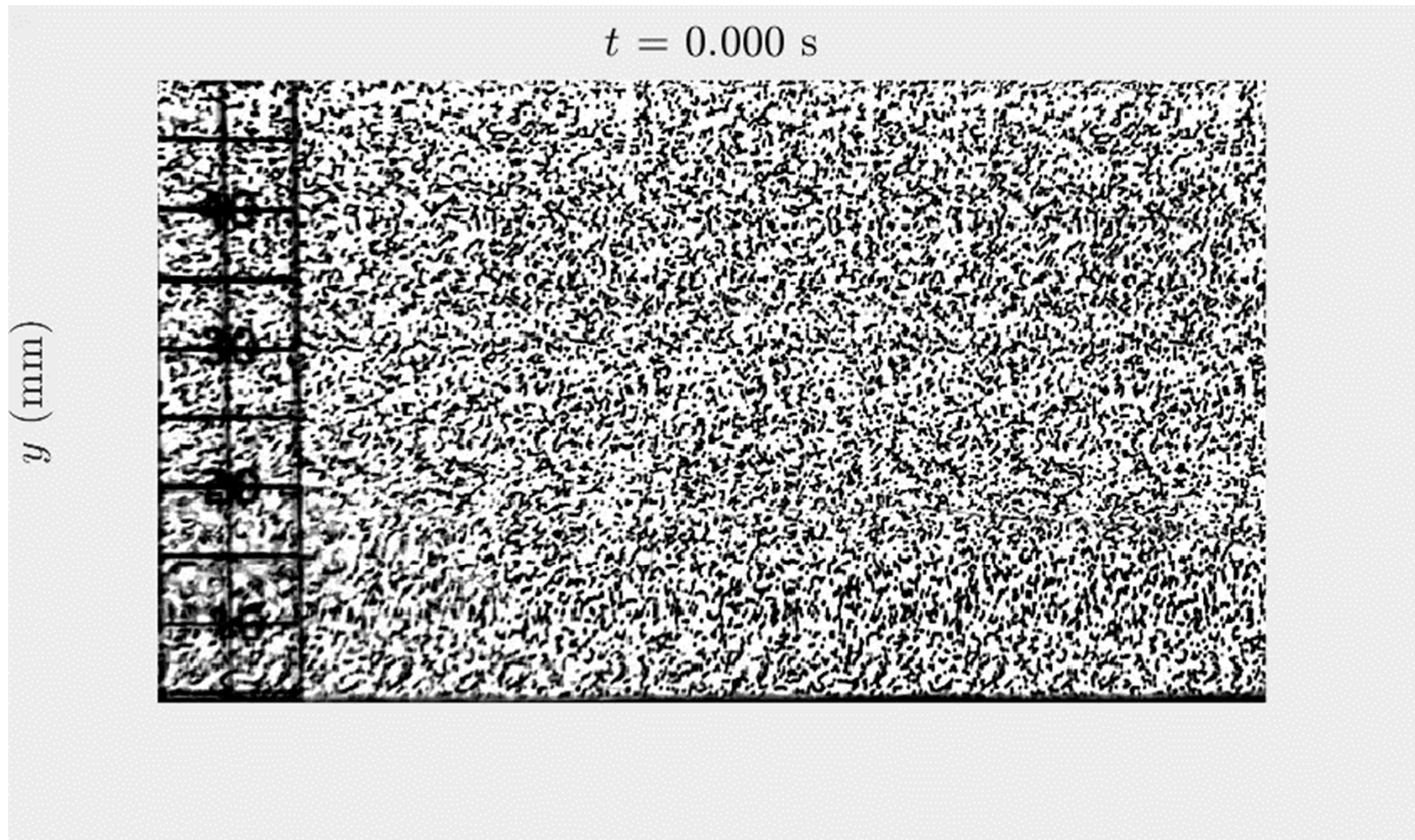
allora $k_\rho \alpha$ è costante con Ω .



