

“TECNICHE E MODALITÀ DI CONTROLLO E SPEGNIMENTO DEGLI INCENDI DI SERBATOI DI IDROCARBURI LIQUIDI DI GRANDE CAPACITÀ”

Barone D. 1, Damiani A. 1

1 The IT Group Italia Srl, Largo Volontari del Sangue n° 10, San Donato Milanese, 20097, Italia

SOMMARIO

Gli incendi dei serbatoi di stoccaggio idrocarburi liquidi di grande capacità (diametro superiore a 30 m [1]) rappresentano alcune delle emergenze più critiche che possono verificarsi in un'attività industriale, date le notevoli estensioni delle superfici in fiamme ed i consistenti quantitativi di prodotto potenzialmente coinvolti. Nel caso di incendi estesi anche al bacino di contenimento dei serbatoi, le difficoltà di gestione delle emergenze aumentano in modo considerevole.

Per i suddetti motivi, molto spesso, le operazioni di spegnimento degli incendi della piena superficie di serbatoi di grandi capacità, mediante le attrezzature fisse e/o mobili più comunemente impiegate nelle Raffinerie, nei Petrolchimici e nei Depositi di Oli minerali, hanno avuto successi limitati. Gli incendi hanno talvolta causato la totale o quasi totale perdita dei serbatoi coinvolti, danni ai serbatoi/apparecchiature ad essi limitrofi, perdite di prodotti in stoccaggio [2].

Viene descritta una tecnica antincendio brevettata negli USA, che può essere impiegata sia per lo spegnimento di incendi che coinvolgono la piena superficie dei serbatoi, sia di incendi estesi ai bacini di contenimento. Tale tecnica prevede l'impiego di mezzi mobili e ad oggi ha consentito di spegnere incendi di serbatoi con diametro fino a 82 metri [3].

Vengono quindi prese in considerazione alcune problematiche che possono presentarsi durante l'incendio di serbatoi contenenti determinati prodotti e legate alla presenza di acqua nel serbatoio.

Viene illustrato ed applicato un modello di calcolo per la stima delle conseguenze del fenomeno del Boil Over, tarato sulla base di dati desunti dall'esperienza storica di eventi registrati e/o sulla base di valori riscontrati da prove sperimentali. Si riportano alcune tecniche di intervento per prevenire il Boil Over.

1.0 STATISTICHE DI INCENDI DI SERBATOI

Una statistica riportata in letteratura specializzata [2] che prende in considerazione un numero di incendi di serbatoi avvenuti nel mondo (periodo 1951-2003) pari a 480, indica che:

- di 252 incendi (52,5 %) si hanno poche informazioni;
- ogni anno si verifica in media un numero di incendi compreso tra 15 e 20. Se si considerano anche gli incendi limitati al solo anello di tenuta dei serbatoi, il numero aumenta significativamente;
- in 190 casi non si conoscono le sorgenti di innesco;
- in 150 casi la causa iniziatrice dell'incendio è stata identificata essere il fulmine;
- gli incendi limitati all'anello di tenuta (79) sono stati spenti senza particolari problemi mediante attrezzature fisse o mobili;
- 280 incendi hanno avuto conseguenze molto gravose (più serbatoi coinvolti, incendi estesi al bacino,...);
- di 30 incendi si conoscono i dettagli relativi agli interventi antincendio (portate specifiche di estinguenti, tipologia di schiumogeno, tempi di intervento,...);
- incendi di grandi serbatoi sono stati spenti in 10-30 min. utilizzando mezzi mobili di grande capacità, dopo avere pianificato attentamente le tattiche di intervento e le risorse impiegate;
- non si registrano operazioni di spegnimento di incendi estesi a tutta la superficie dei serbatoi che hanno avuto successo con l'impiego dei soli mezzi fissi.

La pubblicazione API [1] riporta la seguente ripartizione delle diverse tipologie di incendi, effettuata su un campione di 81 incendi di serbatoi analizzati:

- 73 % incendio limitato al solo anello di tenuta
- 1,3 % incendio iniziato sulla tenuta e propagato alla piena superficie
- 22 % incendio iniziato e sviluppato sulla piena superficie
- 3,7 % incendio della piena superficie (non ci sono ulteriori informazioni).

