Progetto FOAMSPEX: nuovo approccio per il dimensionamento di sistemi di spegnimento a schiuma.

M. Demichela^ e A. Lancia°

^ *Politecnico di Torino - Dipartimento Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica*
C.so Duca degli Abruzzi, 24 – 10129 TORINO
m.demichela@polito.it

° *T.R.I. srl*
Viale Europa, 66 - 24020 Scanzorosciate (BG)
antonio.lancia@tri.it

Riassunto

Lo scopo del progetto FOAMSPEX (FOam Application Modelling of foam SPread and EXtinguishment) è arrivare a una migliore comprensione dei meccanismi di estinzione e dei limiti di utilizzo delle schiume estinguenti, integrando lavori teorici e sperimentali in un modello ingegneristico per predire lo spandimento della schiuma in caso di incendi di idrocarburi di vaste proporzioni.
Si presentano i primi risultati della sperimentazione ancora in corso. In particolare si riferisce sulla caratterizzazione dei getti di schiuma, tenendo conto dell'effetto ascensionale dovuto al calore sviluppato da un incendio.

1. Introduzione

Con il progetto FOAMSPEX (FOam Application Modelling of foam SPread and EXtinguishment) si intendono fornire dati sperimentali e sviluppare modelli per il corretto dimensionamento dei sistemi di spegnimento a schiuma per i serbatoi di combustibili liquidi di grandi dimensioni. Difatti si ritiene che la combustione dell'intero contenuto del serbatoio, tenendo l'incendio sotto controllo al fine di evitare effetti domino, non sia un'alternativa accettabile sia dal punto di vista della sicurezza, che dal punto di vista ambientale.

La capacità di stimare il tempo di copertura di una schiuma o di rivelare l'incapacità di coprire una certa area di combustibile incendiato è di importanza fondamentale per decidere quale tattica adottare per il suo spegnimento. Quindi, sulla base dei risultati delle prove sperimentali condotte, sarà sviluppato un modello matematico per predire lo spandimento della schiuma durante l'incendio.

Il fine è quello di ottenere un modello che possa essere di utilità pratica nei casi reali e sia quindi in grado di prevedere, per una definita tipologia di schiuma, le sue modalità di spandimento e i limiti di utilizzo a seconda della natura del combustibile.

Nell'ambito del progetto sono stati studiati e utilizzati metodi di misura per effettuare prove in campo su scala reale per caratterizzare i getti di schiuma

prodotti dai monitor, sia durante il lancio, che in fase di caduta sul combustibile incendiato, tenendo conto che durante l'attraversamento dei gas caldi il flusso di schiuma è influenzato dal trascinamento e dall'evaporazione [1].

In particolare, in questo articolo si presentano la fase di progettazione e la sperimentazione condotta nell'apparecchiatura messa a punto per valutare l'interazione dei fiocchi di schiuma con i fumi caldi.

Attualmente è in atto la fase di sviluppo del software dedicato all'elaborazione dei dati raccolti che permetterà di valutare l'effetto dell'interazione tra i fiocchi e i fumi caldi, in funzione della tipologia di schiuma impiegata e delle dimensioni dei fiocchi stessi.

2. Il progetto dell'apparato sperimentale

L'apparecchiatura è stata progettata per misurare l'effetto di trascinamento dei gas caldi generati durante l'incendio sui fiocchi di schiuma che cadono sul combustibile incendiato in termini di scambio di materia, energia e quantità di moto.

I fiocchi, durante l'avvicinamento al combustibile incendiato, viaggiano attraverso un flusso molto turbolento, ove temperature e velocità dei gas, nonché l'irraggiamento variano molto nel tempo e nello spazio. Si tratta evidentemente di una situazione molto complessa da modellizzare, per cui si è stabilito di predisporre un'apparecchiatura in grado di realizzare delle condizioni di prova stazionarie. In particolare la sperimentazione è stata concepita al fine di effettuare le misure su fiocchi di schiuma in caduta libera, con moto laterale trascurabile, in controcorrente a un flusso di gas caldi.

