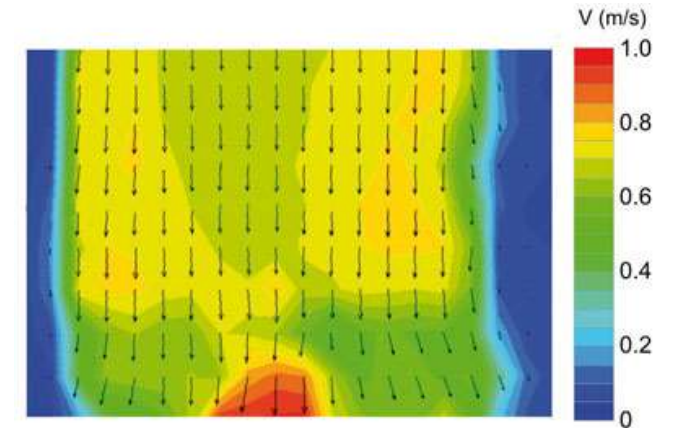
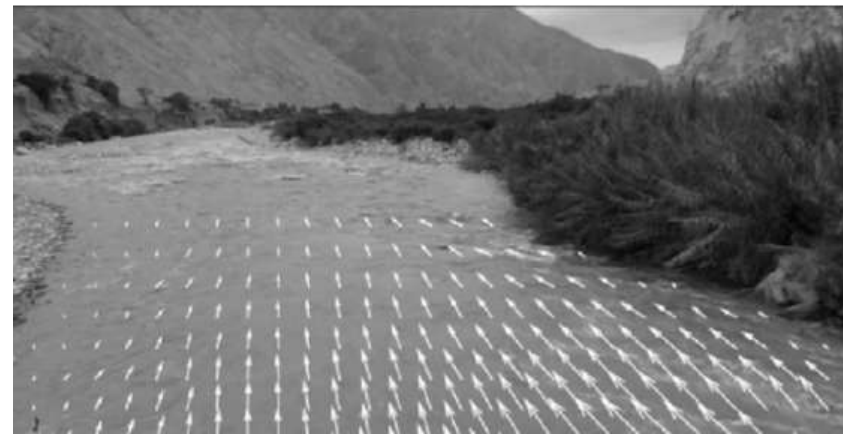
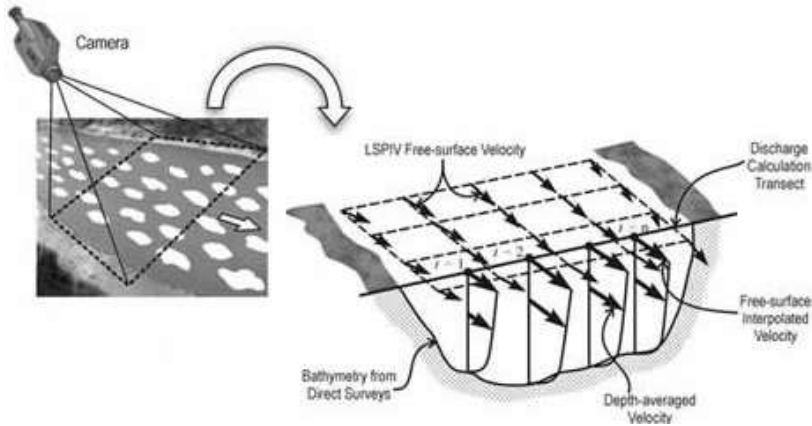


TECNICA LS-PIV PER IL MONITORAGGIO DEI CORSI D'ACQUA NATURALI: UN APPROCCIO NUMERICO PER L'INDIVIDUAZIONE DI SETUP SPERIMENTALI OTTIMALI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

D. Pumo, F. Alongi, G. La Loggia, L.V. Noto



PREMESSA

- **Il monitoraggio dei corsi d'acqua**

è uno dei temi classici dell'idrologia pratica ed è fondamentale per qualunque processo inerente la **gestione della risorsa idrica** e la **difesa idraulica del territorio** (es., *dimensionamento di infrastrutture idrauliche, regolazione dei deflussi, sistemi di early warning, etc.*).

Misure di **velocità / portata** vengono comunemente usati per lo *sviluppo*, la *calibrazione* e la *validazione* di **modelli idraulici e idrologici**

- **Alcune criticità legate alle tecniche tradizionali**

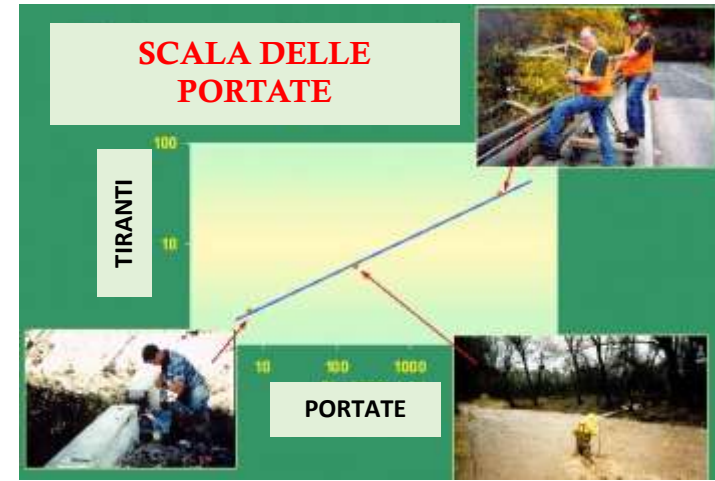
Tecniche *'intrusive'* basate sul classico **metodo area-velocità** con **correntometri** (mecc. o elettromag.) o **ADCP** (Acoustic Doppler Current Profiler)

- le **modalità** con cui sono condotte le campagne di misura frequentemente disattendono gli standard operativi WMO;
- **particolari condizioni fisiche e/o atmosferiche** (es, turbolenza intrinseca) possono sfavorire l'uso dei sensori.
- necessità di **personale altamente specializzato**;
- elevato onere in termini di **tempi e costi**;
- frequente impossibilità di garantire opportune **condizioni di sicurezza** (es., in condizioni di piena)



- ❖ **USO IN ESTRAPOLAZIONE DELLE SCALE DELLE PORTATE → DATI POCO AFFIDABILI**
- ❖ **DIFFICOLTÀ AD AVERE MISURE IN CONTINUO E/O IN REAL TIME → SERIE STORICHE NON CONTINUE**

- **Metodologie alternative** come le osservazioni da **telerilevamento** (ovvero **radar portatili, sensori a microonde e satelliti**) presentano spesso un **elevato costo** e una **bassa precisione**



TECNICA LS-PIV (*LARGE-SCALE PARTICLE IMAGE VELOCIMETRY*)

Nuovi paradigmi, strumenti e tecniche innovative che tengano conto dei recenti avanzamenti tecnologici nel campo delle **ICT** e delle **camere digitali** possono essere applicati al monitoraggio ambientale, migliorando la **consistenza quali-quantitativa** delle banche dati.

