

Tirocini sul tema:

## Interazioni onda-particella su scala macroscopica

Tipologia: *sperimentale e/o teorico e/o numerico*

Aree della fisica interessate:

meccanica dei fluidi, fondamenti di fisica quantistica, meccanica statistica,  
sistemi complessi, fenomeni ondulatori

Soggetto ospitante: CNR-Nanotec presso l'Università della Calabria.

Luogo: Dipartimento di Fisica dell'Università della Calabria.

Tutor CNR: **Giuseppe Pucci**, [giuseppe.pucci@cnr.it](mailto:giuseppe.pucci@cnr.it), [www.gpucci.net](http://www.gpucci.net).

Docente – Tutor accademico: a seconda della tematica scelta.

Periodo: a scelta dello/a studente/essa.

CFU: corrispondenti a un tirocinio didattico.

### Obiettivi generali:

- introduzione alle particelle guidate da onde su scala macroscopica;
- se richiesto dallo/a studente/essa, redazione di una relazione scientifica in inglese sull'attività svolta.

### Obiettivi specifici in base alla tipologia di tirocinio scelta:

- sperimentale: setup di un sistema sperimentale di fisica macroscopica; uso di stampante 3D e taglierina laser; acquisizione e trattamento dati tramite telecamere e analisi d'immagine (generalmente in Matlab).
- numerico: comprensione e utilizzo di un codice numerico (generalmente in Matlab); analisi dati.
- teorico: comprensione di un modello teorico esistente; sviluppo di un nuovo modello teorico.

### Introduzione

Lo/a studente/essa sarà introdotto/a alle interazioni onda-particella su scala macroscopica, un campo di ricerca che ha suscitato grande interesse e si è sviluppato nell'ultimo decennio. Nel 2005 il gruppo di Y. Couder e E. Fort a Parigi scopre che una goccia di liquido può propagarsi rimbalzando sulle onde che essa stessa crea sulla superficie di un liquido sottoposto a vibrazione, dando vita a un *walker* [1] (fig.1a,b). Un walker è un accoppiamento onda-particella su scala macroscopica che manifesta una serie di analogie con la meccanica quantistica [2], tra cui distribuzione di probabilità in cavità (fig.1c) e quantizzazione delle orbite, e che spinge a chiedersi in modo nuovo **dove sia il limite tra la fisica classica e la fisica quantistica**. Inoltre questo sistema permette di esplorare il **comportamento collettivo** di particelle interagenti tramite le onde, in particolare i reticolati di spin macroscopici [3] (fig.1d).

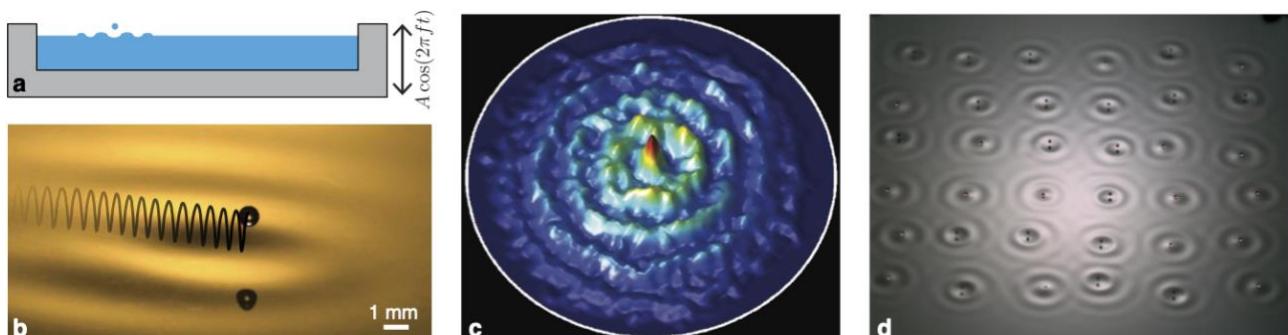


Fig. 1. (a) Schema in taglio verticale del setup sperimentale per lo studio delle gocce rimbalzanti. (b) Immagine sperimentale di un walker. (c) Distribuzione di probabilità di un walker in cavità. (d) Reticolo di spin.

Recentemente alla Brown University è stato scoperto un nuovo sistema macroscopico di accoppiamento onda-particella, in cui una particella solida asimmetrica è guidata dalle onde che essa stessa genera sulla superficie di un liquido in vibrazione, dando vita a un *surfer* [4] (fig.2a,b). I surfer sono molto più versatili dei walker dal punto di vista sperimentale (fig.2c,d) e quindi permettono di studiare le interazioni onda-particella in un maggior numero di configurazioni.