Per realizzare quanto sopra, la lunghezza della zona di interazione, ovvero l'altezza del tubo di misura, è stata determinata risolvendo l'equazione di Bernoulli:

$$(\rho_{air} - \rho)gH - \left(\frac{\Delta P_f}{H}\right)H = \frac{\rho u^2}{2}$$

con

$$\frac{\Delta P_f}{H} = \frac{f\rho u^2}{2D}$$

e

$$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$$

in modo da ottenere l'altezza minima necessaria per mantenere il flusso ascendente dei fumi senza richiedere una pressurizzazione interna, con possibili problemi di conduzione in sicurezza dei bruciatori nonché la fuoriuscita di gas caldi alla base della tubazione [2]. Dai calcoli effettuati l'altezza minima è risultata di 6 m.

Per quanto riguarda i fiocchi, al fine di assicurare un tempo di residenza significativo anche per quelli più grandi e più pesanti, si è fatto riferimento alla loro velocità di caduta libera a temperatura ambiente in aria calma.

I fiocchi cadono per effetto di una forza data dalla gravità contrastata dal trascinamento dei gas caldi:

$$F = mg - \frac{\rho A (up - ug)^2 Cd}{2}$$

Quindi la loro caduta può essere espressa con la relazione

$$m\frac{dup}{dt} = mg - \frac{\rho A (up - ug)^2 Cd}{2} \quad .$$

che risolta utilizzando la seguente approssimazione (Dickerson and Shuman [3, 4]):

$$C_D = \frac{24}{Re_d}\left[1 + \frac{Re^{2/3}}{6}\right] \quad \text{per } Re_d < 1000 \text{ o } C_D = 0.44 \text{ per } Re_d > 1000.$$

Porta a una velocità di caduta libera pari a:

$$u_p^{\infty} = \sqrt{\frac{2mg}{\rho Cd A}}$$

I calcoli hanno mostrato come con una velocità dei gas caldi di 10-15 m/s si ottenga un tempo di permanenza nella zona di interazione sufficiente alla valutazione sperimentale dello scambio di quantità di moto anche per i fiocchi più grandi.

3. L'apparato sperimentale

L'apparato è costituito essenzialmente da un sistema di generazione dei fiocchi di schiuma, una zona di misura, una unità per la produzione di gas caldi più la strumentazione e il sistema di acquisizione dati (Fig. 1).

Il sistema di generazione dei fiocchi di schiuma è stato progettato tenendo conto che questi devono provenire da una schiuma "fresca" e non preformata, quindi più o meno drenata, devono essere di dimensioni controllabili e cadere con una frequenza di 2-5 fiocchi al secondo. Le caratteristiche della schiuma devono essere, ovviamente, riproducibili.

Per realizzare le condizioni di cui sopra, la schiuma è prodotta da una lancia UNI-86-R e deviata nel tubo di misura mediante un giunto a T (Fig.2) in modo da prelevarne un filo continuo che spezzandosi (*break-up*) generi singoli fiocchi. Poiché il *break-up* spontaneo delle gocce non era controllabile, è stato realizzato un erogatore a ugelli intercambiabili (diametri da 2 a 6 mm).

