

LIMITI DI UTILIZZO DELLE SCHIUME ANTINCENDIO

M. Demichela, A. Lancia[^]

Politecnico di Torino - Dipartimento Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica
C.so Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 TORINO

m.demichela@polito.it

[^] TLC Tecnosistemi S.A.

Centro Galleria 2 - Via Cantonale - 6928 Manno (TI), Switzerland

antonio.lancia@tecnosistemi.ch

Riassunto

L'intervento presenta i risultati della sperimentazione condotta nell'ambito del progetto FOAMSPEX (FOAM application modelling of foam SPread and EXtinguishment). In particolare si riferisce sulla caratterizzazione dei getti di schiuma e sui limiti legati al loro utilizzo nello spegnimento di incendi di serbatoi di combustibili liquidi di grosse dimensioni. La sperimentazione e la successiva analisi dei dati hanno infatti evidenziato come i fenomeni del drop out, ovvero la perdita di schiuma durante il lancio, e dell'*updraft*, ovvero il trascinarsi della schiuma da parte dei fumi dell'incendio, possano portare a una perdita di schiuma fino al 50% della portata complessiva.

1. Introduzione

In questo lavoro si presenta una prima serie di risultati della sperimentazione condotta nell'ambito del progetto FOAMSPEX (FOAM application modelling of foam SPread and EXtinguishment), i cui scopi e basi teoriche erano stati già esposti in un precedente lavoro [1].

Ora s'illustreranno invece i risultati delle sperimentazioni condotte per la caratterizzazione dei getti di schiuma antincendio al fine di identificare i meccanismi che possono provocare la perdita di schiuma e quindi ridurre l'efficacia nello spegnimento [2].

La dimensione e le distribuzioni di velocità dei fiocchi generati dalle lance sono stati misurati con fotogrammetria ad alta velocità, durante prove eseguite su scala reale, con lance di diverse portate e due tipi di schiuma, una fluoroproteinica (FP) e una sintetica, resistente agli alcoli (AFFF - AR) [3].

I dati ottenuti nelle sperimentazioni sono stati utilizzati come base per la simulazione numerica dei getti, intesa come sussidio per la progettazione degli impianti antincendio.

2. Caratterizzazione dei getti di schiuma

L'applicazione diretta della schiuma è una situazione difficile da modellare in quanto, come si è detto, parte della schiuma può non raggiungere il bersaglio a causa del *dropout*, nel caso in cui i fiocchi di schiuma ricadano prima del bersaglio o al di fuori di un'area utile, e del trascinarsi dei fumi d'incendio.



Figura 1: Apparato sperimentale per la caratterizzazione dei getti di schiuma.

Entrambi gli effetti, che influenzano l'efficacia dell'azione di spegnimento, possono variare molto con il tipo di schiuma e il tipo di lancia utilizzata. Per ottenerne una stima quantitativa, sono state condotte delle prove su scala reale presso il campo prove dell'Angus Fire in Gran Bretagna, con lance di portata variabile tra i 12 e i 1800 l/min di schiumogeno, di tipo FP e AFFF-AR (Fig. 1).

Poiché lo scopo era quello di simulare l'utilizzo di schiume per lo spegnimento d'incendi in serbatoi di liquidi combustibili di grandi dimensioni, ai quali è difficile avvicinarsi con l'incendio il corso, le prove sono state condotte alla massima gittata delle lance, mantenendo il getto sul bersaglio per 15-30 s.

Al termine di ogni prova sono stati rilevati la gittata e l'ampiezza dell'impronta e, tramite campionamenti da contenitori di raccolta posizionati *ad hoc*, sono state misurate l'espansione della schiuma e la sua distribuzione nella zona di impatto.

Le principali osservazioni derivanti da queste prime prove, riassunte in Fig. 2, sono che sia la gittata che l'ampiezza del getto aumentano al crescere della portata delle lance, con prestazioni migliori in termini di gittata per le schiume AFFF e in termini di spandimento per le schiume FP.

