# DIN

## DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING


**PhD Course in Mechanics and Advanced Engineering Sciences (DIMSAI)**

**YEARLY PHD STUDENT REPORT - AY *2016/2017***

**Curriculum number *5***
**Cycle *XXX***

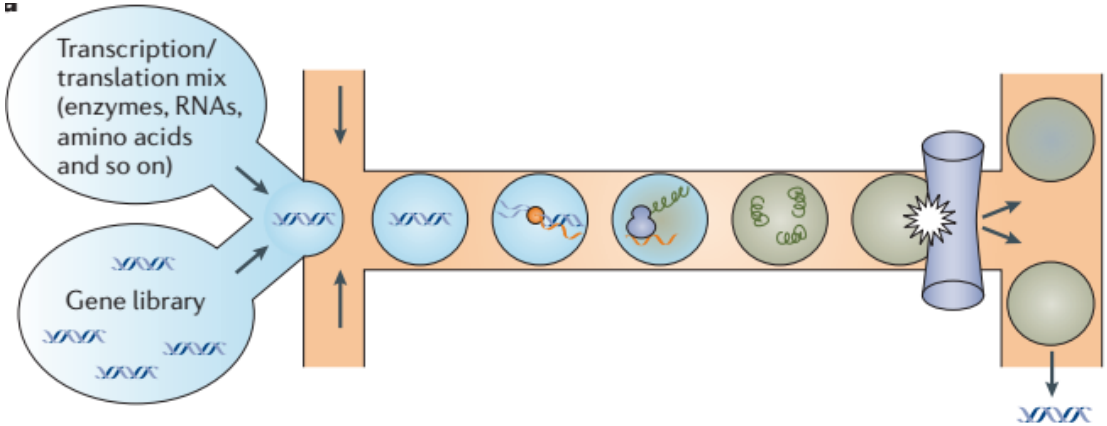

**Candidate:** *Behnam Rostami*
**Supervisor:** *Gian Luca Morini*

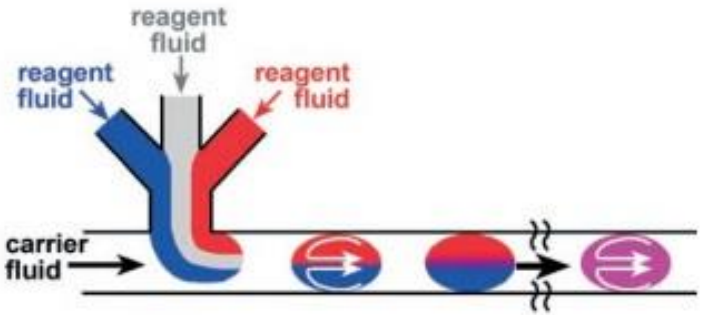