Tale ripartizione è rappresentata nella Figura 1 di seguito riportata:

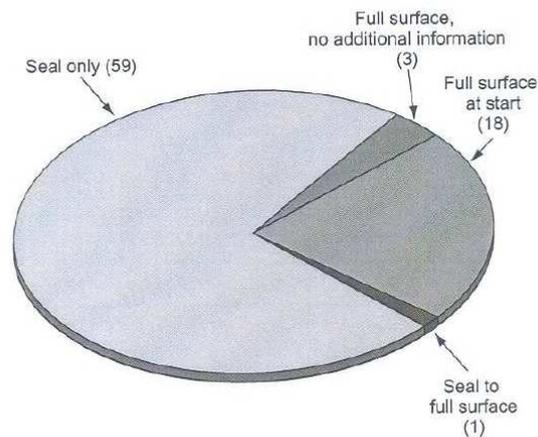


Figura 1. Extent of Single –Tank Fires (Numbers of Fires)

2.0 TECNICHE DI SPEGNIMENTO DI INCENDI DI SERBATOI

Gli incendi che si sviluppano sul tetto dei serbatoi vengono generalmente fronteggiati mediante versatori schiuma fissi oppure mediante monitori a schiuma.

I versatori di schiuma sono posizionati sulla parte alta dei serbatoi, essi hanno lo stesso funzionamento dei versatori impiegati per la protezione della corona circolare (più largamente diffusi) ma rispetto a questi le portate richieste sono notevolmente più elevate.

Per i serbatoi a tetto fisso l'erogazione della schiuma può essere effettuata anche mediante versatori posizionati nella parte bassa del serbatoio.

Rispetto ai monitori, i versatori a schiuma hanno tempi di intervento inferiori e modalità di attivazione relativamente più semplici. Le elevate portate richieste per i versatori ed il loro impiego dedicato ad un solo serbatoio, fanno sì che essi vengano utilizzati meno frequentemente rispetto ai monitori.

I monitori a schiuma costituiscono il principale mezzo di protezione per i serbatoi di grande diametro; mediante i monitori sono stati spenti con successo incendi di serbatoi con diametro superiore a 40 metri.

In questi ultimi anni, gli incendi di piena superficie di serbatoi di grande capacità sono stati efficacemente spenti mediante la tecnica denominata "Foot Print", brevettata dalla "Williams Fire & Hazard Control" [4]. Tale tecnica prevede l'impiego di monitori a schiuma mobili di "grande capacità" e di:

- determinate caratteristiche dello schiumogeno, a seconda delle caratteristiche del combustibile e relative proporzioni
- portate specifiche di schiuma, a seconda delle dimensioni del serbatoio
- durata dell'applicazione, a seconda delle proprietà del prodotto contenuto nel serbatoio
- portate minime di acqua
- riserve minime di schiumogeno,

in accordo ai valori minimi indicati nella normativa NFPA 11 [5].

La tecnica “Foot Print” consiste nell’erogazione di notevoli quantitativi di schiuma mediante due o più monitori di “grande capacità”, posizionati a terra, che confluiscono la schiuma in un unico punto della superficie in fiamme. Da questo punto la schiuma si estende a tutta la superficie del prodotto, determinando il soffocamento dell’incendio in tempi relativamente brevi. Di seguito si riportano degli esempi di applicazione della tecnica “Foot Print” (Figure 2 e 3).