Per avere una stima delle perdite per *dropout* sono stati posizionati alcuni contenitori di raccolta al di fuori dell'area di impatto "efficace" (vedi Fig. 3): 3 metri prima e dopo il punto di impatto previsto, in direzione del getto e 1,5 a destra e a sinistra dello stesso, perpendicolarmente alla direzione del getto. Un ulteriore contenitore di raccolta è stato posizionato circa a metà della traiettoria prevista.

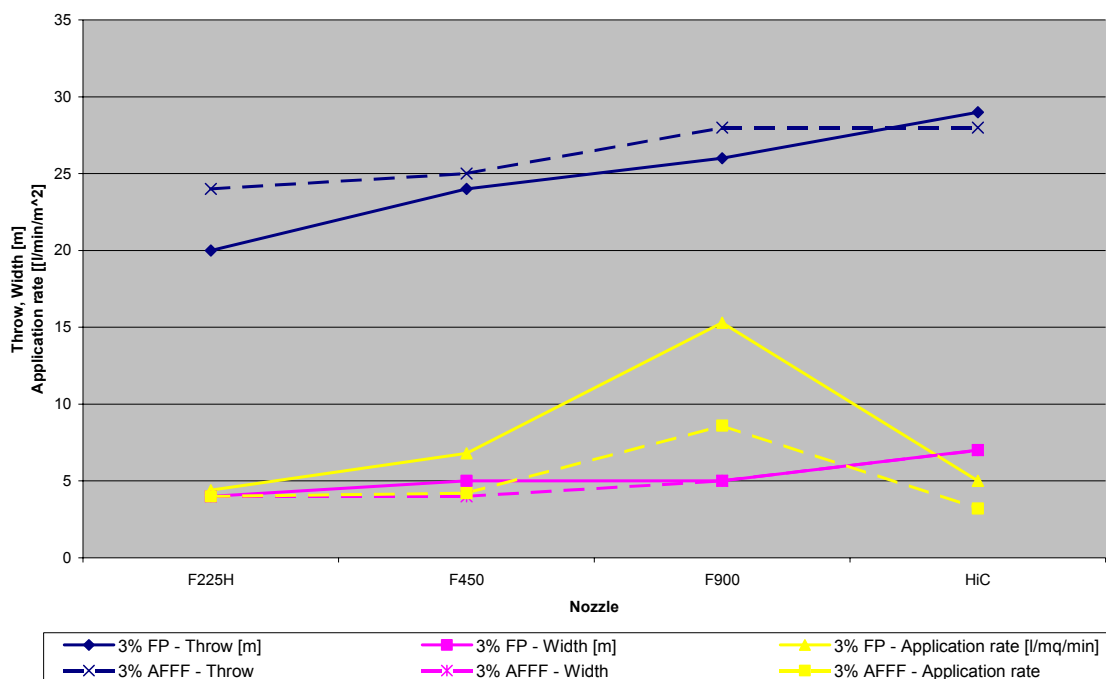


Figura 2: Confronto tra le caratteristiche fisiche dei getti

Dalla quantità di schiuma raccolta in questi contenitori è stato possibile stimare quanto fosse la percentuale di schiuma caduta, durante il lancio, al di fuori dell'area utile¹. In Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti da queste prove in termini di % di schiuma persa per *dropout* per diversi tipi di lance e due tipi di schiuma.

Sebbene queste stime non siano particolarmente precise (prove ripetute hanno evidenziato una variabilità nei risultati di $\pm 5\%$ nella stima del *dropout*) è evidente come, alla massima gittata, le perdite siano consistenti, rendendo quindi auspicabile un margine di sicurezza fino al 100% nella portate di schiuma da applicare durante l'azione di spegnimento.

Si evince inoltre dai risultati come le schiume sintetiche subiscano maggiori perdite di quelle proteiniche, probabilmente a causa della loro maggiore fluidità che fa sì che durante il lancio il getto sia maggiormente parcellizzato.