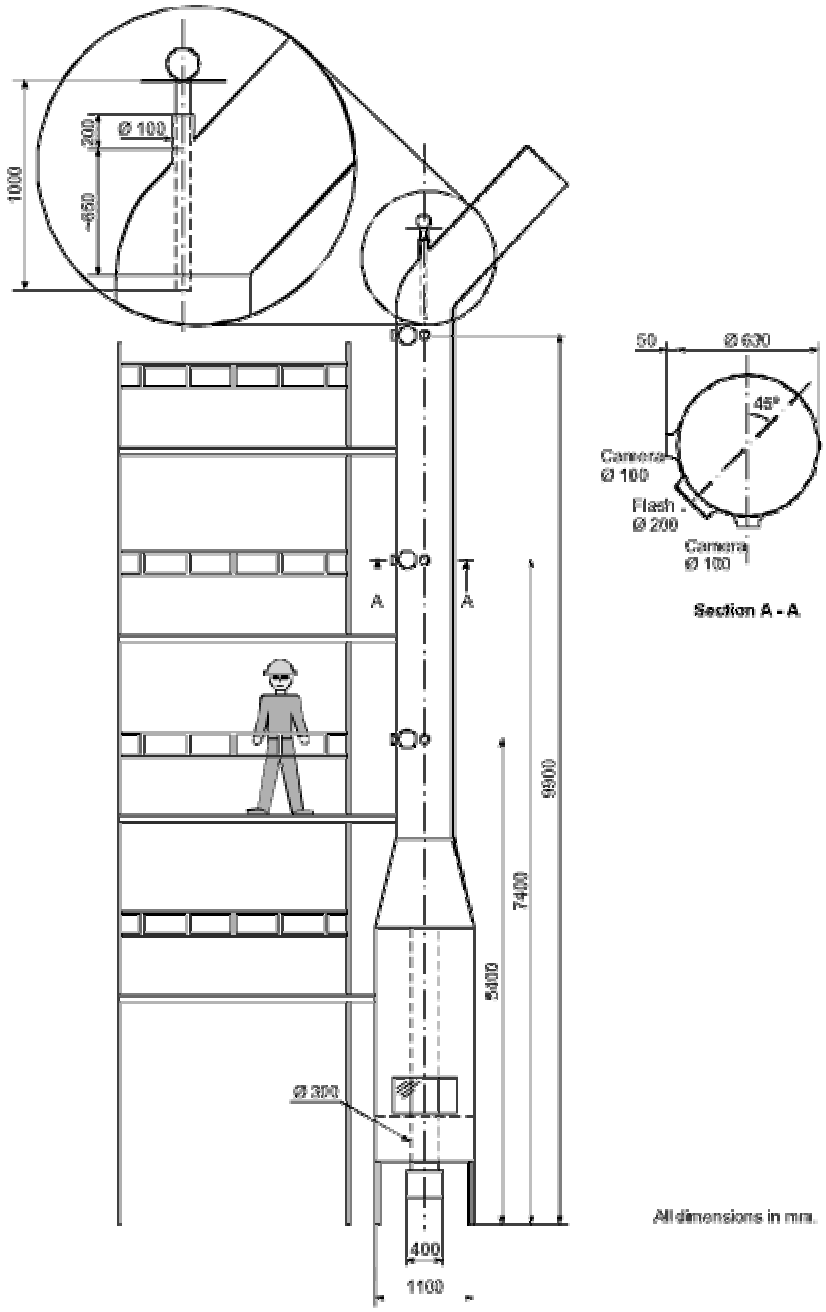

Figura 1: **Schema dell'apparato sperimentale per lo studio dell'interazione fra i fiocchi di schiuma e i gas caldi.**

Inoltre, poiché la schiuma tende ad aderire alla superficie esterna degli ugelli alterando il diametro del fiocco, è stata installata una valvola a solenoide che soffiasse impulsi di aria compressa a pochi millimetri dal foro dell'ugello per favorire il distacco del fiocco stesso.

L'interazione tra i fiocchi e i gas caldi avviene in un tubo metallico isolato termicamente alto 6 m e di 0.6 m di diametro, con aperture ottiche per tre stazioni di misura posizionate vicino alla cima, a mezza altezza e alla base del tubo stesso. Alla base di questo è inserito un bruciatore a propano, con una soffiante per l'aria a flusso variabile.