L'applicazione di **tecniche ottiche** per il monitoraggio dei corsi d'acqua ha origini antichissime (**Prandtl, 1904**). Tali tecniche sono state originariamente e prevalentemente sviluppate per esperimenti di laboratorio su piccola scala ed in condizioni controllate, distinguendo fra tecniche:

PIV
(*Particle Image Velocimetry*)

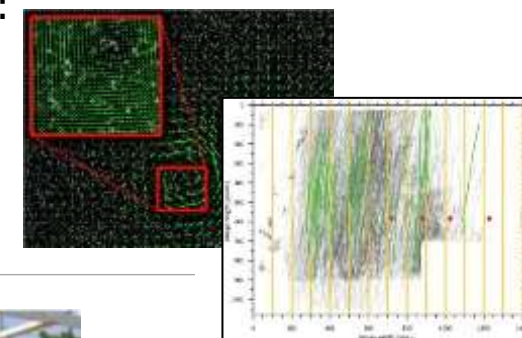
Approccio Euleriano

PTV
(*Particle Tracking Velocimetry*)

Approccio Lagrangiano

Entrambe le tecniche sono state poi estese al caso di applicazioni su *scale più ampie* (**Large Scale**). Il **campo di velocità superficiale** è ottenuto 'indirettamente', stimando la velocità di **particelle traccianti** (naturali o introdotte artificialmente) galleggianti e in moto solidale con le particelle liquide superficiali.

acquisizione di una **sequenza di fotogrammi** (*frame*) → determinazione degli **spostamenti** (*displacement*) delle particelle di tracciante tra due fotogrammi successivi → ricostruzione locale della **velocità**



TECNICA LS-PIV

Principi base



Inserimento di un opportuno **tracciante** con adeguata geometria e densità, distribuito uniformemente in un'area ben illuminata del campo di moto di interesse.

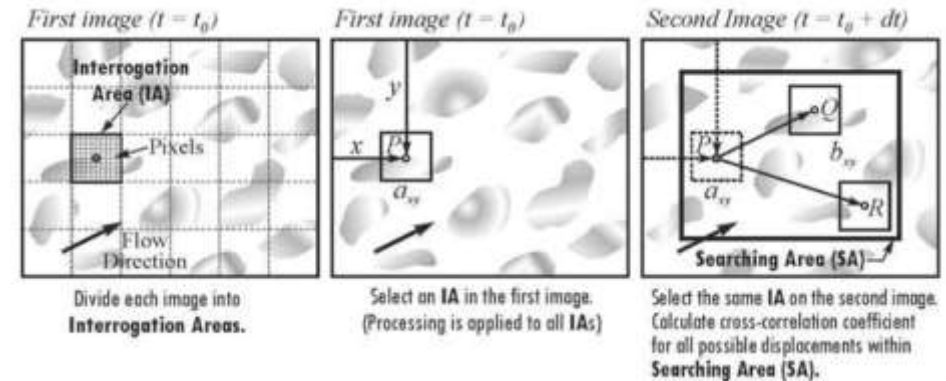
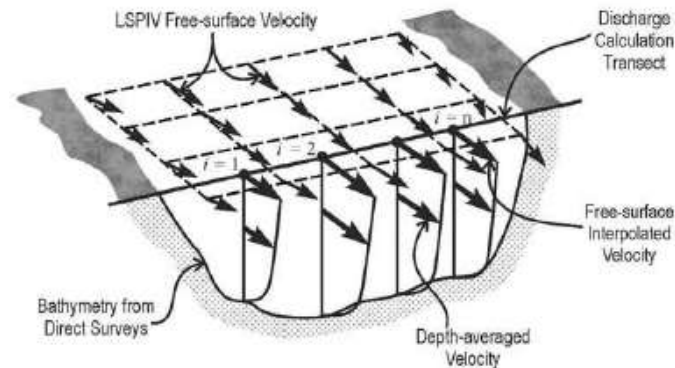


Registrazione del moto delle particelle attraverso l'utilizzo di **camere digitali** con risoluzione adeguata (*video/fotocamere professionali o compatte; video/fotocamere di piccole dimensioni, es. GoPro; Smartphone, tablet; etc.*)



Elaborazione delle immagini registrate con **opportuni software** :

- **Pre-processing:** ortorettifica delle immagini; processi di miglioramento grafico per aumentare il contrasto tracciante-sfondo, etc.
- **Image Analysis:** **riconoscimento pattern** dal confronto tra frames successivi mediante **analisi statistica di cross-correlazione**



- **Post-processing:** stima del **campo di velocità** (applicazione di filtri, rimozione outliers, tecniche di interpolazione; data smoothing; etc)

I VANTAGGI DELLA TECNICA LS-PIV

La tecnica **LS-PIV** presenta numerosi **vantaggi** rispetto alle tecniche tradizionali:

SEMPLICITÀ:

- ✓ campagne di misure semplici, veloci e non richiedono personale specializzato
- ✓ sensori non immersi → *nessun disturbo alla corrente e nessun rischio di perdita strumenti*
- ✓ nessun rischio per gli operatori

ACCESSIBILITÀ:

- ✓ possono essere usate camere commerciali ed economiche
- ✓ disponibilità commerciale di sistemi di immagazzinamento ed elaborazioni immagini economici e performanti
- ✓ disponibilità di molti software gratuiti e user-friendly per il processamento delle immagini:

FlowManager (<https://www.dantecdynamics.com/flowmanager-downloads>;
Podliński et al., 2007),
RIVeR (Patalano et al., 2017),
FUDAA-LSPIV (<https://forge.irstea.fr/projects/fudaa-lspiv>;
Hauet et al., 2014; Le Coz et al., 2014)

PIVLab - *Digital Particle Image Velocimetry Tool for MATLAB*
(<https://pivlab.blogspot.com/>; Thielicke & Stamhuis, 2014)



'RESEARCH QUESTIONS' E OBIETTIVI DEL LAVORO

Nonostante gli indubbi vantaggi, la tecnica **LS-PIV** è ancora scarsamente impiegata in applicazioni pratiche, probabilmente per la quasi totale **assenza di protocolli** sperimentali consolidati.