Tabella1: Stime delle perdite per *dropout* e dell'area dell'impronta del getto

Schiuma Lancia	% Dropout		Area dell'impronta [m ²]	
	FP	AFFF-AR	FP	AFFF-AR
F225H	33%	43%	54	63
F450H	26%	37%	76	66
F900H	30%	32%	98	90
Hi Combat	52%	58%	132	110

¹ L'area utile di impatto è stata calcolata come la superficie circolare su cui si raggiunge la minima portata per unità di superficie raccomandata dalle norme NFPA per impianti di spegnimento a schiuma fissi (4.1 l/min/m²). Per esempio una lancia 225H, la cui portata nominale è 210 l/min è in grado di erogare la portata richiesta su un'area di circa 50 m², ovvero su un'area circolare di 8 metri di diametro.

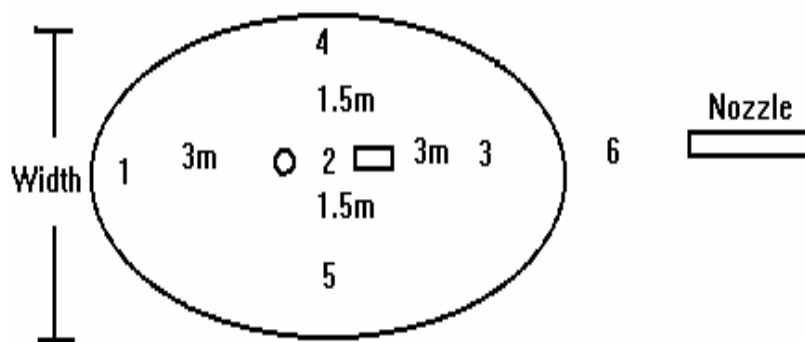


Figura 3: Configurazione dei contenitori di raccolta

Durante le prove, i getti sono stati registrati in video ad alta velocità nella parte terminale della loro traiettoria (Fig. 4): l'analisi di questi filmati, effettuata attraverso software sviluppati *ad hoc*, ha consentito di stimare la forma e la dimensione delle particelle, le loro velocità e gli angoli di caduta all'impatto.

Dalle immagini dei fiocchi riportate in Fig. 5 appare evidente la differenza fra i fiocchi delle schiume sintetiche, più fluide, e quelle delle schiume proteiniche, sia in termini di dimensione che di forma.



Figura 4: Apparato sperimentale per la caratterizzazione dei fiocchi di schiuma

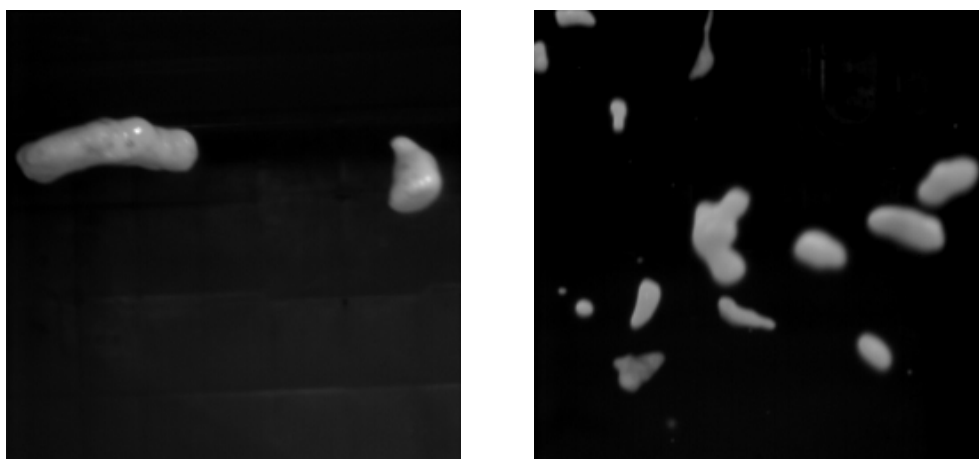


Figura 5: Immagini dei fiocchi riprese durante la fase finale della traiettoria del getto (a sinistra i tipici fiocchi delle schiume viscosi FP, a destra quelli delle più fluide sintetiche AFFF-AR).