# *EXPERIMENTAL ANALYSIS OF DROPLET GENERATION IN PRESENCE OF NEWTONIAN AND NON-NEWTONIAN FLOWS WITHIN MICROJUNCTIONS*

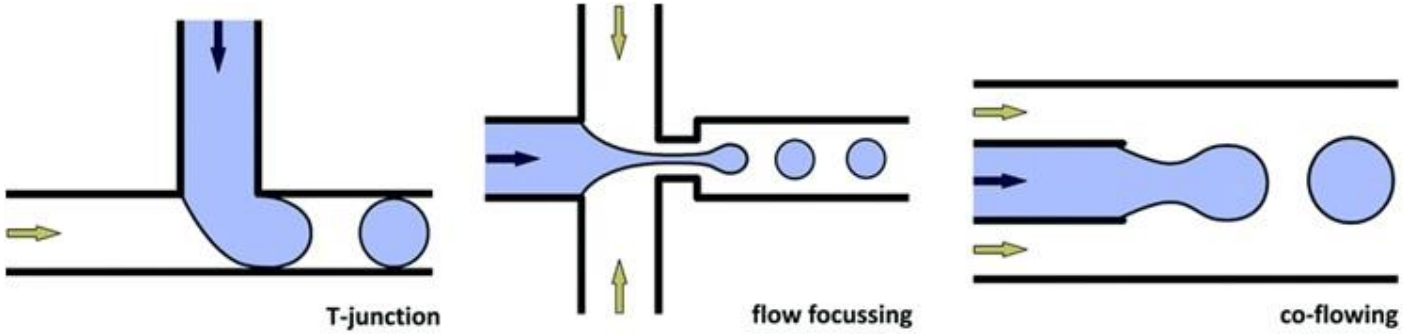


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Introduction



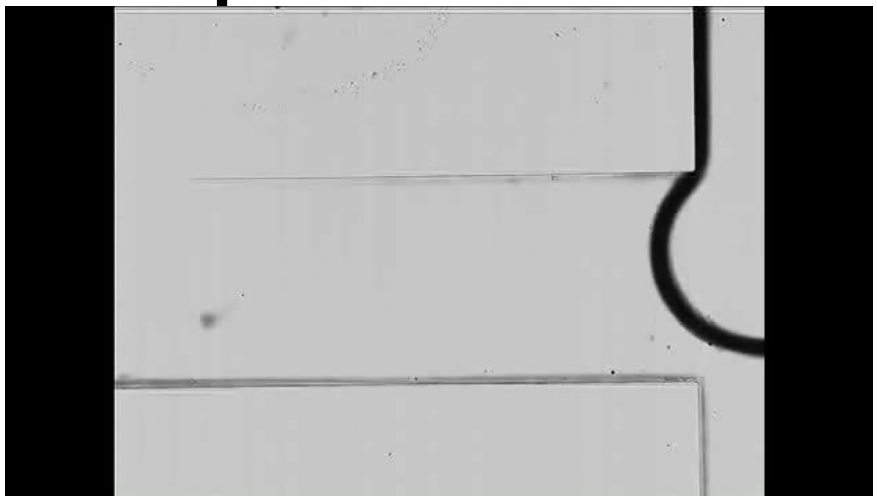



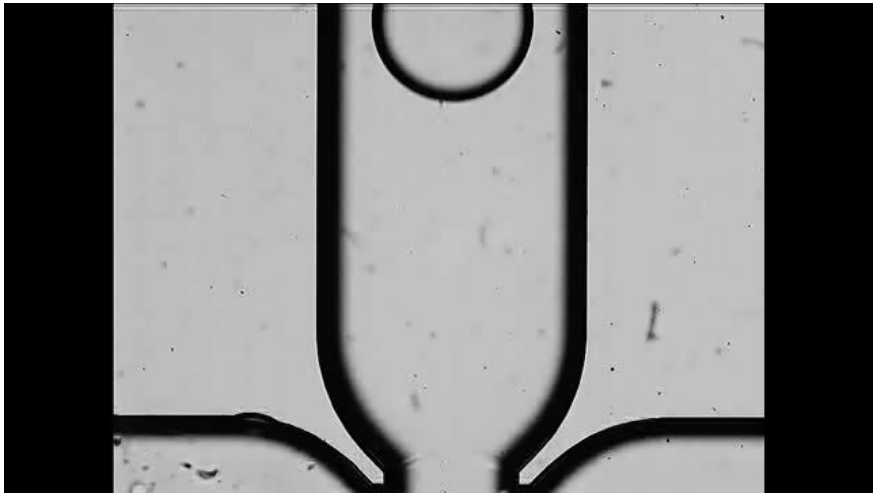