➤ **Analisi di alcuni fattori influenzanti la tecnica**

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL TRACCIANTE (*dimensioni*)

- *Sufficientemente grandi da consentire una loro corretta individuazione mediante la camera, sufficientemente piccole e leggere per galleggiare sulla superficie liquida e seguirne i movimenti*

DENSITÀ DEL TRACCIANTE (*ppp: particles per pixels*)

- *Densità troppo basse non riescono a caratterizzare il campo di moto. Densità troppo alte creano incertezza dovuta alla possibilità di collisioni e clustering delle particelle traccianti.*

VISIBILITÀ DEL TRACCIANTE RISPETTO ALL'ACQUA

- *Importanza dei processi di miglioramento grafico per aumentare il contrasto tra particelle traccianti e sfondo*

CONDIZIONI IDRAULICHE DEL FIUME (*frame by frame particle displacement*)

- *Velocità media della corrente e profili di distribuzione delle velocità superficiali*

FRAMEWORK MODELLISTICO

Catena modellistica, sviluppata in ambiente **MATLAB**, per la valutazione, mediante **approccio numerico** (*simulation-based approach*), dell'influenza dei vari **fattori** sulla stima della *velocità superficiale* mediante LS-PIV

1. IMAGE SEQUENCE GENERATOR

Vengono create diverse **configurazioni** alterando alcuni parametri (*dimensione, densità e colore del tracciante, colore dello sfondo, velocità media della corrente*), e per ogni **configurazione** vengono create diverse **sequenze sintetiche** di immagini

3. RESULTS ANALYSIS AND VISUALIZATION

Vengono analizzati **statisticamente** i risultati delle varie sequenze per ciascuna configurazione, creando **grafici** e **boxplot** atti ad evidenziare l'**errore** fra *velocità stimata* con il PIVLab e quella *imposta* mediante il generatore di immagini

2. IMAGE SEQUENCE PROCESSOR

PIVLab



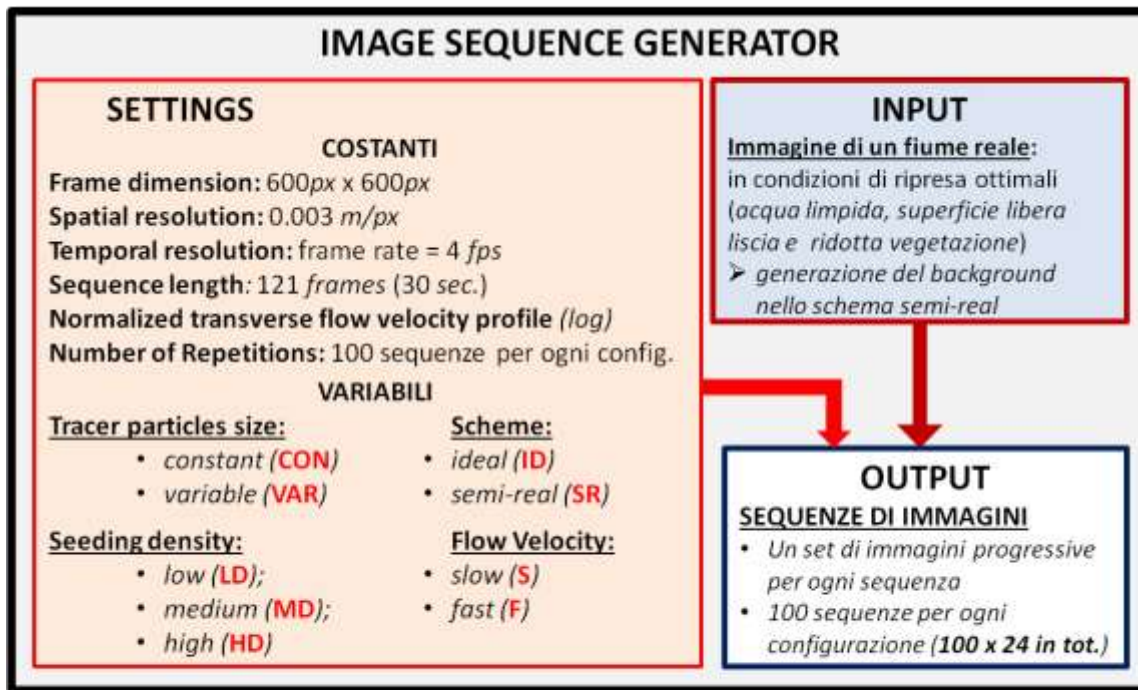
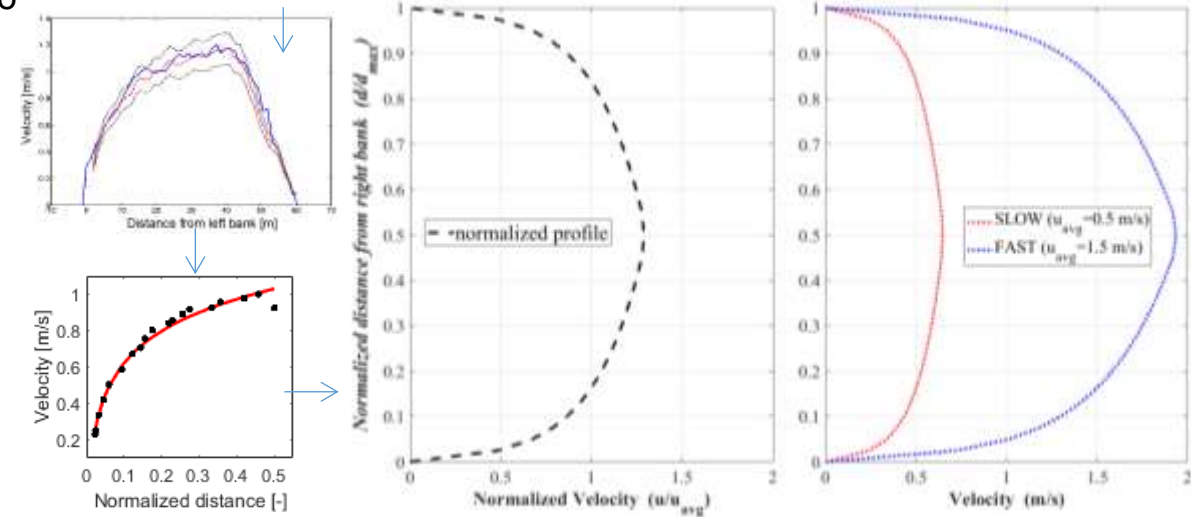
Vengono **processate** le *sequenze sintetiche* ricavando il **campo di velocità superficiale** ai nodi di una **griglia di calcolo**

GENERAZIONE DI SEQUENZE DI IMMAGINI SINTETICHE

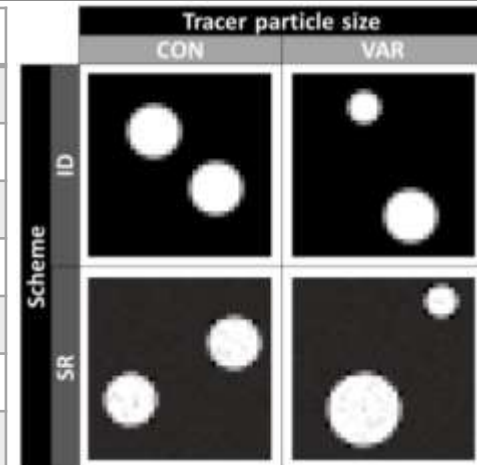
Per ogni configurazione, il codice genera $N(=100)$ **sequenze di immagini sintetiche** (121 frames da 600×600 px), che simulano un tracciante (*dischi*, con diametro D), distribuito in maniera casuale e concentrazione uniforme (*distribuzione di Poisson con parametro λ*), in condizioni di moto unidirezionale controllato