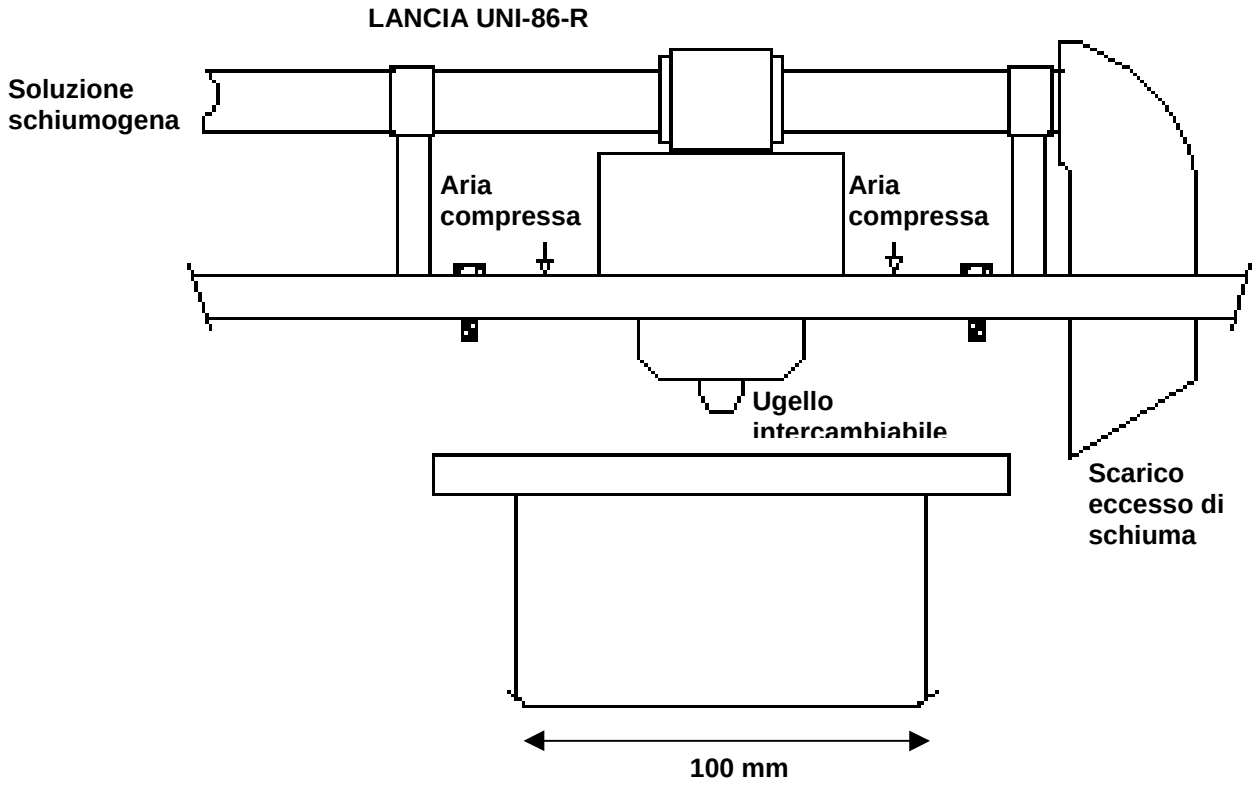

Figura 2: Sezione di alimentazione dei fiocchi di schiuma al tubo di misura.

Poco sotto l'ultima stazione di misura è installato coassialmente un tubo da 0.3 m di diametro, anch'esso isolato termicamente, che permette la raccolta dei fiocchi per misurarne la temperatura e il peso.

Ciascun sistema di misura consiste di due videocamere ortogonali dotate di un sistema stroboscopico (flash sincroni azionati due volte per ogni fotogramma registrato).

Ogni gruppo di misura è collegato a un computer per l'acquisizione e registrazione, che registra le immagini delle due videocamere a una velocità di 50 fotogrammi al secondo. I tre gruppi sono a loro volta collegati a un quarto computer di sincronizzazione e supervisione, che controlla l'attivazione dei flash, la loro frequenza e la misurazione di temperatura della schiuma.

I sistemi di misura sono stati calibrati, effettuando una caratterizzazione dettagliata del profilo del flusso in diverse condizioni di temperatura e velocità dei gas caldi. Durante la calibrazione è stata rilevata una buona ripetibilità tra i test e le perdite di carico lungo il tubo sono risultate abbastanza basse.

In Fig. 3 è riportato il diagramma temperatura-tempo per uno dei test di calibrazione (Condizioni operative: potenza emessa 200 KW, portata di ventilazione 240 m^3/h). In Fig. 4 è presentata la corrispondente misura di velocità dei gas, effettuata mediante un tubo di Pitot da 8 mm muovendo la sonda di 5 cm ogni minuto lungo il diametro principale del tubo. Dal grafico risulta evidente un'elevata turbolenza, caratteristica peraltro dei fumi prodotti durante un incendio.