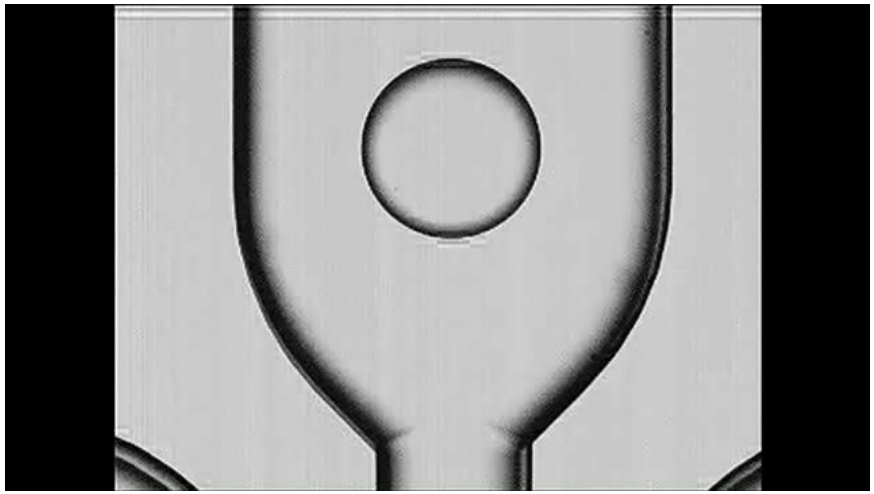


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Droplet Generation



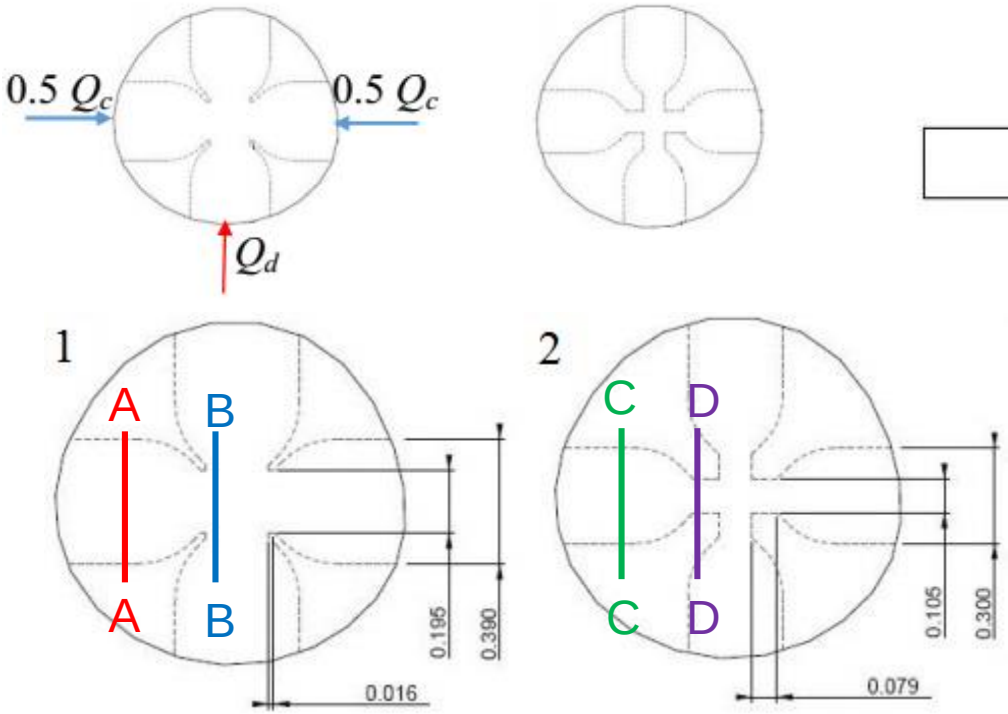


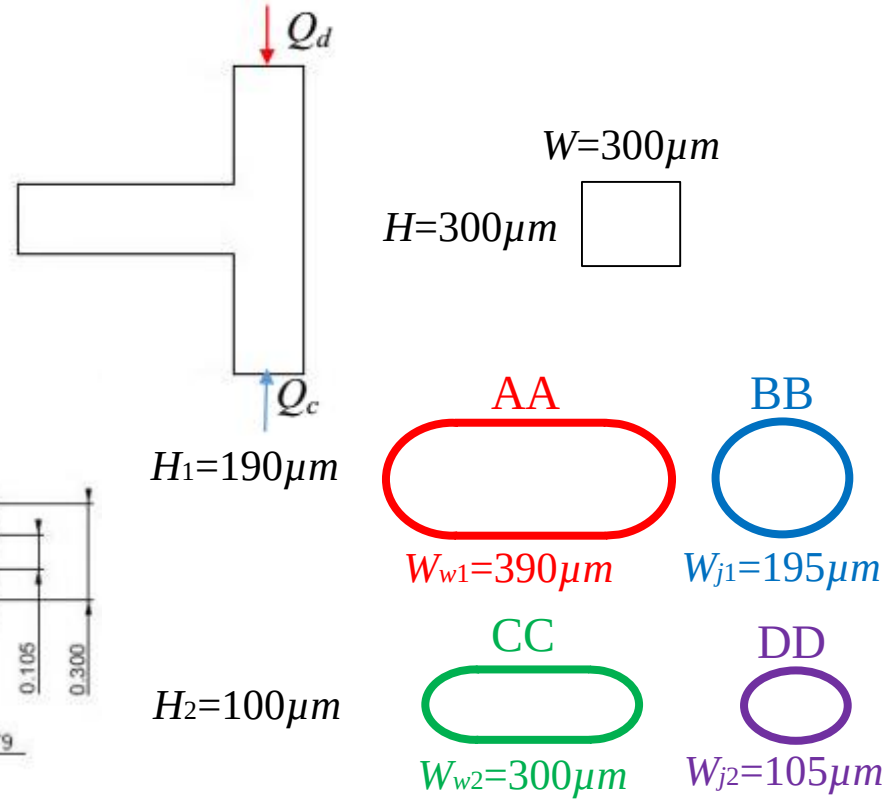




IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Junctions used in Current Study




Flow Rate Ratio $\alpha = Q_d / Q_c$ & Capillary Number $Ca_c = \mu_c . u_c / \sigma$

