

## **4. METODI E MODALITA' DI ANALISI**

L'analisi è mirata a studiare i fenomeni di formazione di gocce nel passaggio attraverso lo sparo ed a misurare la distribuzione dimensionale di tali gocce.

A questo scopo sono stati eseguiti diversi test sperimentali in modo da riprodurre le condizioni che vincolano e/o portano alla formazione delle gocce.

La matrice di test è stata definita variando i parametri in ingresso:

1. PORTATA ASSIALE
2. PERCENTUALE D'OLIO
3. VELOCITA' ALLO SPARO

Ogni condizione sperimentale è stata documentata con una serie di immagini, per ogni condizione sono state fatte diverse fotografie in modo da verificare statisticamente l'affidabilità della documentazione raccolta.

Le fotografie sono state analizzate con un software di elaborazione delle immagini in modo da ricavare tutti i parametri necessari per calcolare la distribuzione dimensionale delle gocce.

L'affidabilità del programma è stata verificata manualmente su alcune fotografie campione.

## 4.1 MATRICE DI TEST

La matrice di test è stata definita cercando di riprodurre le diverse condizioni operative che si possono verificare nelle condizioni reali, considerando d'altra parte, i limiti dovuti alla strumentazione e alle apparecchiature utilizzate nella riproduzione in laboratorio, in particolare:

All'interno della matrice di test *in figura 6* si possono vedere i range utilizzati per le analisi dei diversi parametri in gioco, quest'ultimi sono i seguenti:

1. Limiti di flusso dovuti agli organi di movimentazione
2. Precisione delle misure

Le pompe utilizzate possono trattare una portata massima di circa 70l/min, per l'acqua e di circa 20 l/min per l'olio. Il limite massimo della portata trattabile, tuttavia non è imposto dalle pompe bensì dagli smorzatori di oscillazioni, la cui efficienza diminuisce all'aumentare della portata.

Mentre pompe e smorzatori di oscillazioni limitano la portata delle singole fasi. La sensibilità del software di analisi delle immagini impone la portata totale in ingresso allo sparo: alte portate allo sparo comportano la formazione di emulsioni acqua-olio finemente disperse, tali da non essere misurabili con le tecniche scelte. Tale fenomeno, tuttavia si verifica solo per velocità nello sparo piuttosto alte che non sono di particolare interesse per questo studio poiché rappresentano una condizione limite di campo.

La matrice di test è stata definita variando alcuni parametri:

1. **Portata assiale** : Le portate assiali variano da un minimo 1l/min ad un massimo di 5l/min, e queste sono state mantenute a valori piuttosto bassi, perché nel caso reale il flusso assiale è di piccole entità se non addirittura nullo.

Il minimo delle portate è stato anche deciso per motivi impiantistici in quanto per valori minori di 1l/min l'errore era troppo rilevante rispetto alla precisione degli strumenti di lettura utilizzati.

2. **Percentuale d'olio** : Le percentuali di olio variano da un minimo del 3% ad un massimo del 30% nel caso di velocità 0,5m/s, mentre per velocità di 1 e 1,5m/s le percentuali variano da un minimo del 3% ad un massimo del 50%.

E' evidente che all'aumentare della percentuale di olio all'interno dello sparo, c'è un proporzionale aumento della dimensione delle stesse.

Questi range di portata sono stati presi con un'ampia variabilità proprio per poter ottenere dei risultati il più generalizzabili possibile, e per avere una casistica più ampia.

3. **Velocità allo sparo** : La velocità allo sparo è un parametro fondamentale nello studio in esame in quanto determina la quantità dei due fluidi immessi nel flusso assiale e anche come conseguenza, la frammentazione delle gocce.

I valori delle velocità in esame sono tre: 0,5-1-1,5 m/s, il limite minimo è stato dettato come già detto da un problema di portate di olio troppo piccole e non ottenibili con gli strumenti presenti all'interno dell'impianto, mentre il limite superiore è stato fissato considerando i limiti di precisione del software di analisi delle immagini: la massima velocità è quella oltre la quale si ottengono immagini difficilmente trattabili.