- **Schema ideale:** *dischi bianchi* su un *background nero*
- **Schema semi-reale:** *dischi bianchi disturbati da white noise*, su un *background reale* (ricostruito da un'immagine reale)

Le Coz, et al.2014. Image-based velocity and discharge measurements in field and laboratory river engineering studies using the free fudaa-LSPIV software. RIVER FLOW 2014:1961– 1967. CH. CRC Press



PARAMETRI					
Diameter (D)	CON	10			px
	VAR	mean D= 10			px
Density (λ)	LD	0,005	ppp	≈ 20	disks/fr
	MD	0,02	ppp	≈ 90	disks/fr
	HD	0,1	ppp	≈ 460	disks/fr
Average velocity	S	0,5	m/s	≈ 42	px/fr
	F	1,5	m/s	≈ 125	px/fr



Dal Sasso, S. F., Pizarro, A., Samela, C., Mita, L., Manfreda, S. 2018. Exploring the optimal experimental setup for surface flow velocity measurements using PTV. Environmental monitoring and assessment, 190(8), 460

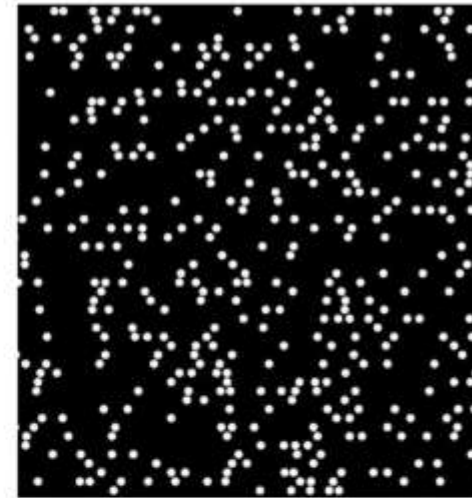
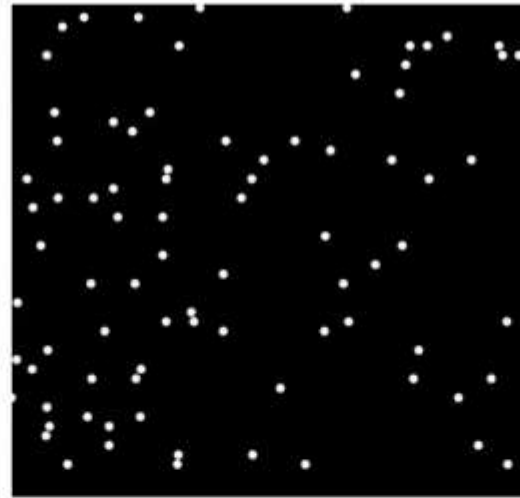
GENERAZIONE DI SEQUENZE DI IMMAGINI SINTETICHE

LOW (LD)

SEEDING DENSITY
MEDIUM (MD)

HIGH (HD)

SLOW
VELOCITY
 $u_{avg} = 0.5 \text{ m/s}$



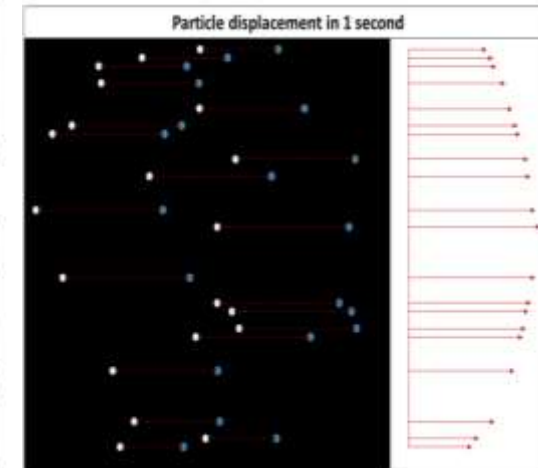
FAST
VELOCITY
 $u_{avg} = 1.5 \text{ m/s}$



ESEMPIO

SCHEMA "IDEAL" E
DIAMETRO COSTANTE (CON)

6 sequenze, con diversa
velocità (SLOW, FAST)
e densità (LD, MD, HD)



ANALISI DELLE SEQUENZE GENERATE

IMAGE SEQUENCE PROCESSOR - PIVlab

SETTINGS

No pre-processing (i.e. histogram equalization, intensity highpass and intensity capping)

Sequence processing style: type 1 (1-2; 2-3; 3-4, etc.)