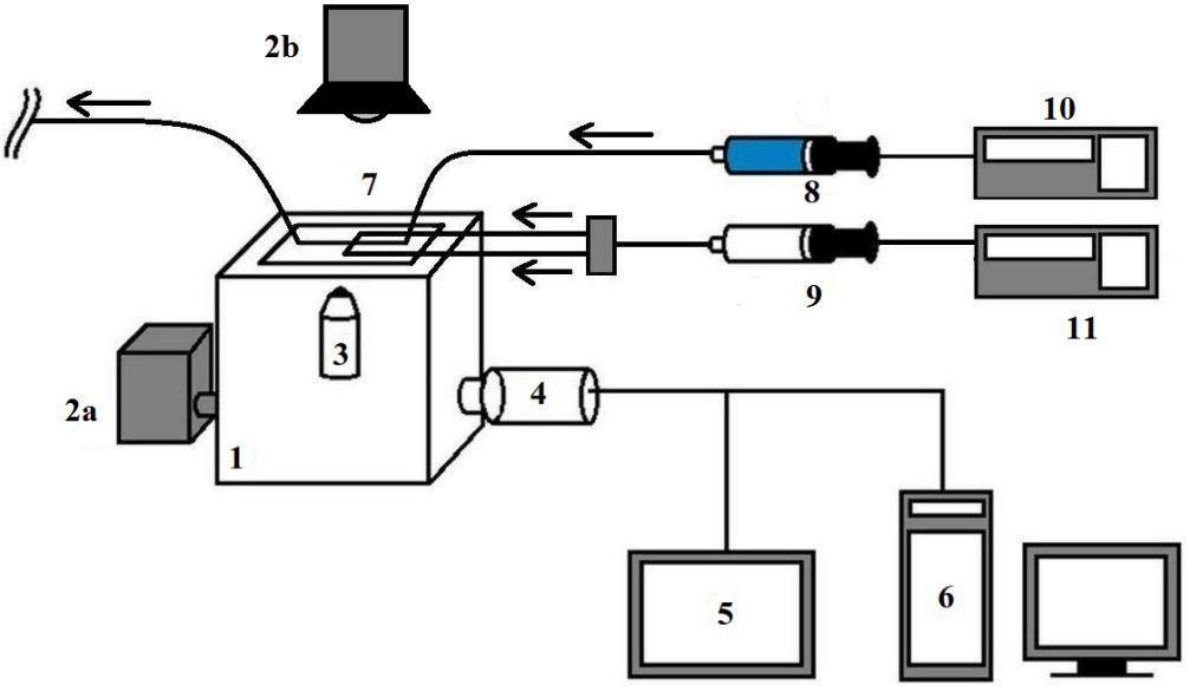

IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Fluids and Volumetric Flow Rates (ml/h)

| Fluid | Microchannel | |
|---|---|---|
| | T-Junction | Cross Junction |
| Silicone Oil | $0.1<Q_d<100$ | $0.3<Q_c<56.8$ |
| Water | $5<Q_c<120$ | $0.01<Q_d<48$ |
| Water + 2 wt% Tween 20 | $1<Q_c<25$ | $0.01<Q_d<48$ |
| 0.2 wt% Xanthan gum | $5<Q_c<30$ | - |
| 0.2 wt% Xanthan gum + T | $1<Q_c<20$ | $0.01<Q_d<3$ |
| 0.3 wt% Xanthan gum + T | - | $0.01<Q_d<3$ |
| 0.4 wt% Xanthan gum + T | - | $0.01<Q_d<3$ |
| 0.5 wt% Xanthan gum | $5<Q_c<30$ | - |
| 0.5 wt% Xanthan gum + T | $1<Q_c<20$ | $0.01<Q_d<3$ |


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

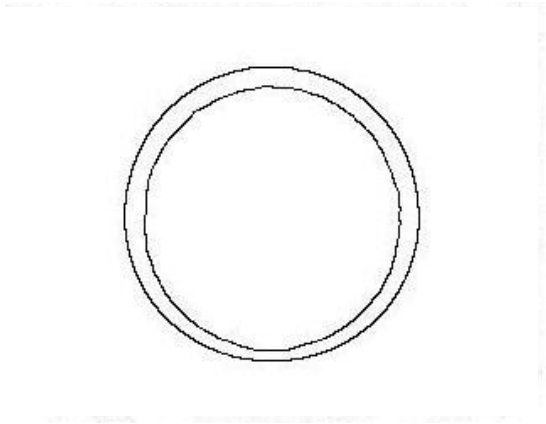
# ❖ Experimental Apparatus



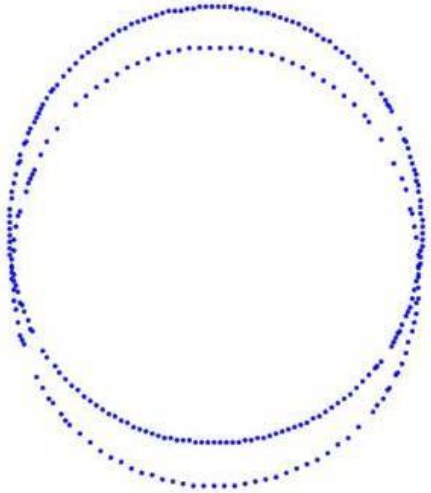

1) Inverted Microscope
2a) Mercury Lamp
2b) COB LED Lamp
3) Air Immersion Lens
4) High-Speed Camera (up to 5000 f/s)
5) LCD Monitor
6) PC & Software Unit
7) Microchannel
8) Gastight Syringe for Dispersed Phase
9) Gastight Syringe for Continuous Phase
10) Syringe Pump *Cole-Parmer*
11) Syringe Pump *Harvard PHD4400*


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Process of Edge Detection by Matlab Code