I dati ottenuti, riassunti in Tabella 2, sono stati utilizzati quali dati di partenza per la modellazione dei getti, da utilizzarsi per la predizione delle traiettorie e delle perdite di schiuma, sia dovute al *dropout*, sia dovute al trascinamento dei fumi d'incendio.

3. Simulazione numerica dei getti di schiuma

Basandosi sui dati sperimentali ricavati nelle fasi della ricerca prima descritte, al fine di ottenere uno strumento predittivo, utile per la progettazione dei sistemi antincendio, si è proceduto alla simulazione numerica dei getti, utilizzando il codice CFD "FLUENT".

Il moto delle particelle di schiuma è stato modellato con un formalismo Lagrangiano, trattandole come particelle sferiche inerti disperse in una fase gassosa continua.

Mediante un foglio elettronico sono state generate le condizioni iniziali, in termini di coordinate, componenti di velocità, dimensioni e portate, per alcune centinaia di correnti di particelle, componenti il getto.

Il modulo della velocità iniziale è stato considerato uguale per tutti i flussi. E' stata anche adottata una distribuzione iniziale di angoli delle traiettorie in modo da avere un angolo di divergenza del getto definito (attorno ai 5°, compatibile con quello reale).

Le coordinate iniziali delle particelle sono state distribuite all'interno di un'area circolare corrispondente alla sezione di uscita dell'ugello.

Il numero totale di flussi di particelle è stato suddiviso in classi di dimensioni secondo le distribuzioni sperimentali misurate nelle prove sui getti reali, descritte in precedenza.

Il campo di prova (approssimativamente di 30 metri di lunghezza e 10 di larghezza) è stato approssimato, con un compromesso tra l'accuratezza dei calcoli e il tempo necessario a terminarli, con una griglia 3D composta da 24000 celle.

Tabella 2: Schema riassuntivo dei risultati dei test condotti per la caratterizzazione delle particelle di schiuma

<i>Test n.</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	3/1	3/2	3/3
<i>Foam</i>	3% FP	3% FP	3% FP	3% AFFF-AR	3% AFFF-AR	3% AFFF-AR	3% AFFF-AR non-asp.	3% AFFF-AR	3% FP	3% FP non-asp.	3% FP non-asp.	3% FP
<i>Nozzle (model)</i>	F225H	F450	F900	F225	F450	F900	Hi combat	Cannon	Cannon	Hi combat	Hi combat	UNI 86
<i>Operating Pressure [bar]</i>	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
<i>Nominal Flow Rate [l/min]</i>	210	450	900	210	450	900	230	1800	1800	230	230	11.04
<i>Lmed (mm)</i> <i>Sigma</i>	18,31 9,44	16,80 11,72	19,39 13,82	7,64 5,81	9,19 9,50	9,84 6,26	4,63 2,68	9,26 7,16	11,21 8,99	5,85 2,45	18,57 12,33	28,60 22,33
<i>A (mm^2)</i> <i>Sigma</i>	201,32 151,15	132,37 131,84	151,47 147,05	54,95 58,75	76,78 113,34	80,02 72,33	31,78 37,40	59,94 63,27	94,38 104,44	40,86 32,42	125,88 24,10	324,88 326,01
<i>Vx (m/s)</i> <i>Sigma</i>	-1,98 0,76	-1,17 1,00	-1,38 1,56	2,44 1,09	2,69 1,02	3,45 1,01	0,05 0,18	3,78 1,97	3,94 1,89	0,22 0,31	-0,15 0,15	2,36 1,10
<i>Vy (m/s)</i> <i>Sigma</i>	4,69 0,92	4,87 1,41	5,87 1,75	2,89 0,95	2,90 0,79	3,70 0,70	3,78 0,22	3,30 1,44	3,17 1,29	5,61 1,54	1,46 1,22	2,75 0,93
<i>V (m/s)</i> <i>Sigma</i>	5,11 1,07	5,10 1,43	6,30 1,44	3,93 0,97	4,02 1,08	5,08 1,13	3,78 0,22	5,24 1,94	5,14 2,10	5,62 1,54	1,52 1,16	3,68 1,29
<i>A/Lmed</i> <i>Sigma</i>	9,65 4,91	6,59 3,33	6,98 3,21	5,96 2,97	6,36 3,31	6,86 3,25	5,07 3,13	5,58 2,90	7,21 3,42	6,08 2,59	10,89 8,64	9,41 5,88
<i>Lmed 2/A</i> <i>Sigma</i>	2,06 0,95	2,60 1,69	2,92 1,85	1,31 0,70	1,40 0,88	1,48 0,74	0,94 0,12	1,82 1,33	1,70 1,68	1,00 0,27	3,86 4,47	3,36 2,36
<i>Angle (deg)</i> <i>Sigma</i>	22,30 6,15	13,14 11,35	14,43 11,01	-41,34 12,77	-42,20 10,70	-42,19 6,07	-0,76 2,76	-47,36 19,66	-49,99 10,85	-1,74 3,28	7,77 10,16	-38,89 11,78