Correlation algorithms: FFT-CC

Number of interrogation passes: 3

Window deformation interpolator: linear

Width of the IAs passes:
1° pass → 400px
2° pass → 200px
3° pass → 100px

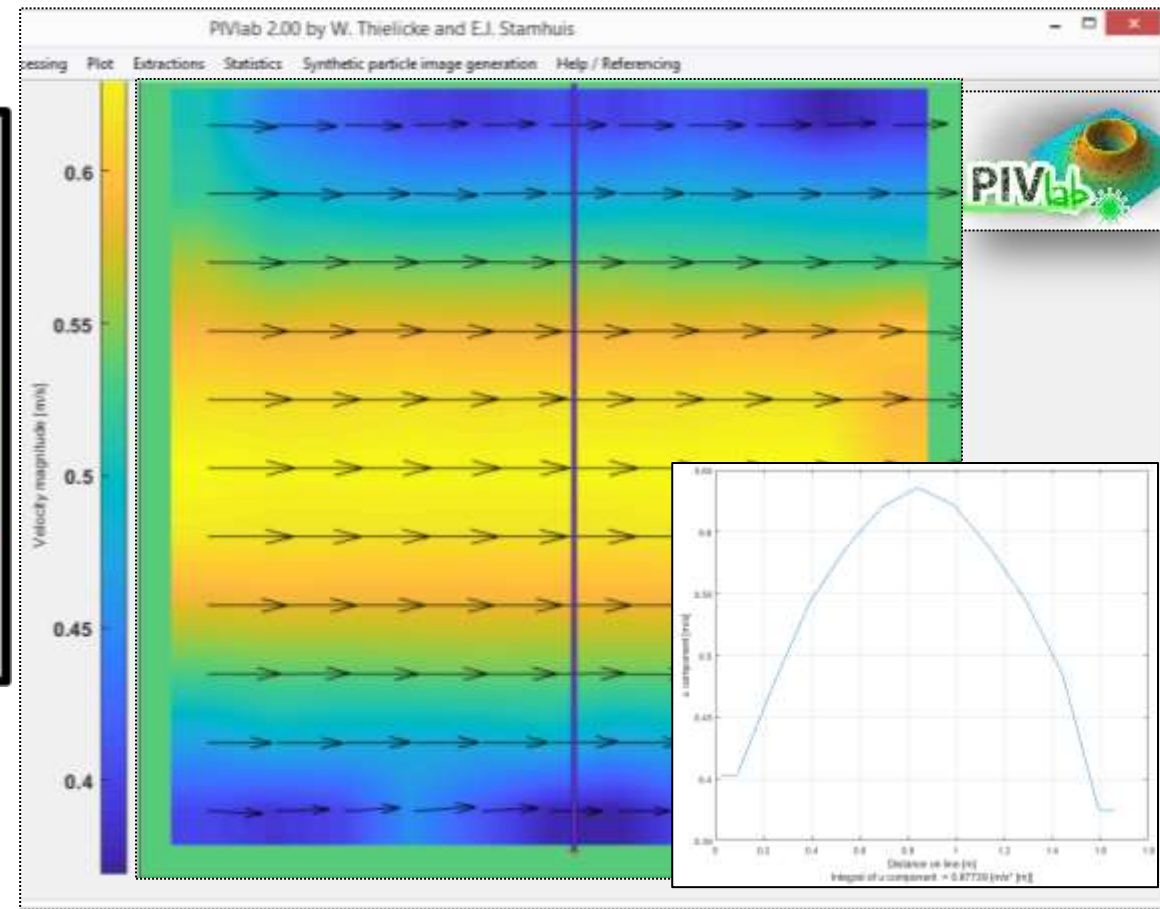
Computational grid: 11 x 11 nodi

OUTPUT

Per ogni sequenza:

- vettori velocità nei nodi della griglia di calcolo

Sono state processate complessivamente **2.400 sequenze** (24 conf. x 100 ripetizioni) ricavando altrettante matrici (.mat) di risultati, riportanti le **velocità superficiali** stimate in ogni nodo della griglia di calcolo.



ANALISI DEI RISULTATI

RESULTS ANALYSIS AND VISUALIZATION

OUTPUT:

Selezione dell'area di analisi (6 x 9 nodi)

- **Mappa del campo di velocità:**
Mappa riportante la velocità superficiale media ai nodi della griglia di calcolo
- **Analisi statistica dei risultati: confronto fra velocità stimata (PIVlab) e imposta (generatore)**
- **Boxplot dei MAPE (Mean Absolute Percentage Error):**
- **Boxplot di confronto a livello di singolo transetto**

APE - Absolute Percentage Error calcolato nel nodo i -esimo:

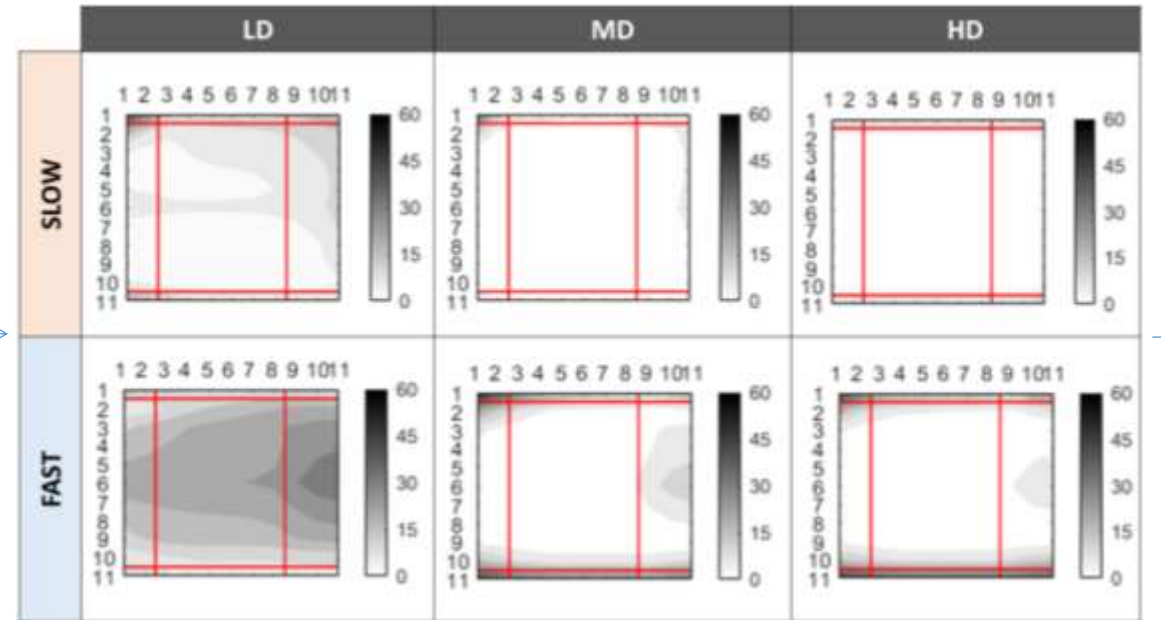
$$APE_i = \left| \frac{v_{PIVLab,i} - u_i}{u_i} \right| \%$$

con $v_{PIVLab,i}$ e u_i rispettivamente **velocità stimata** (con PIVLab) e **imposta** (generatore) nel nodo i .

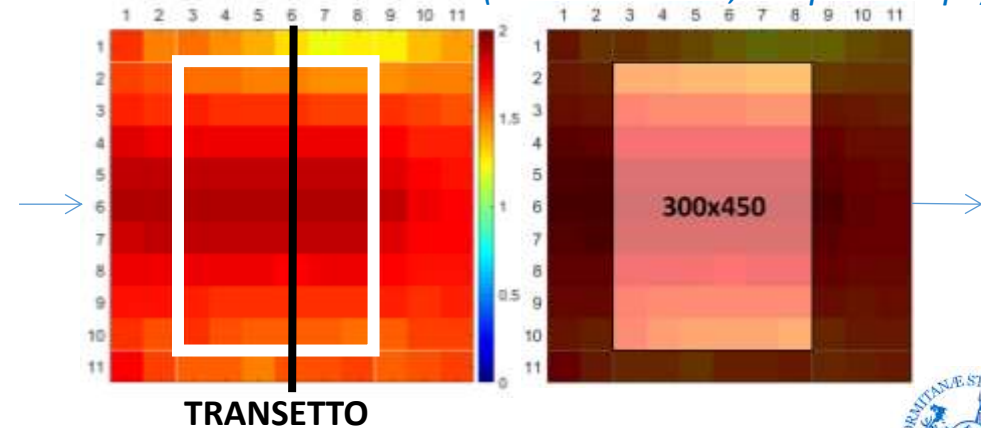
MAPE - Mean Absolute Percentage Error per il campo di moto:

$$MAPE = \sum_{i=1}^n APE_i = \sum_{i=1}^n \left| \frac{v_{PIVLab,i} - u_i}{u_i} \right| \%$$

Analisi dell'effetto bordo: media dei 100 APE in ogni nodo per ogni conf.