1) Raw Image (A)
2) Complement of the Channel (A0)
3) Gray Image (A+A0)
4) Saturated Image
5) Binary Image
6) Edge Detection (Canny Method)



❖ **Droplet Travelling in Time**

➢ Droplets travels through the junction during the time $\Delta t$



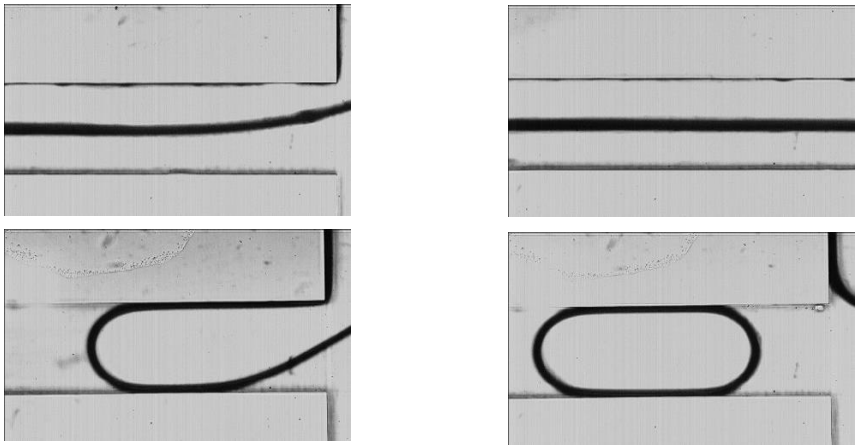
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ T-Junction