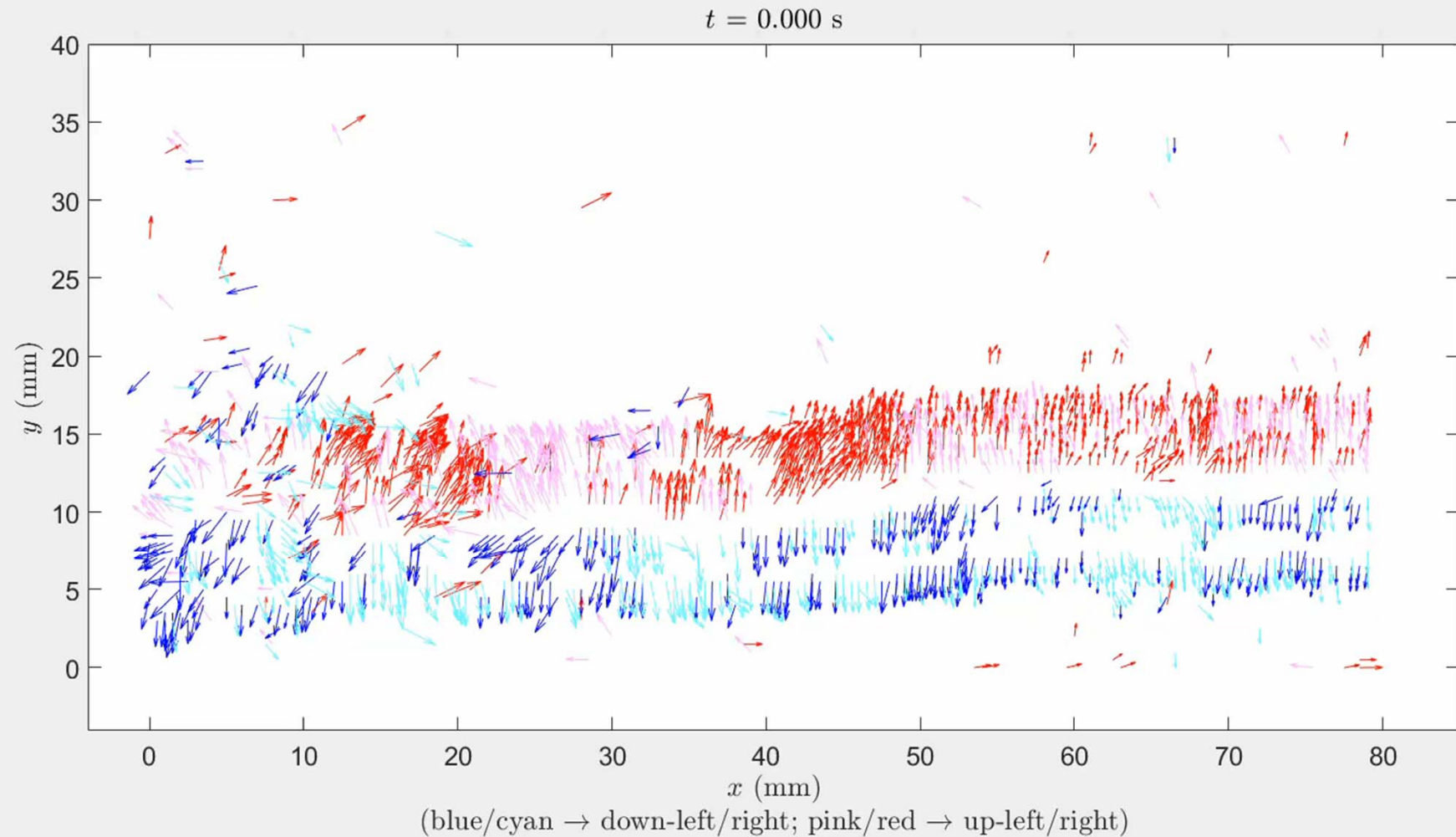
Set-up sperimentale per il canale ondoso



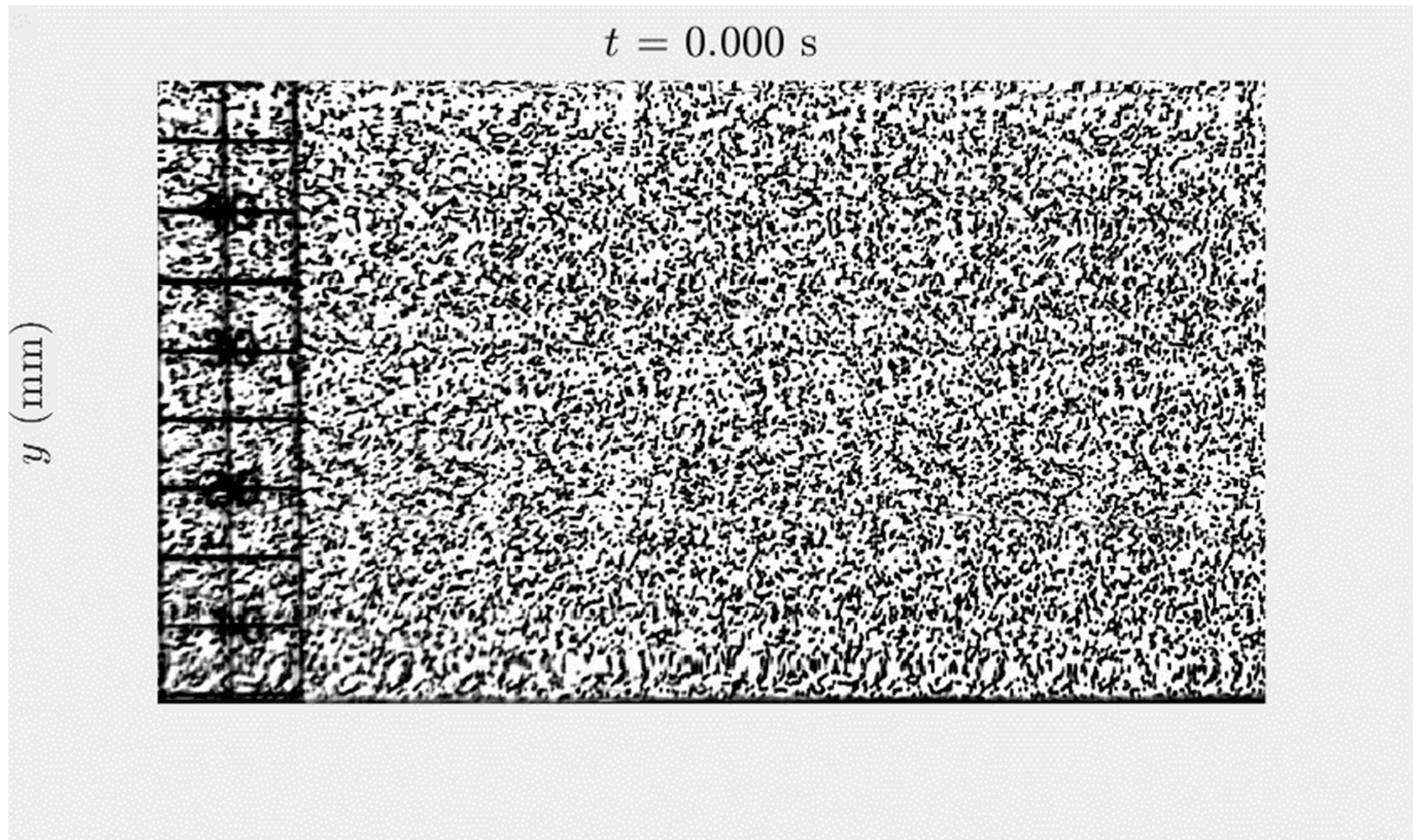
Tecnica Speckle imaging – fase iniziale