**Tabella 6**

vs	Qax	%olio	vs	%olio	vs	%olio
m/s	l/min		m/s		m/s	
0,5	1	3	1	3	1,5	3
		15		15		15
		30		30		30
		40		40		40
		50		50		50
	3	3		3		3
		15		15		15
		30		30		30
		40		40		40
		50		50		50
	5	3		3		3
		15		15		15
		30		30		30
		40		40		40
		50		50		50

Oltre ai problemi legati all'utilizzo del programma si sono evidenziate anche limitazioni per quanto concerne l'impianto queste sono sostanzialmente di due tipi:

Il primo problema è legato alle portate massime trattabili con le pompe utilizzate e strettamente legate a questo anche all'utilizzo degli smorzatori, in quanto questi non sono risultati efficienti per tutte le portate perché è stato visto che le fluttuazioni tendevano a crescere con l'aumento delle portate stesse. Quindi si è cercato un limite massimo delle portate che non coincidesse con la massima portata delle pompe ma con una portata limite, che tenesse in considerazione anche l'efficienza degli smorzatori.

Per quanto riguarda invece la precisione delle misure per portate di piccole entità, il problema è stato riscontrato esclusivamente per l'olio in quanto, per piccole portate l'errore commesso dovuto alle fluttuazioni di portata non era trascurabile. Il limite minimo dunque che è stato analizzato è quello con una velocità allo sparo di 0,5 m/s e con una percentuale di olio del 3, a queste condizioni infatti la portata di olio per ogni minuto è di 100grammi che è anche il limite minimo rilevabile sui rotometri presenti, nell'impianto dell'olio.

## **4.2 ANALISI DELLE IMMAGINI**

Le fotografie sono state analizzate utilizzando un programma di elaborazione delle immagini sviluppato presso il National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA.

Il programma Image-j è nato per l'elaborazione delle immagini mediche e la sua versatilità lo rende adatto a tante applicazioni, come quelle in esame.

Le fotografie sono state elaborate in modo tale da rendere la luminosità uniforme e trasformando successivamente l'immagine in "binary", bianco e nero, per una più precisa delineazione dei contorni delle gocce. Tale procedura di elaborazione è stata definita e usata per ogni set di fotografie raccolte in momenti diversi, con diversa illuminazione e condizioni ambientali variabili, in modo da poter ottenere dei risultati confrontabili fra loro. A seguito del miglioramento dell'immagine e delle impostazioni delle dimensioni è stato eseguito la misura e il calcolo di alcuni parametri, i quali sono di seguito riportati.

Il software invece ha palesato dei limiti evidenti, quando le immagini digitali presentavano un'altissima concentrazione di gocce di olio, fenomeno che si è realizzato per velocità allo sparo elevate, superiori cioè a 1,5 m/s.



*Figura 19*

E' stato calcolato un errore massimo del 5% nelle immagine più difficoltose da trattare, mentre nelle condizioni in cui le gocce sono risultate poco numerose e cioè per portate di olio basse e per velocità allo sparo di 0,5m/s, l'errore è stato tranquillamente trascurabile.

Un altro fattore importante da considerare è quello che le immagini che vengono trattate sono bidimensionali e di conseguenza non si può notare in tutti i casi e particolarmente in quelli con una elevata densità di gocce, quelle in profondità in quanto lo spessore fra le lastre è di 12mm. Quindi è importante tenere in considerazione che nelle analisi si commette un errore sistematico non mettendo in evidenza le gocce nascoste da quelle sovrapposte.

Qui di seguito è riportata una immagine per velocità superiore ad 1,5 m/s.(*figura19* )

### 4.3 STIMA E CALCOLO DEI PARAMETRI

I parametri utili al fine dello studio sono stati in parte calcolati direttamente con l'utilizzo di image j e questi sono:

- numero di gocce
- circolarità delle gocce
- dimensioni degli assi delle gocce sul piano parallelo alle lastre
- posizione delle gocce rispetto a due assi di riferimento
- fit ellipse

- Il numero di gocce che è stato calcolato in primis è quello totale all'interno di una singola immagine. Chiaramente di per se questo non dice niente, se non è rapportato alle dimensioni reali dell'aria fotografata, di modo che si possa dedurre la densità delle gocce per superficie.

Come già accennato in precedenza per verificare l'affidabilità del programma sono stati fatti alcuni riscontri contando le gocce manualmente, soprattutto nei casi più complessi, in cui queste sono risultate molte numerose e come stretta conseguenza c'è un aumento della probabilità di sovrapposizione delle gocce nelle immagini da trattare.

- Per quanto riguarda la circolarità delle gocce, si può affermare che questo parametro è stato molto importante nei casi in cui il flusso aveva velocità modeste allo sparo, infatti in questo caso le gocce assumevano forme oblunghe che si discostavano in maniera rilevante da una forma sferica, infatti il valore della circolarità è stato spesso minore di 0,5.