Sigma = deviazione standard

La forma dei fiocchi, irregolare e non costante lungo la traiettoria, ha reso difficile l'applicazione delle correlazioni per il calcolo dei coefficienti di attrito che si possono trovare in letteratura [4-7], che influenzano il moto delle singole particelle e, di conseguenza, il moto d'insieme del getto.

Il tentativo di trovare una forma equivalente del fiocco ha dato risultati insoddisfacenti, con traiettorie sempre inferiori a quelle reali, anche del 20%.

Si è supposto quindi che la forma delle particelle creasse una portanza che, nella prima parte della traiettoria prevalesse sulla resistenza, estendendo virtualmente la traiettoria rispetto a quella di una particella sferica dello stesso volume e densità. I risultati di alcune simulazioni preliminari, condotte per una lancia F225H (portata nominale 210 l/min) sono riportati in Fig. 6.

La distribuzione, in termini di posizione e massa delle particelle atterrate è stata esportata in un foglio elettronico per valutare le perdite per dropout.

Come indicato al paragrafo precedente, è stata tracciata un'area efficace (area circolare di 8 metri di diametro con punto centrale a 20 metri dalla lancia) ed è stata valutata la quantità di schiuma caduta in quest'area (Fig. 7). Il *dropout* calcolato è risultato del 34.2% della portata contro il 33% valutato sperimentalmente.

Le principali conclusioni ottenute da queste simulazioni sono che è possibile utilizzare Fluent (o altri codici CFD simili) per calcolare le traiettorie dei fiocchi di schiuma, e di conseguenza le perdite e l'impronta del getto, con tempi di calcolo abbastanza brevi (pochi minuti su un PC ordinario con processore PENTIUM III) e ottenendo risultati concordi con i dati sperimentali.

Questo approccio modellistico richiede però, come minimo, la misura sperimentale della distribuzione delle dimensioni dei fiocchi e della divergenza del getto.