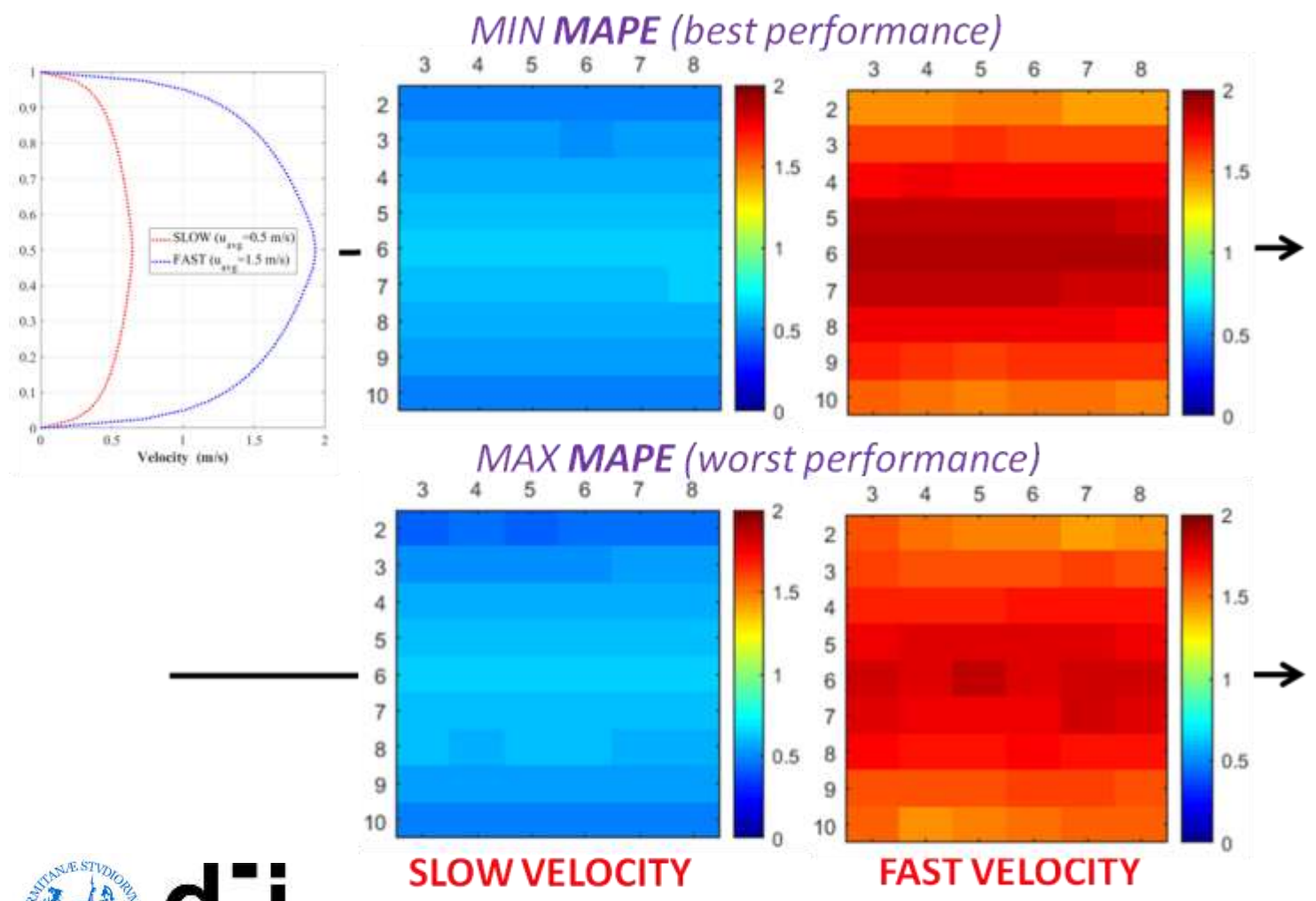
AREA DI ANALISI EFFETTIVA (6 x 9 = 54 nodi ; 300px x 450px)



RISULTATI - VELOCITÀ AI NODI COMPUTAZIONALI

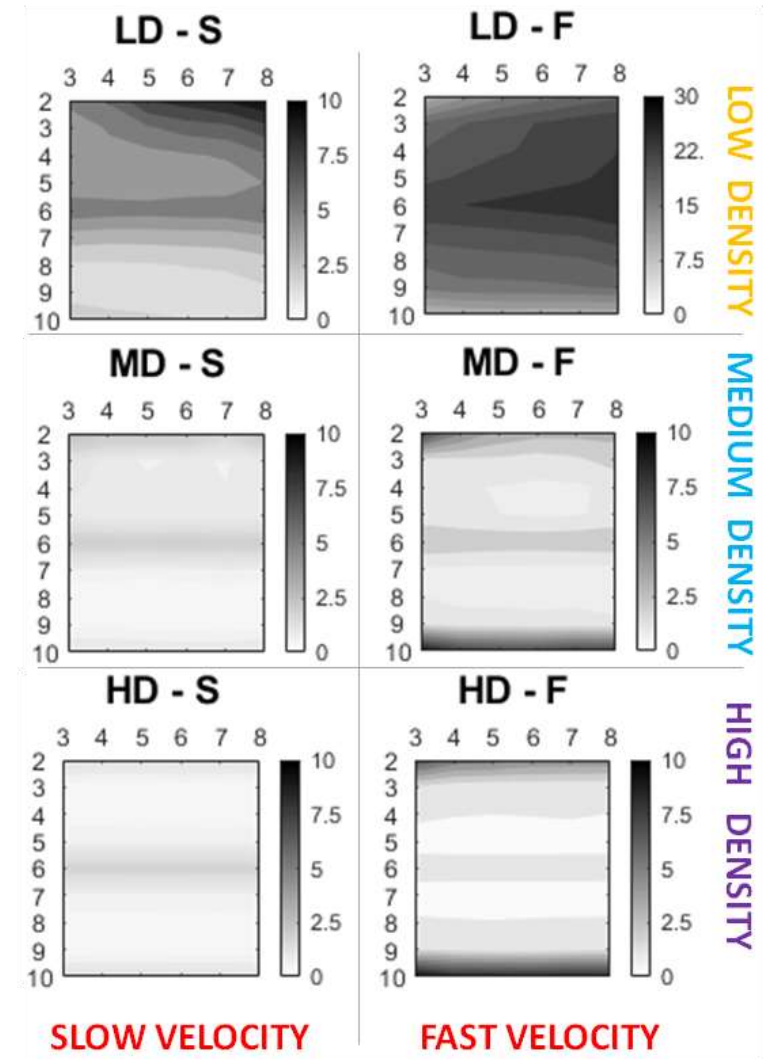
ESEMPIO 1

SCHEMA "IDEAL" - DIAMETRO COSTANTE (CON) - DENSITÀ MEDIA (MD)
Velocità stimate in ogni nodo per le 4 sequenze relative al min e max MAPE e per entrambi i profili di velocità imposti (SLOW e FAST)