Nella Tab. 1 sono indicati gli intervalli di temperatura e velocità di riferimento ottenuti durante la calibrazione per le diverse condizioni operative.

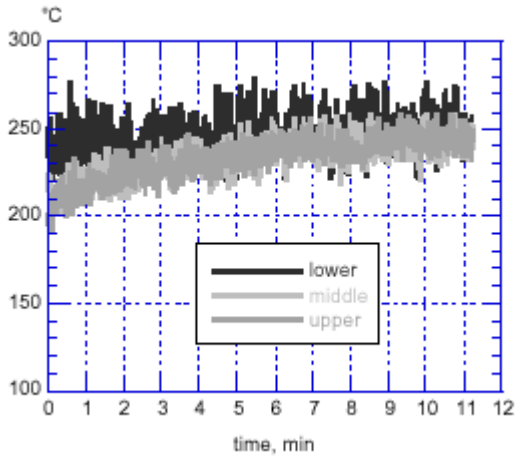

Figura 3: **Misure di temperatura dei gas in corrispondenza delle 3 stazioni di misura. (Condizioni operative: potenza emessa 200 KW, portata di ventilazione 240 m^3/h)**

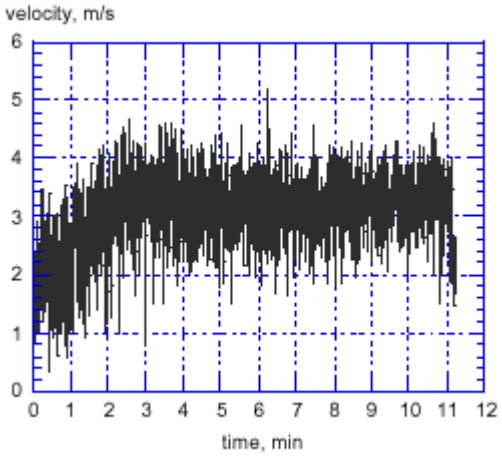

Figura 4: **Misura della velocità dei gas. (Condizioni operative: potenza emessa 200 KW, portata di ventilazione 240 m^3/h).**

4. Risultati

L'apparato sperimentale è stato installato presso i laboratori del centro di ricerca "SP, Swedish National Testing and Research Institute", Boras, Svezia.

I test sono stati condotti su due diversi tipi di schiuma, una fluida (AFFF-AR) e una compatta (FP), con rapporti di espansione dell'ordine di 5-10, come quelli utilizzati in pratica [5]. La durata di ogni prova è stata di circa 60 secondi.

Le condizioni di potenza termica e portata di ventilazione alle quali sono state condotte le prove sono indicate in Tabella 2 associate alla sigla identificativa del test di calibrazione di riferimento.

Si noti come durante le prove non siano state raggiunte le condizioni operative più critiche (potenza emessa 600 kW, portata di ventilazione 270 e 190 m^3/h), per le quali era invece stata effettuata la calibrazione, poiché le temperature raggiunte (dell'ordine dei 550-600°C) se mantenute per più di qualche minuto avrebbero portato al collasso dell'apparecchiatura.

Tabella 1: Condizioni operative dei test di calibrazione

Sigla	Potenza termica [kW]	Portata di ventilazione [m^3/h]	Stazione di misura	Temperatura Massima [°C]	Intervallo di velocità [m/s]
lo200240	200	240	Alta	280	2-3,5
mi200240	200	240	Media	270	1,2-3,7
up200240	200	240	Bassa	260	1,5-3,7
lo200170	200	170	Alta	320	3-4,4
mi200170	200	170	Media	320	2-3,6
up200170	200	170	Bassa	300	1,5-3,2
lo400270	400	270	Alta	450	3-5
mi400270	400	270	Media	440	2,2-5
up400270	400	270	Bassa	420	2,2-5
lo600190	600	390	Alta	550	4-5
mi600190	600	390	Media	540	3-4,2
up600190	600	390	Bassa	500	1,6-4
lo600270	600	270	Alta	620	3-7
mi600270	600	270	Media	570	3-6,5
up600270	600	270	Bassa	540	4,5-6,

Tabella 2: Condizioni operative dei test.