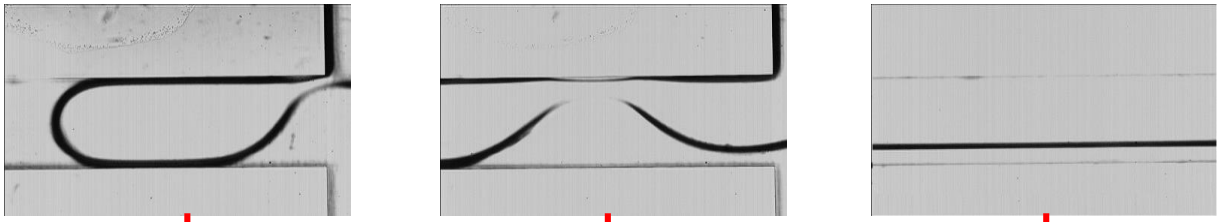
at the junction | out of junction

0% Tween 20

1% Tween 20



DTJ | DDC | PF

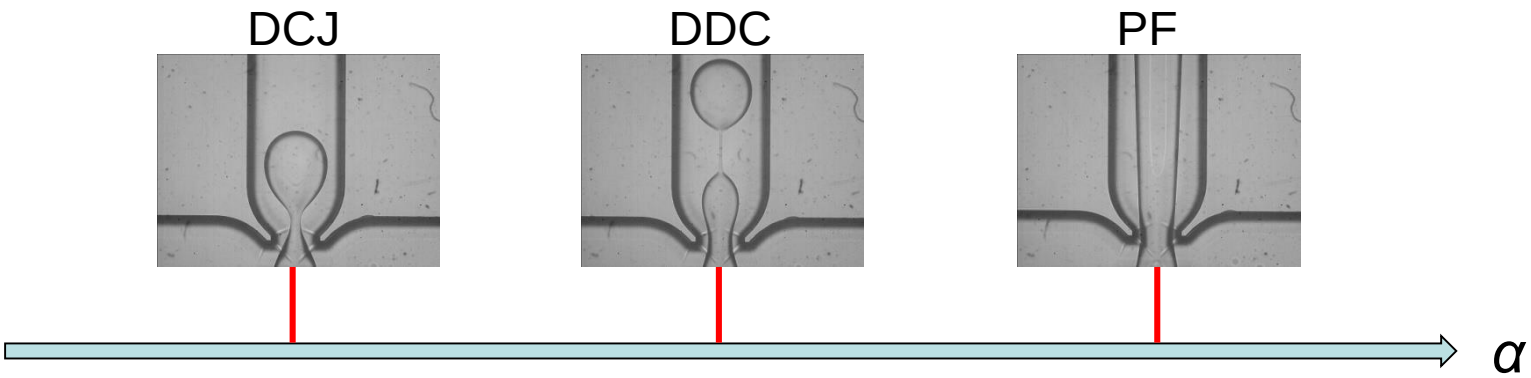


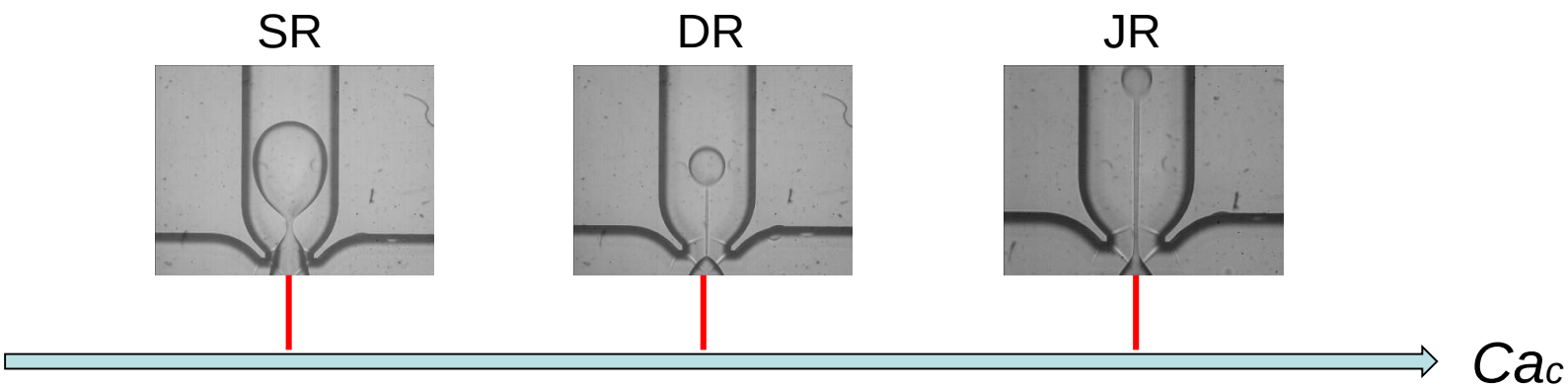
$\alpha$



IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Micro Cross-Junction

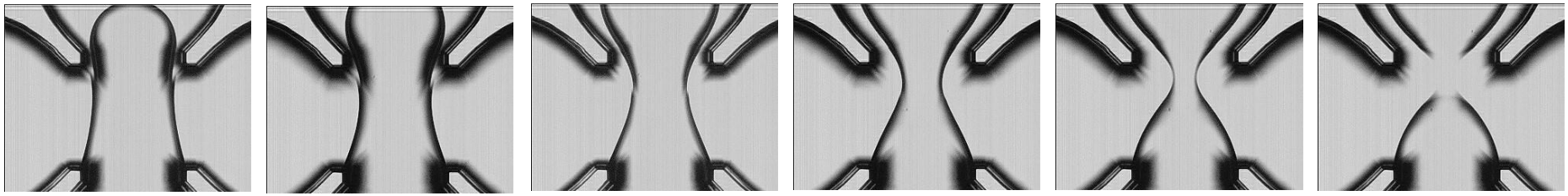


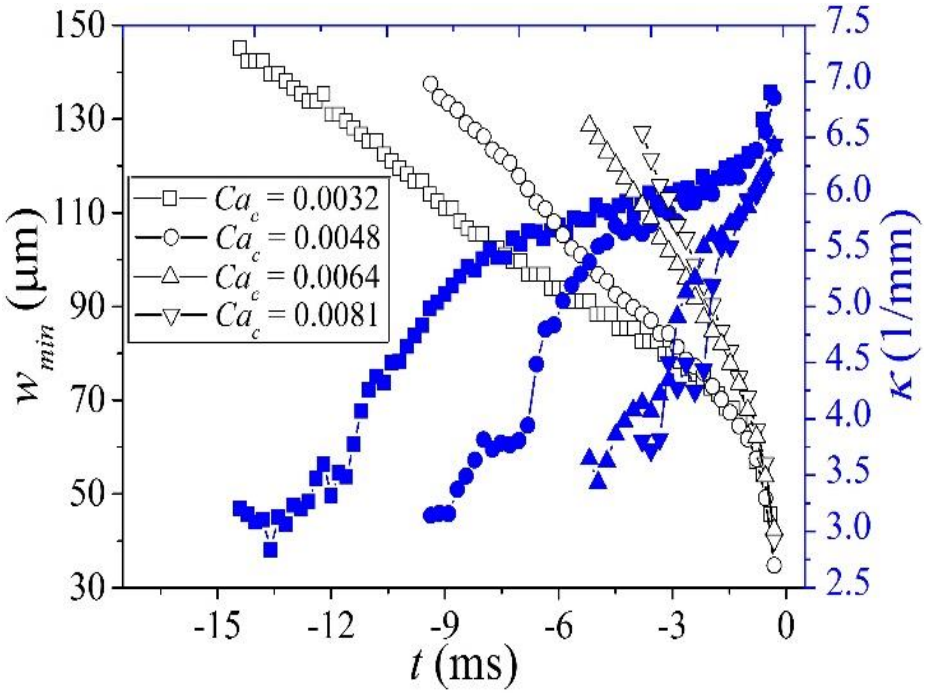



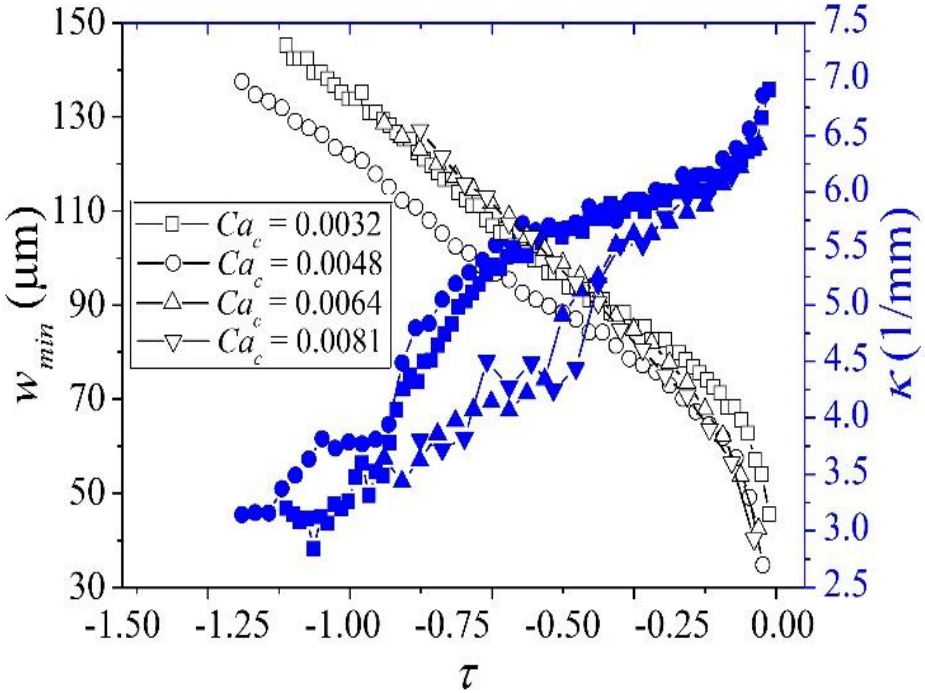



IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Breakup Mechanism





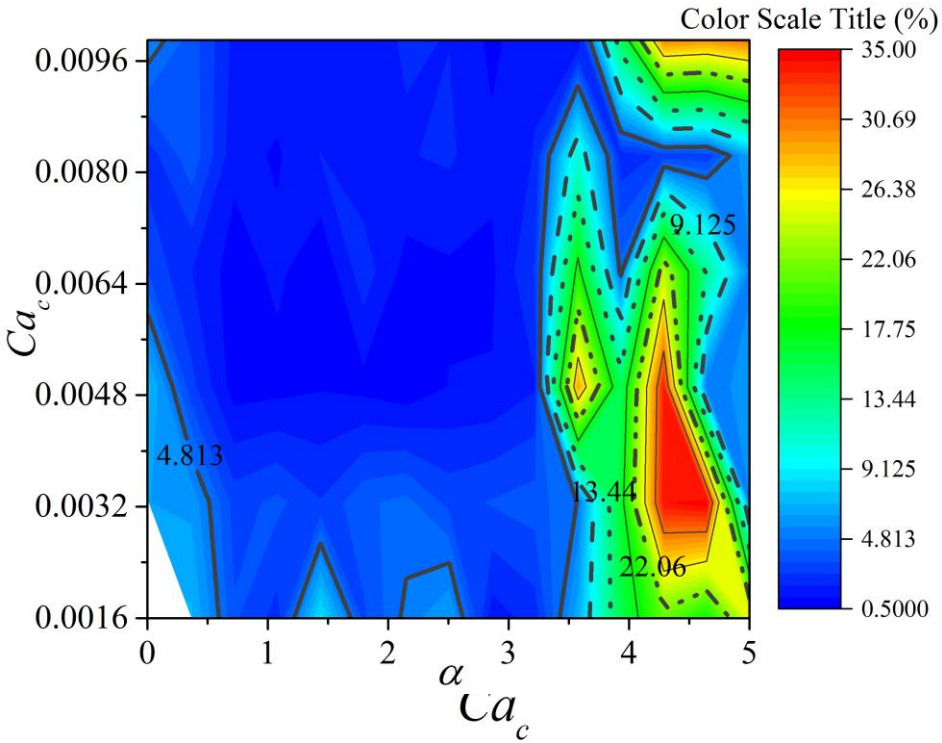





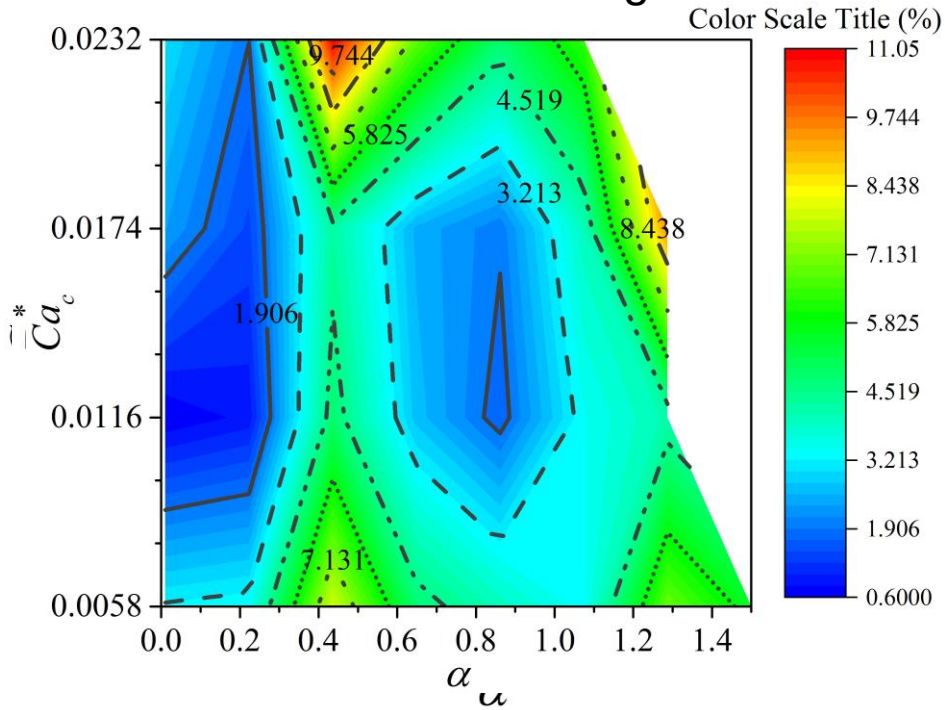
IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Capability of Microchannels

Water




0.3 wt% Xanthan gum + T





IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Conclusion

- The generation of droplets of Newtonian and non-Newtonian fluids in three commercial microjunctions has been experimentally studied.
- The post-processing method via Matlab code has been illustrated in detail.
- Three different flow regimes, namely DCJ, DDC and PF, in low continuous flow rates and three other flow regimes, SR, DR and JR for a wide range of flow rates are observed.
- The polydispersity of the generated droplets is in an acceptable range for the majority of the experiments.
- It is so crucial to select the best range of volumetric flow rates for each set of experiments in sense of repeatability of the drop diameter