ESEMPIO 2

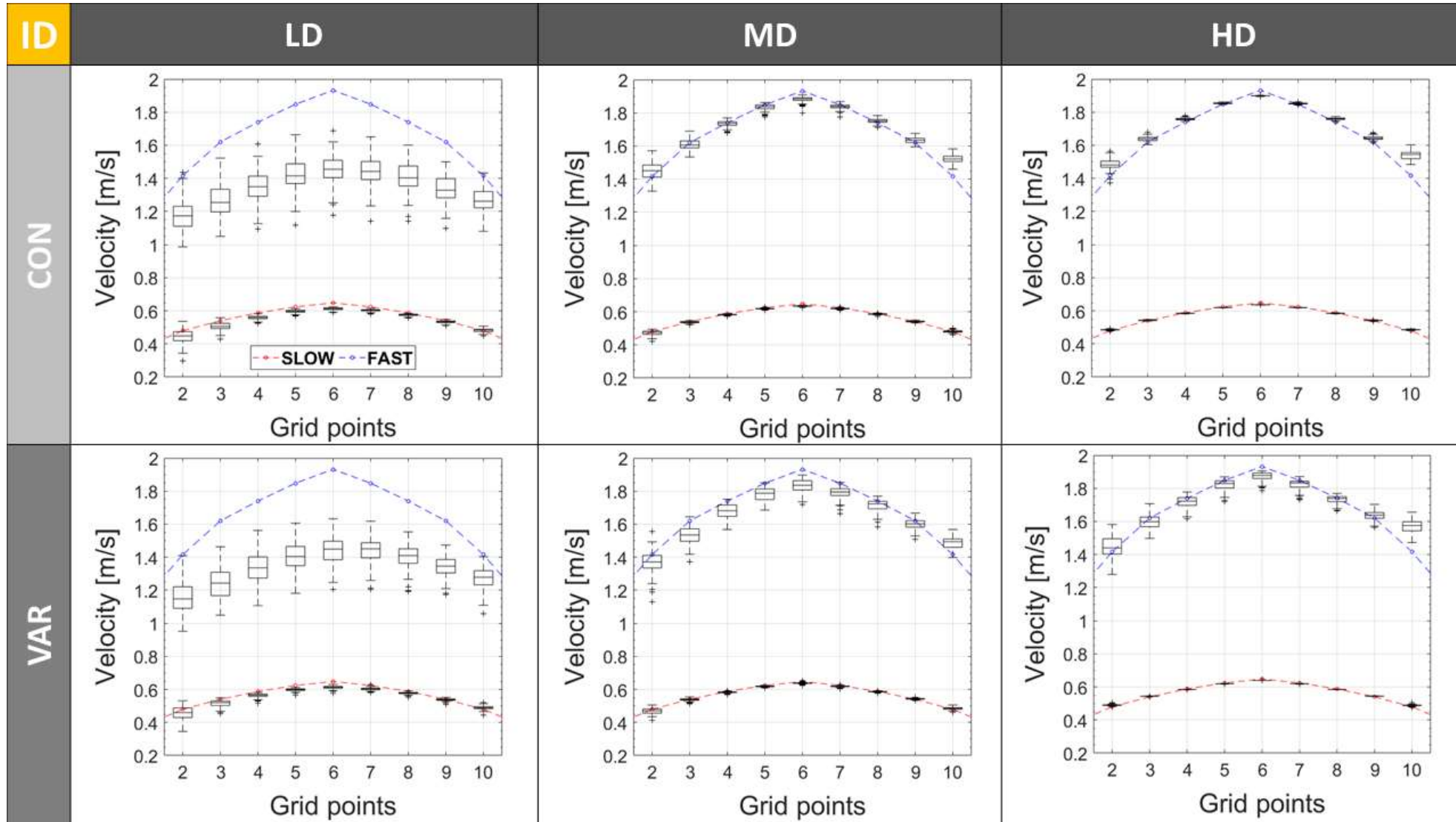
SCHEMA "IDEAL" - DIAMETRO COSTANTE (CON)
Valore medio degli APE_i per ciascuna conf.



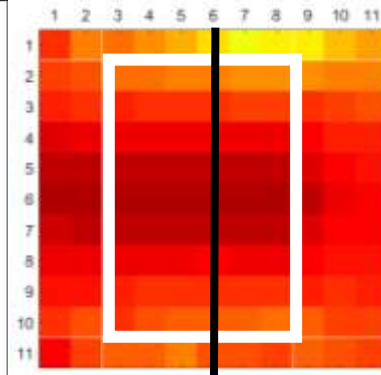
dj

RISULTATI – VELOCITÀ LUNGO UN TRANSETTO

Effetto della densità del tracciante in relazione alla velocità della corrente - SCHEMA "IDEAL"



velocità imposta
(FAST, SLOW)
vs. boxplot delle
velocità stimate
per le 100
sequenze di ogni
configurazione