E'utile ricordare che questo parametro può assumere valori compresi fra 0 e 1, quest'ultimo nel caso in cui la figura che viene presa in considerazione è un cerchio, mentre più la forma del poligono è oblunga più il valore della circolarità è prossimo allo zero.

La formula della circolarità infatti è:

$$\text{CIRCULARITA`} = 4\pi * \text{Sup} / (\text{perimetro})^2$$

Questo parametro diventa significativo per particelle di dimensioni non troppo piccole.

- Un ulteriore parametro analizzato è stato quello di misurare gli assi delle singole gocce parallelamente ai due assi di riferimento x-y, cioè del rettangolo di dimensioni più piccole che racchiude la goccia.

Questi assumono una elevata importanza soprattutto nelle gocce che hanno una circolarità bassa, che hanno cioè una dimensione predominante sull'altra, in questo caso infatti calcolando il volume delle gocce come se fossero sferiche si commette un errore abbastanza grossolano. Errore ancor più influente ai fini dei risultati, se viene preso in considerazione il fatto che le gocce che assumono una forma tendenzialmente ovoidale sono quelle di dimensioni più rilevanti e che quindi contribuiscono in maniera decisa al calcolo del volume cumulativo: è evidente infatti che calcolando il volume delle gocce ovoidali come se fossero sferiche si commette un errore, che aumenta in modo proporzionale all'aumentare del rapporto tra i due assi della goccia.

- La posizione rispetto agli assi di riferimento permette di calcolare una distribuzione in classi delle gocce all'interno del fluido in movimento, è importante perché da un'idea della distribuzione spaziale delle gocce stesse all'interno del moto.

Come verrà chiarito più avanti, il profilo dimensionale della velocità caratteristico di un moto all'interno di due lastre piane, influenza la distribuzione spaziale delle gocce all'interno del fluido in movimento, in quanto: la velocità è massima nel centro della lastra e diminuisce mano a mano che ci si avvicina al bordo della stessa.

Come origine degli assi x-y è stato preso il punto in basso a sinistra delle singole immagini.

- Con la fit ellisse il programma fornisce le dimensioni, e le direzioni degli assi di un ellissoide di dimensioni più simili alle gocce.



## **4.4 CALCOLO DELLA DISTRIBUZIONE DIMENSIONALE**

La distribuzione dimensionale delle gocce è stata ricavata da un'analisi delle immagini, nelle diverse condizioni di test.

La valutazione della distribuzione dimensionale è stata eseguita definendo 101 classi dimensionali a passo costante di 100  $\mu\text{m}$  di diametro. In tabella() è riportata la suddivisione delle classi definite.

Sulla base di tale suddivisione, sono state analizzate le fotografie in modo da identificare il numero di gocce appartenenti a ciascuna classe e quindi calcolare il volume totale di ogni classe.

Dal numero di gocce per classe e di seguito dal volume cumulativo, sono stati ricavati infine i parametri caratteristici della distribuzione dimensionale:

- $d_v 0,5$
- $d_{3,2}$

qui di seguito i diversi parametri verranno descritti singolarmente, spiegando brevemente l'utilità nelle analisi e il loro relativo significato.

Il  $D_v 0,5$  è un parametro molto importante in uno studio di distribuzione dimensionale di gocce in quanto è il diametro al di sotto del quale si trova il 50% della totalità del volume delle gocce stesse. In seguito questo parametro verrà anche indicato come  $D_v 50$ .

Per quanto concerne  $D_{3,2}$  infine è definito come il diametro di una goccia avente un volume pari allo stesso volume di una goccia calcolata per quella determinata superficie.

Il  $D_{3,2}$  è stato calcolato per completezza, ma non risultando di particolare interesse è stato successivamente trascurato in questa analisi.