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

# ❖ Publications


- B. Pulvirenti, B. Rostami, G. Puccetti, G. L. Morini, *Determination of droplet contours in liquid-liquid flows within microchannels*, Journal of Physics: Conference Series 655 (1), 012028 (2015).
- B. Rostami, B. Pulvirenti, G. Puccetti, G. L. Morini, *Experimental characterization of a silicone oil-in-water droplet generator based on a micro T-junction*, Journal of Physics: Conference Series 796 (1), 012039 (2017).
- B. Rostami, G. L. Morini, *Micro droplets of non-Newtonian solutions in silicone oil flow through a hydrophobic micro cross-junction*, Journal of Physics: Conference Series (2017), In Press.
- B. Rostami, G. L. Morini, *Experimental analysis of Water-in-oil microdroplets generation by means of a micro cross-junction*, Experimental Thermal and Fluid Science, Under Review.
- B. Rostami, G. L. Morini, *An experimental comparison of the performances of two geometries of microdroplets generators*, Experimental Thermal and Fluid Science, Under Review.




IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

## ❖ Publications

- B. Rostami, G. L. Morini, *The role of the presence of surfactant on the generation of waterin-oil microdroplets by means of a micro T-junction*, Microfluidics and Nanofluidics, Under Review.
- B. Rostami, G. L. Morini, *An experimental analysis of the generation of droplets of Newtonian and non-Newtonian fluids through a microcross-junction*, International Journal of Multiphase Flow, Under Review.

## ❖ Conferences

- 33rd UIT Heat Transfer Conference, L'Aquila, June 22-24, 2015.
- 34th UIT Heat Transfer Conference, Ferrara, July 4-6, 2016.
- 5th Micro and Nano Flows Conference, Milan, September 11-14, 2016.
- 9th World Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Foz do Iguaçu, Brazil, June 11-15, 2017.
- 35th UIT Heat Transfer Conference, Ancona, June 26-28, 2017.
- The 2nd International Conference of Interfacial Phenomena And Heat Transfer, Xi'an, China, July 7-10, 2017.
- The 3rd Conference on Microfluidic Handling Systems, Twente, Netherlands, October 4-6, 2017.


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI

ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA

Behnam Rostami

DIN – Alma Mater Studiorum Università di Bologna, μLab Laboratorio di Microfluidica,
Via del Lazzaretto 15/5, Bologna 40131, Italy

behnam.rostami2@unibo.it

*www.unibo.it*

*Thanks for your attention*


IL PRESENTE MATERIALE È RISERVATO AL PERSONALE DELL'UNIVERSITÀ DI BOLOGNA E NON PUÒ ESSERE UTILIZZATO AI TERMINI DI LEGGE DA ALTRE PERSONE O PER FINI NON ISTITUZIONALI