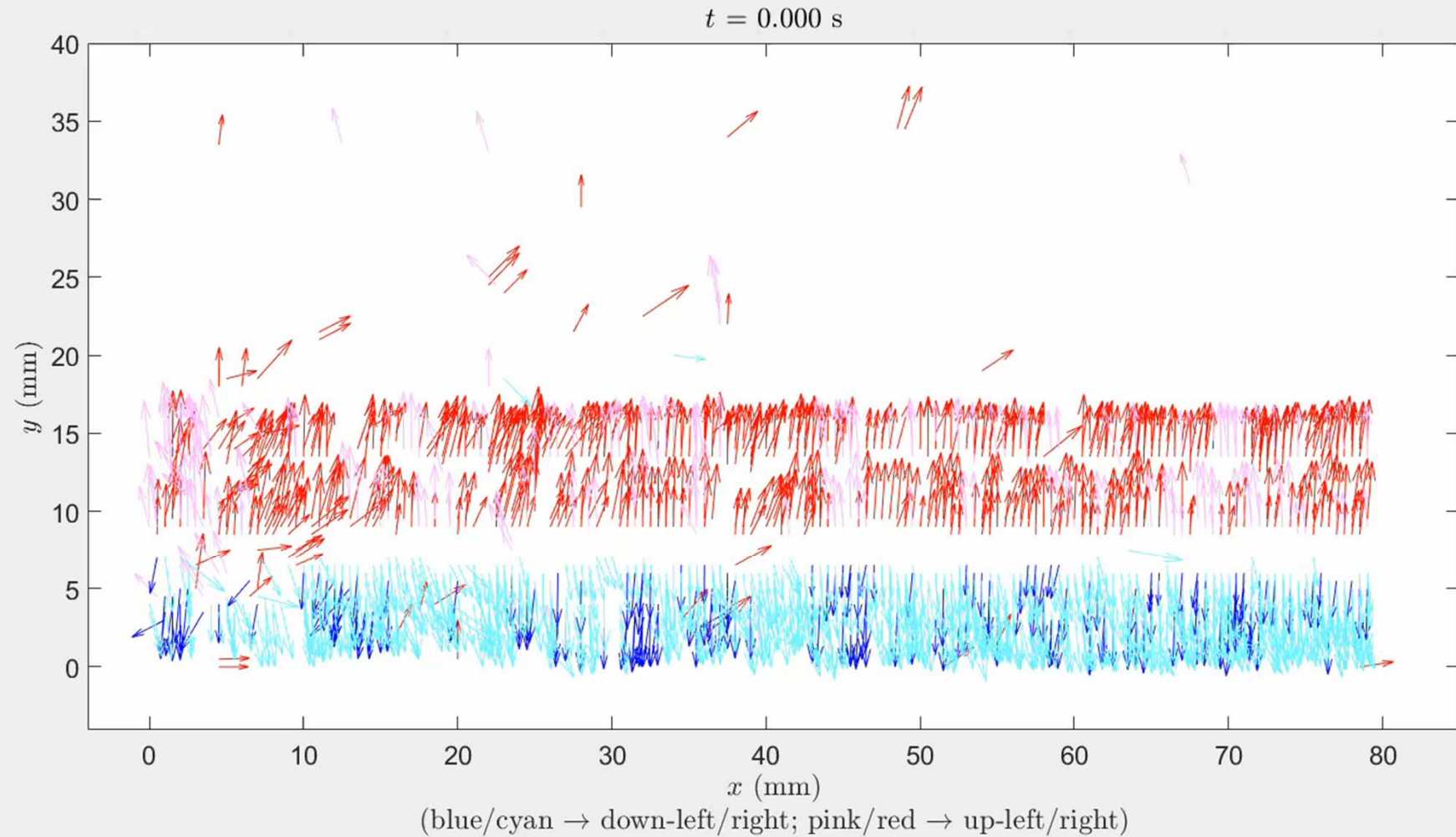
Tecnica Speckle imaging – fase iniziale



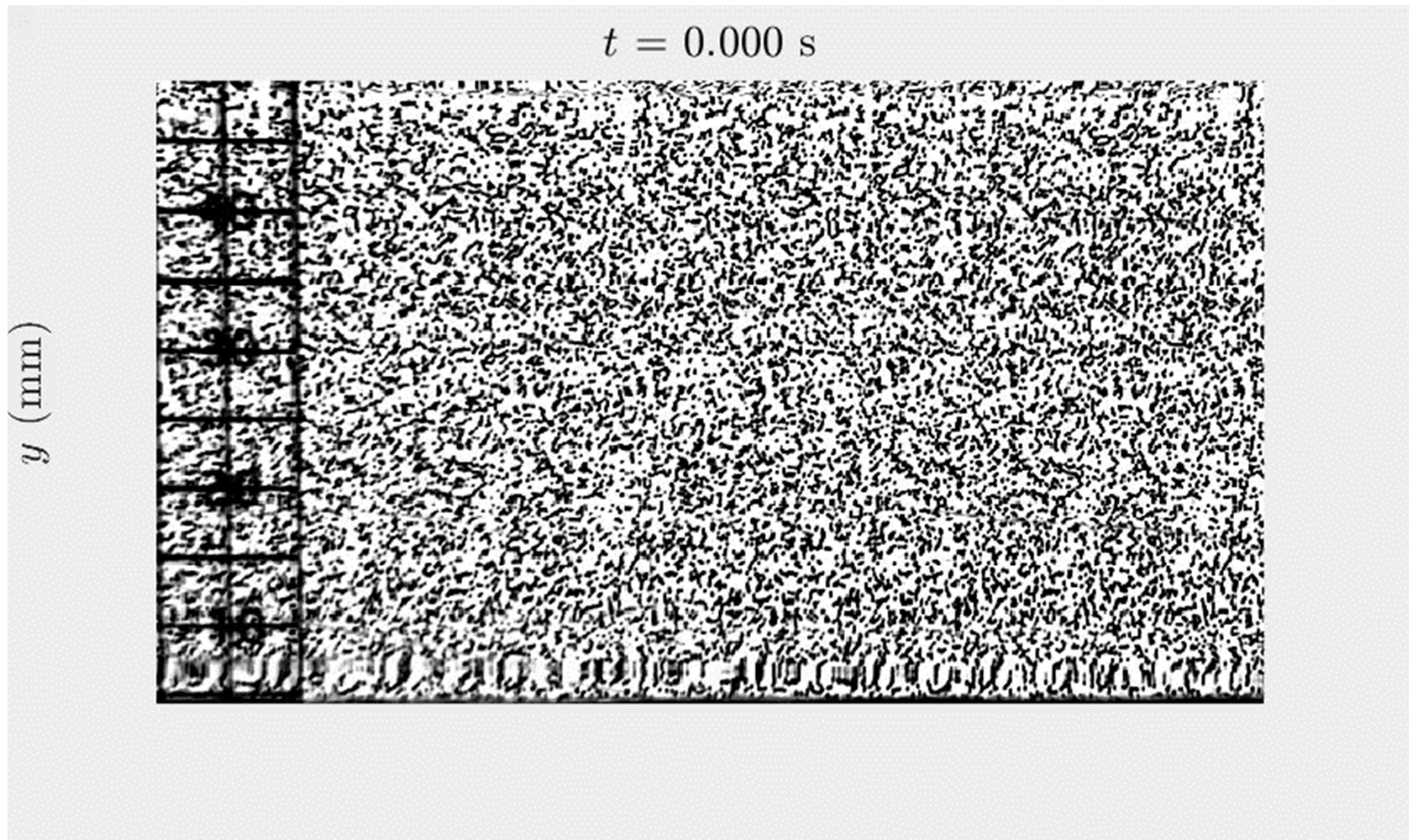