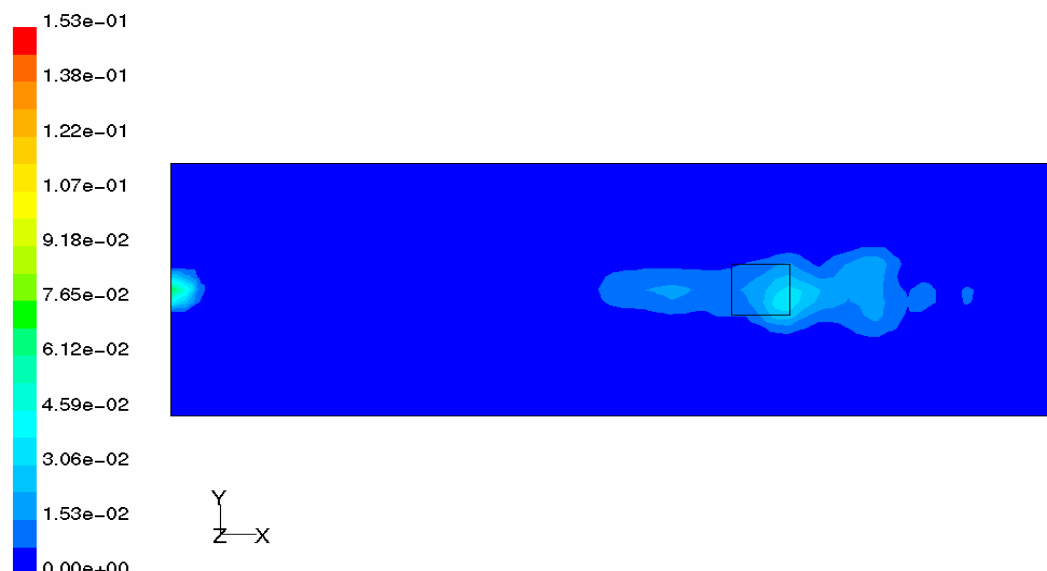


Figura 6: Impronta del getto (lancia F225H, alzo40°)

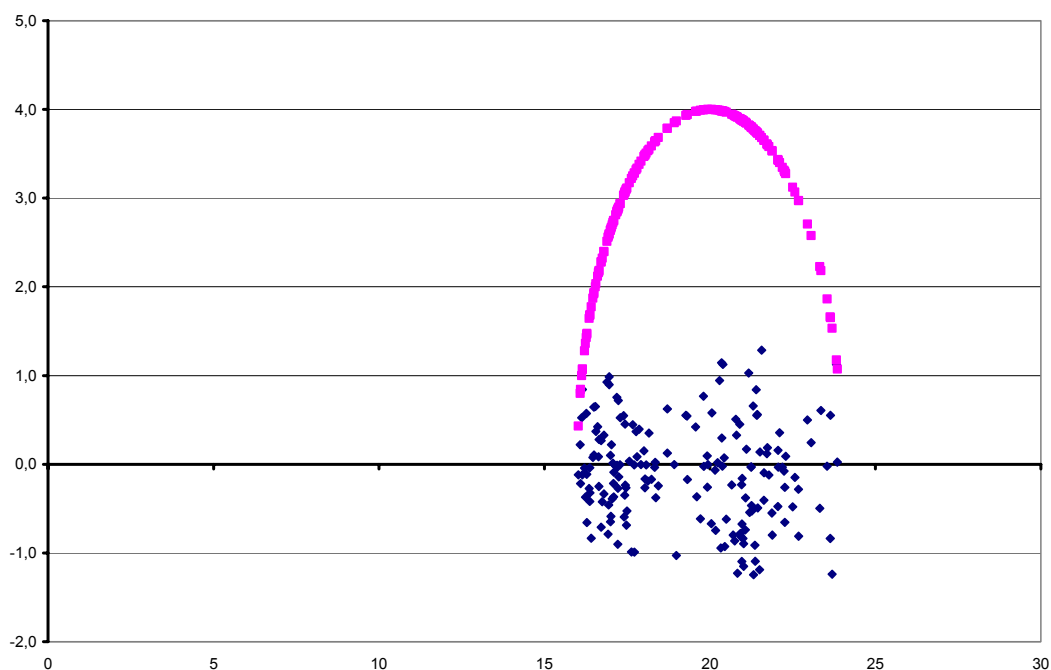


Figure 7: Strato efficace di schiuma (diametro 8 m, punto centrale 20 m)

4. Conclusioni

Sono stati presentati i primi risultati della ricerca condotta nell'ambito del progetto europeo FOAMSPEX (Large Scale FOAM Application - Modelling of Foam Spread and Extinguishment), il cui scopo era fornire informazioni pratiche e dati utili per la minimizzazione delle conseguenze degli incendi in serbatoi di combustibili liquidi di grandi dimensioni, mediante un lavoro teorico e sperimentale completo e con il conseguente sviluppo di modelli ingegneristici atti a predire il comportamento delle schiume sul combustibile infiammato.