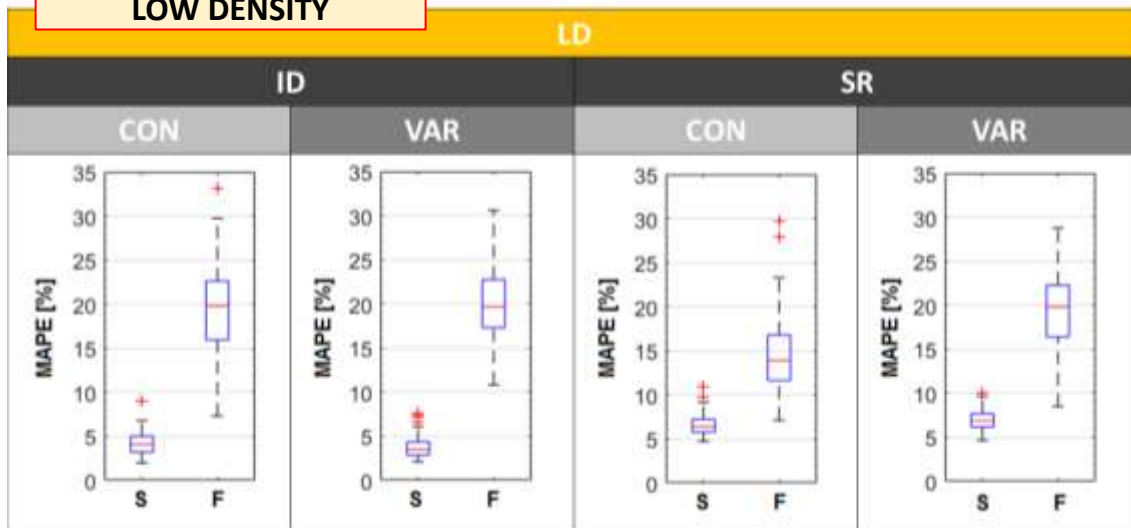


TRANSETTO

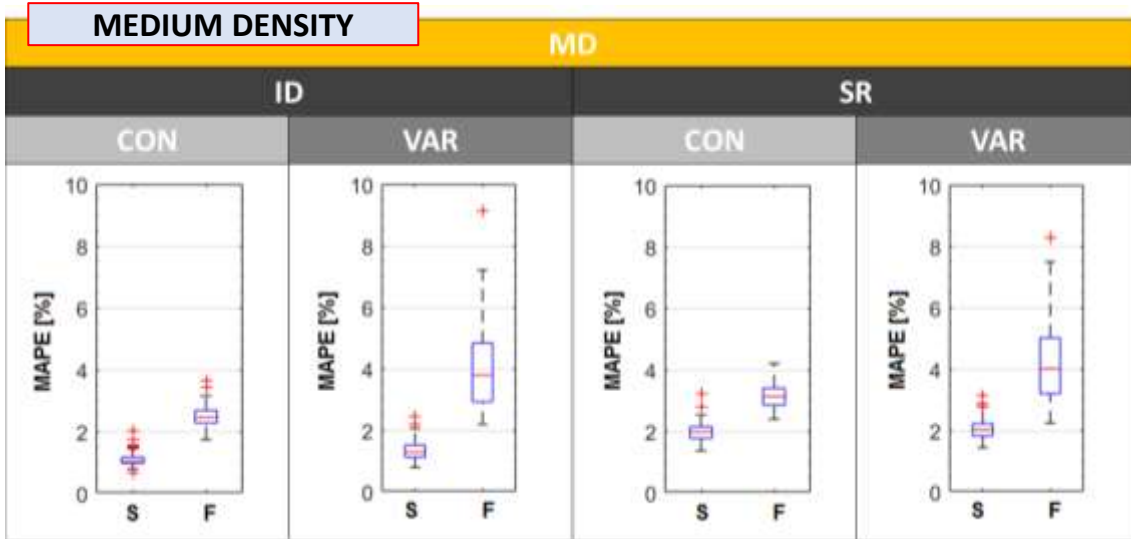
RISULTATI – VELOCITÀ MEDIA DEL CAMPO DI MOTO

Boxplot dei MAPE per tutte le configurazioni

LOW DENSITY

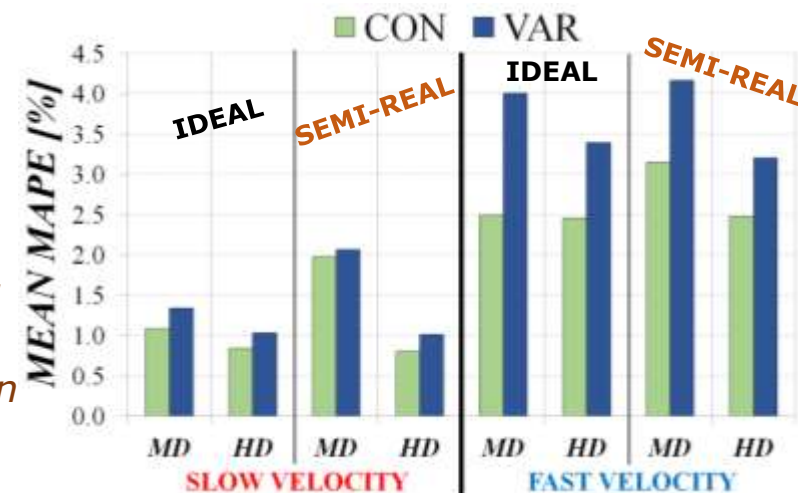


MEDIUM DENSITY

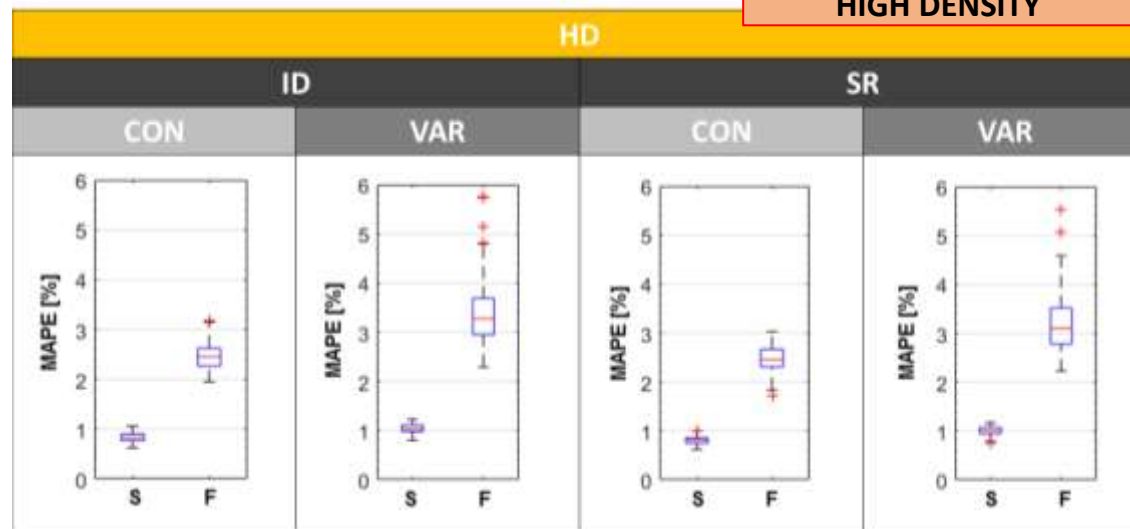


IDEAL vs SR
ed effetto della
dimensione
variabile del
tracciante

Valore medio dei
MAPE per ogni
configurazione con
densità MD e HD



HIGH DENSITY



CONCLUSIONI

- **Tecniche LS-PIV** applicate al monitoraggio dei corsi d'acqua possono ovviare a molte delle criticità legate ai metodi tradizionali, risultando estremamente **semplici** ed **accessibili**.
- Il **PIVLab** è un valido strumento per la ricostruzione del campo di moto e risulta particolarmente adatto ad **approcci numerici** finalizzati all'individuazione di set-up sperimentali ottimali sotto diverse condizioni al contorno.
- La **densità** del tracciante in relazione alle condizioni di moto sembra avere un **ruolo dominante** rispetto agli altri fattori analizzati: una densità bassa (*che potrebbe simulare una situazione di tracciante naturalmente presente nel corso d'acqua*) potrebbe essere sufficiente per caratterizzare un campo di moto con bassa velocità. All'aumentare della velocità occorre aumentare la densità del tracciante.
- Nel caso di tracciante artificiale, l'uso di particelle di **dimensioni** e **colore uniforme** potrebbe essere preferibile. Dal confronto fra caso '**ID**' e '**SR**' si nota come i **processi di miglioramento grafico** atti ad aumentare il contrasto tra tracciante e sfondo, possano contribuire al miglioramento delle performance dei software basati su tecnica LS-PIV.
- Sono stati analizzati gli effetti solo di alcuni fattori influenzanti la tecnica LS-PIV; altri fattori, altrettanto importanti, sono attualmente in fase di studio come: la **frequenza dei frame** (*fps*) o la **durata** del video (*numero di frames elaborati*).



Società Idrologica Italiana
Italian Hydrological Society

Il Decennale e le Giornate dell'Idrologia 2019

L'idrologia al servizio dei cittadini: tra emergenze e gestione delle risorse idriche



BOLOGNA, 16-18 SETTEMBRE 2019



GRAZIE PER L'ATTENZIONE



CONTATTI:

Dr. Ing. Dario Pumo (Ph.D.)

Ricercatore presso:

*Dipartimento di Ingegneria Università
degli Studi di Palermo*

email: dario.pumo@unipa.it



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PALERMO