Tecnica Speckle imaging – fase intermedia



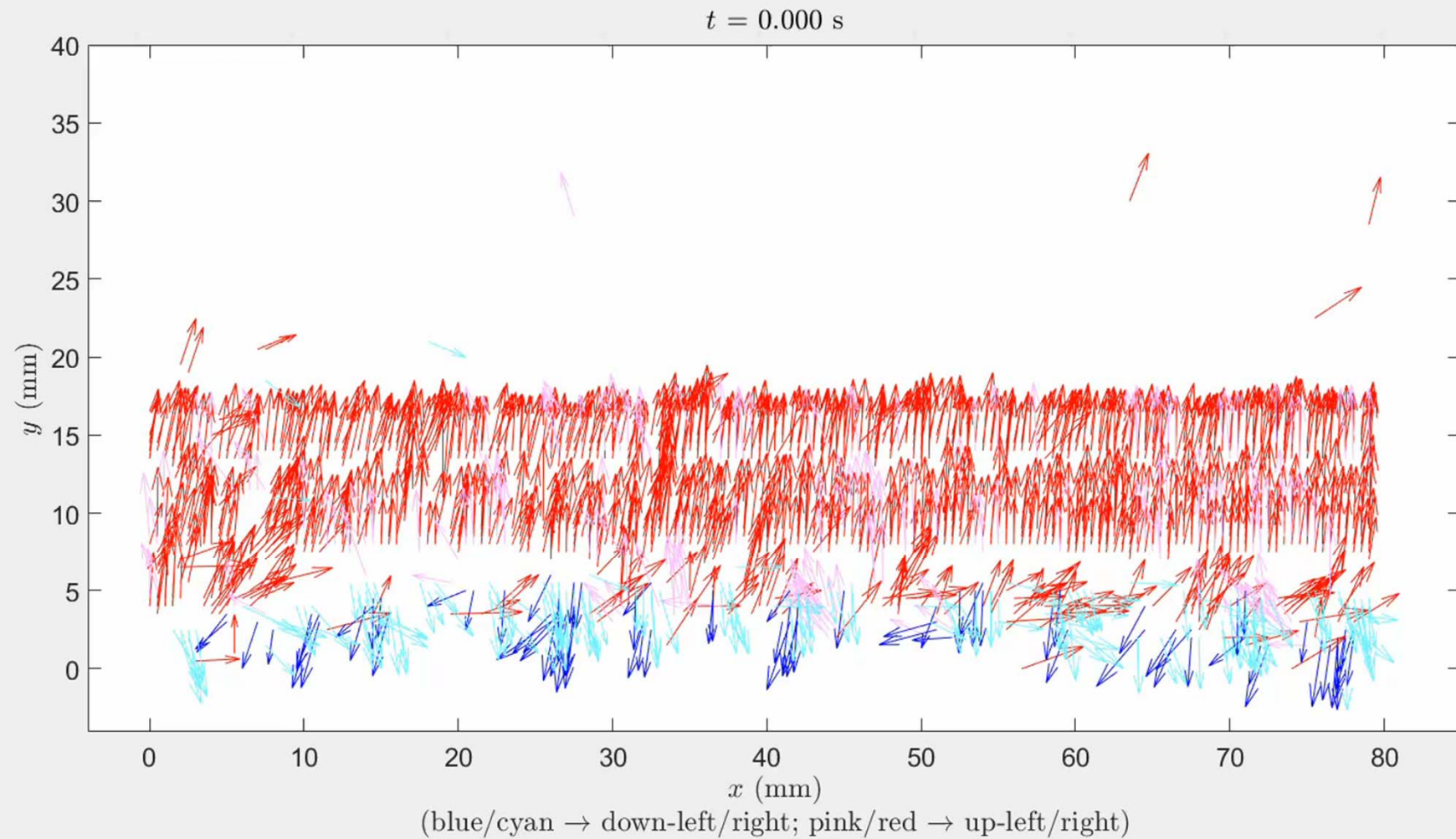
Tecnica Speckle imaging – fase intermedia



Tecnica Speckle imaging – fase finale



Tecnica Speckle imaging – fase finale



PROSPETTIVE

- Test in presenza di sola diffusione
- Test con convezione sia verticale, sia orizzontale
- Esecuzione di misure integrali e all'interfaccia del trasporto verticale
- Stima degli effetti del periodo dell'onda
- Stima degli effetti della riflessione parziale delle onde