In particolare ci si è concentrati sulla caratterizzazione dei getti di schiuma generati dalle lance normalmente utilizzate per gli interventi antincendio, con due tipologie di schiuma, una fluoroproteinica (FP) e una sintetica (AFFF), più fluida.

Sono state condotte delle prove utilizzando tali lance alla massima gittata, evidenziando un incremento delle caratteristiche geometriche dei getti (gittata, ampiezza dell'impronta) al crescere della portata della lancia.

Inoltre, filmando la parte terminale della traiettoria del getto è stato possibile valutare la distribuzione delle dimensioni e delle velocità terminali dei singoli fiocchi di schiuma all'interno dei getti reali.

Questi dati sono stati utilizzati come base per le simulazioni condotte tramite un codice CFD, con lo scopo di verificarne l'utilizzo ai fini della progettazione. Con alcune limitazioni legate alla variabilità della forma dei fiocchi di schiuma lungo la traiettoria, e di conseguenza al calcolo del coefficiente d'attrito, si sono ottenuti risultati positivi.

In particolare si è ottenuto un buon accordo tra i risultati delle simulazioni e i dati sperimentali in termini sia di gittate massime, che di ampiezza dell'impronta.

Anche le perdite dovute alla caduta fuori bersaglio (*dropout*) della schiuma sono state correttamente simulate. E, in particolare, si è evidenziato come, per le schiume più fluide, la perdita di schiuma dovuta al *dropout* possa arrivare fino al 50% della portata erogata.

Questo porta alla conclusione che le portate suggerite dalle norme tecniche NFPA siano adeguate solo per impianti installati e/o utilizzati direttamente sui serbatoi, mentre per le lance che devono essere utilizzate a distanza di sicurezza dall'incendio, e quindi alla massima gittata, siano da prevedersi coefficienti correttivi sulle portate erogate fino al 100%.

Simboli

A	Superficie della particella [m^2]
C_d	Coefficiente d'attrito
L_{med}	Lunghezza principale del fiocco di schiuma, media tra due fotogrammi successivi [mm]
Re_d	Numero di Reynolds per il gas attorno alla particella in caduta
v	Velocità della particella [m/s]
vx, vy	Componenti orizzontale e verticale della velocità della particella [m/s]

Acronimi

AFFF-AR	Aqueous Film Forming Foams - Alcohol Resistant
CFD	Computational Fluid Dynamics
FOAMSPEX	FOAM application, modelling of foam SPread & EXtinguishment
FP	Fluoro Protein foams

Bibliografia

1. M. Demichela, A. Lancia "Progetto FOAMSPEX: nuovo approccio per il dimensionamento di sistemi di spegnimento a schiuma." VGR 2000, Convegno Nazionale 'Valutazione e Gestione del Rischio negli Insediamenti Civili ed Industriali', Pisa, 23-26 Ottobre 2000.
2. B. Perrson, A. Lonnermark, H. Persson, D. Mulligan, A. Lancia & M. Demichela *Foamspex - Large Scale Foam Application - Modelling of Foam Spread and Extinguishment*, July 2001, SP Ed., Boras, Sweden.
3. "Firefighting foams" in *Foam: Physics, Chemistry and Structure*, ed. A. J. Wilson, Springer-Verlag, New York, November 1989.
4. A. Haider and O. Levenspiel, "Drag coefficient and terminal velocity of spherical and nonspherical particles", *Powder Technology*, 1989, 58, 63-70.
5. D.D. Kladas and P.D. Georgiou, "A relative examination of CD - Re relationship use in particle trajectory calculations", *J. of Fluid Engineering*, 1993, 115, 162-165.
6. R. Clift, J.R. Grace, M.E. Weber, *Bubbles, drops and particles*, Academic Press, New York, 1978
7. Clayton Crowe, Martin Sommerfeld, Yutaka Tsuji, *Multiphase flows with droplets and particles*, CRC, Boca Raton, 1998