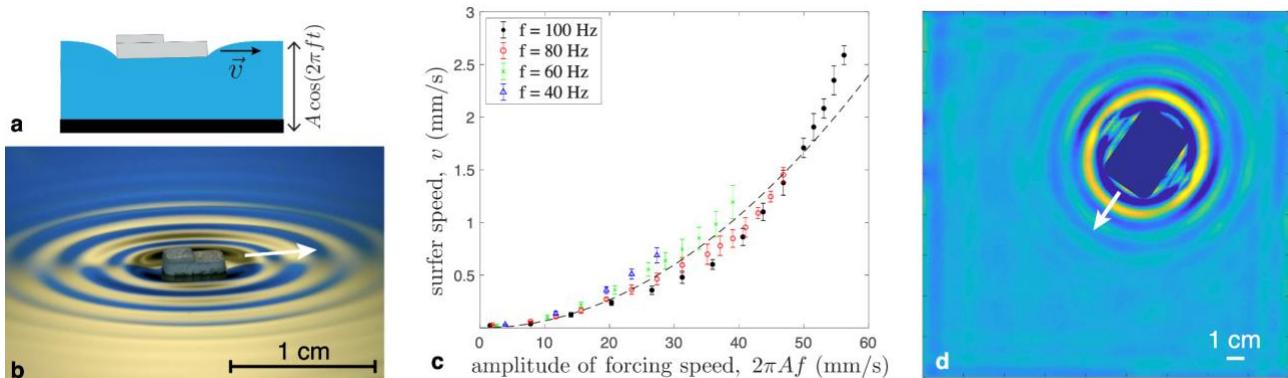


Fig.2. (a) Schema in taglio verticale di un surfer e (b) immagine sperimentale. (c) Velocità di un surfer in funzione dell'ampiezza di velocità forzante il liquido. (d) Ricostruzione sperimentale del campo d'onda di un surfer.

### Tirocini proposti

Walker e surfer si prestano a innumerevoli studi sperimentali, teorici e numerici nell'ambito di:

- 1) la meccanica dei fluidi all'interfaccia fluida e le onde di superficie;
- 2) i fondamenti di meccanica quantistica e la sua relazione con la fisica classica;
- 3) la meccanica statistica dei sistemi complessi a interazione ondulatoria;
- 4) i fenomeni ondulatori e le analogie con l'ottica ondulatoria.

Si riporta di seguito una lista *non esaustiva* di possibili tematiche specifiche di tirocinio.

#### Sperimentale

- Distribuzione di probabilità di un surfer in una cavità.
- Diffrazione da fenditura di surfers.
- Separazione di livelli (tipo Zeeman).
- Guide d'onda all'interfaccia fluida.
- Analogo classico dell'effetto Ramsauer-Townsend.

#### Numerico/teorico

- Analogo classico della diffrazione da fenditura.
- Analogo classico della diffrazione alla Bragg.
- Analogo classico della diffrazione di tipo Kapitza-Dirac.
- Orologi Browniani a propulsione ondulatoria.
- Equazione di tipo Schrödinger per un sistema macroscopico.

*Altre tematiche possono essere scelte secondo la curiosità dello/a studente/essa.*

#### **Collaborazioni possibili** (a seconda della tematica scelta):

- Prof. Anand Oza, Department of Mathematical Sciences, New Jersey Institute of Technology, USA ([link](#)).
- Dr. Antonin Eddi, Laboratoire PMMH - ESPCI Paris, France ([link](#)).
- Prof. Daniel M. Harris, Brown University, USA ([link](#)).
- Prof. Pedro J. Sáenz, University of North Carolina at Chapel Hill, USA ([link](#)).
- Dr. Andrea Puglisi, Istituto dei Sistemi Complessi (ISC - CNR), Roma ([link](#)).

[1] Y. Couder, S. Protière, E. Fort, and A. Boudaoud, Walking and Orbiting Droplets, *Nature* **437**, 208 (2005).

[2] J. W. M. Bush and A. U. Oza. Hydrodynamic quantum analogs. *Rep. Prog. Phys.* **84**, 017001 (2020).

[3] P. J. Sáenz, G. Pucci, S. E. Turton, A. Goujon, R. R. Rosales, J. Dunkel, and J. W. M. Bush, Emergent Order in Hydrodynamic Spin Lattices, *Nature* **596**, (2021).

[4] I. Ho, G. Pucci, A. U. Oza, and D. M. Harris, Capillary Surfers: Wave-Driven Particles at a Fluid Interface, *ArXiv:2102.11694v2* (2021).