$$D_{3,2} = \frac{\sum N_i \delta_i^3}{\sum N_i \delta_i^2}$$

Tabella 7

classe	diametro gocce mm	classe	diametro gocce mm	classe	diametro gocce mm
1	$d < 0,1$	35	$3,4 < d \leq 3,5$	69	$6,8 < d \leq 6,9$
2	$0,1 < d \leq 0,2$	36	$3,5 < d \leq 3,6$	70	$6,9 < d \leq 7$
3	$0,2 < d \leq 0,3$	37	$3,6 < d \leq 3,7$	71	$7 < d \leq 7,1$
4	$0,3 < d \leq 0,4$	38	$3,7 < d \leq 3,8$	72	$7,1 < d \leq 7,2$
5	$0,4 < d \leq 0,5$	39	$3,8 < d \leq 3,9$	73	$7,2 < d \leq 7,3$
6	$0,5 < d \leq 0,6$	40	$3,9 < d \leq 4$	74	$7,3 < d \leq 7,4$
7	$0,6 < d \leq 0,7$	41	$4 < d \leq 4,1$	75	$7,4 < d \leq 7,5$
8	$0,7 < d \leq 0,8$	42	$4,1 < d \leq 4,2$	76	$7,5 < d \leq 7,6$
9	$0,8 < d \leq 0,9$	43	$4,2 < d \leq 4,3$	77	$7,6 < d \leq 7,7$
10	$0,9 < d \leq 1$	44	$4,3 < d \leq 4,4$	78	$7,7 < d \leq 7,8$
11	$1 < d \leq 1,1$	45	$4,4 < d \leq 4,5$	79	$7,8 < d \leq 7,9$
12	$1,1 < d \leq 1,2$	46	$4,5 < d \leq 4,6$	80	$7,9 < d \leq 8$
13	$1,2 < d \leq 1,3$	47	$4,6 < d \leq 4,7$	81	$8 < d \leq 8,1$
14	$1,3 < d \leq 1,4$	48	$4,7 < d \leq 4,8$	82	$8,1 < d \leq 8,2$
15	$1,4 < d \leq 1,5$	49	$4,8 < d \leq 4,9$	83	$8,2 < d \leq 8,3$
16	$1,5 < d \leq 1,6$	50	$4,9 < d \leq 5$	84	$8,3 < d \leq 8,4$
17	$1,6 < d \leq 1,7$	51	$5 < d \leq 5,1$	85	$8,4 < d \leq 8,5$
18	$1,7 < d \leq 1,8$	52	$5,1 < d \leq 5,2$	86	$8,5 < d \leq 8,6$
19	$1,8 < d \leq 1,9$	53	$5,2 < d \leq 5,3$	87	$8,6 < d \leq 8,7$
20	$1,9 < d \leq 2$	54	$5,3 < d \leq 5,4$	88	$8,7 < d \leq 8,8$
21	$2 < d \leq 2,1$	55	$5,4 < d \leq 5,5$	89	$8,8 < d \leq 8,9$
22	$2,1 < d \leq 2,2$	56	$5,5 < d \leq 5,6$	90	$8,9 < d \leq 9$
23	$2,2 < d \leq 2,3$	57	$5,6 < d \leq 5,7$	91	$9 < d \leq 9,1$
24	$2,3 < d \leq 2,4$	58	$5,7 < d \leq 5,8$	92	$9,1 < d \leq 9,2$
25	$2,4 < d \leq 2,5$	59	$5,8 < d \leq 5,9$	93	$9,2 < d \leq 9,3$
26	$2,5 < d \leq 2,6$	60	$5,9 < d \leq 6$	94	$9,3 < d \leq 9,4$
27	$2,6 < d \leq 2,7$	61	$6 < d \leq 6,1$	95	$9,4 < d \leq 9,5$
28	$2,7 < d \leq 2,8$	62	$6,1 < d \leq 6,2$	96	$9,5 < d \leq 9,6$
29	$2,8 < d \leq 2,9$	63	$6,2 < d \leq 6,3$	97	$9,6 < d \leq 9,7$
30	$2,9 < d \leq 3$	64	$6,3 < d \leq 6,4$	98	$9,7 < d \leq 9,8$
31	$3 < d \leq 3,1$	65	$6,4 < d \leq 6,5$	99	$9,8 < d \leq 9,9$
32	$3,1 < d \leq 3,2$	66	$6,5 < d \leq 6,6$	100	$9,9 < d \leq 10$
33	$3,2 < d \leq 3,3$	67	$6,6 < d \leq 6,7$	101	$10,1 < d \leq 10,2$
34	$3,3 < d \leq 3,4$	68	$6,7 < d \leq 6,8$		

## **4.5 ZONA DI ACQUISIZIONE DELLE IMMAGINI**

L'analisi delle fotografie e la loro elaborazione fino al calcolo della distribuzione dimensionale delle gocce è stata eseguita per tutti i dati raccolti in diverse sezioni della unità di visualizzazione, una adiacente allo sparo e l'altra circa 60 cm più in alto.

I risultati riportati in questo studio sono relativi alla zona superiore di reperimento dati , poiché la documentazione fotografica raccolta e la relativa analisi per la sezione dello sparo hanno dimostrato che la turbolenza locale indotta dall'ingresso della miscela, (che sbatte sulla lastra immediatamente di fronte) non consente di ricavare risultati attendibili.