Test	Potenza termica [kW]	Portata di ventilazione [m^3/h]	Test di calibrazione di riferimento
1-8	0	0	--[1]
9-16	100	190	--[1]
17-24	200	170	200170
25-32	200	240	200240
32-40	400	270	400270

[1] Durante la calibrazione le condizioni operative 100 kW, 190 m^3/h non erano state considerate.

I Test da 1 a 8, senza alcun flusso in controcorrente, sono stati effettuati per verificare le assunzioni fatte durante il dimensionamento.

Le misure sono state condotte con successo e per tutti i test effettuati sono state registrate le immagini dei fiocchi, con la possibilità di determinarne velocità e dimensione, nonché le temperature della schiuma alla fine del tubo di misura.

Una prima conclusione, di carattere qualitativo, è che, come facilmente intuibile, i fiocchi più piccoli riescono a penetrare nelle fiamme raggiungendo il combustibile incendiato solo grazie al moto d'insieme del getto di schiuma. Infatti, i test condotti hanno evidenziato come anche a regimi di potenza termica e ventilazione non eccessivamente elevati i fiocchi più piccoli fossero

deviati dalla traiettoria a causa dei fenomeni di turbolenza o trascinati nel senso della corrente, invertendo così la direzione del moto.

I test hanno inoltre evidenziato almeno un limite dell'apparecchiatura progettata: non è stato possibile determinare l'esatto numero di fiocchi "sopravvissuti", ovvero quelli che nonostante l'interazione con i gas caldi seguivano la traiettoria verticale raggiungendo la bilancia. Di conseguenza le misure ottenute dalla stessa per ricavare la massa residua dei fiocchi sono poco significative.

5. Sviluppi futuri

Attualmente è in atto la fase di sviluppo del software dedicato all'elaborazione delle immagini che permetterà di valutare l'effetto dell'interazione dei fiocchi e i fumi caldi, in funzione della tipologia di schiuma impiegata e delle dimensioni dei fiocchi stessi.

Contemporaneamente si sta mettendo a punto un modello per descrivere tale interazione in termini di scambio di materia, energia e quantità di moto. I coefficienti e le costanti delle correlazioni sviluppate saranno verificati mediante i dati sperimentali, analizzando in particolare la loro sensitività alle condizioni operative e alle proprietà delle schiume.

La conclusione del progetto è prevista per il 2001.

Elenco dei simboli

A	sezione della particella
C_d	coefficiente di forma
D	diametro interno del tubo
d_p	densità della particella
f	coefficiente d'attrito
g	costante gravitazionale
H	altezza (H_2-H_1) del tubo
m	massa della particella
ΔP_f	perdite di carico
Re	numero di Reynolds
Re_d	numero di Reynolds per il gas attorno alla particella in caduta
u	velocità media dei gas nel tubo
u_p^{∞}	velocità di caduta libera della particella
u_p	velocità della particella
V_p	volume della particella
ρ_{air}	densità dell'aria
ρ	densità dei gas caldi
μ	viscosità dinamica dei gas
ν	viscosità cinematica dei gas

Bibliografia

1. Stanley Middleman, *Modeling axisymmetric flows : dynamics of films, jets and drops* - San Diego : Academic Press, 1995
2. Robert H. Perry, Don W. Green, James O. Maloney, *Perry' s chemical engineers' handbook* - 7th ed.. - New York , McGraw- Hill, 1998
3. R. Clift, J.R. Grace, M.E. Weber, *Bubbles, drops and particles* - New York : Academic Press, 1978
4. Robert K. Prud'homme, Saad A. Khan, *Foams : theory, measurements, and applications* - New York : Dekker, 1996
5. Steven P. Woodworth, John A. Frank, *Fighting fires with foam* - New York: Reinhold, 1994