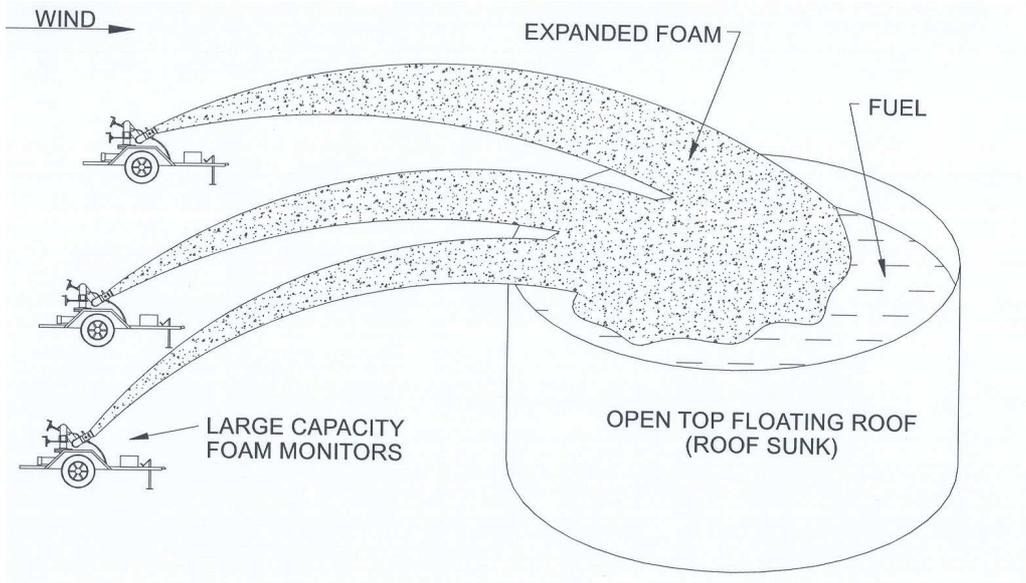


Figura 2. Esempio della tecnica “Foot Print” con tre monitori [6]

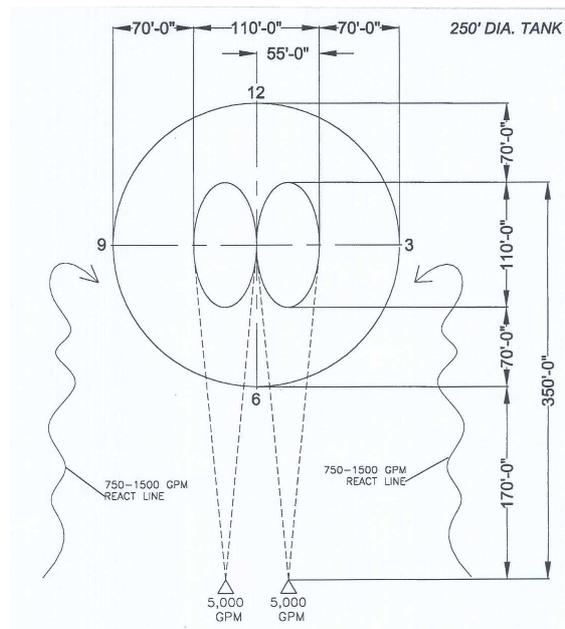


Figura 3. Esempio della tecnica “Foot Print” con due monitori [4]

Si riportano di seguito le caratteristiche tecniche di due diversi modelli di monitori di “grande capacità” che possono essere utilizzati nell’applicazione della tecnica “Foot Print”.

Tabella 1. Modello A monitore acqua/schiuma

Portata nominale (l/m)	45'420 (a 7 bar)
Gittata (m)	122

Tabella 2. Modello B monitore acqua/schiuma

Portata (l/min)	40'000 (a 7 bar)
Gittata max. (m)	90
Altezza getto (m)	20

3.0 PERICOLI CONNESSI ALLE OPERAZIONI DI SPEGNIMENTO DEGLI INCENDI DI SERBATOI

Vengono analizzate alcune problematiche che possono verificarsi nel corso di un incendio di serbatoio, dovute al contatto tra l’acqua (presente nel serbatoio e/o acqua impiegata nelle operazioni antincendio) ed il prodotto caldo presente nel serbatoio, in particolare saranno presi in considerazione i seguenti fenomeni: Slop Over, Froth Over, Boil Over.

Lo Slop Over consiste nella espulsione di prodotto in fiamme dal serbatoio per brevi ed anche ripetuti periodi. Esso è un fenomeno superficiale, legato principalmente all’acqua antincendio versata sulla superficie del prodotto in fiamme. Occorre fare attenzione affinché l’eventuale prodotto in fiamme rilasciato dal serbatoio non si estenda in maniera pericolosa al bacino di contenimento del serbatoio.

Il Froth Over consiste nella espulsione continua dal serbatoio di prodotto spumeggiante ed in fiamme. Nel corso di un incendio, esso si può verificare a causa della presenza di acqua o di emulsione olio-acqua nel serbatoio. Nella maggior parte dei casi esso è un fenomeno di minore entità rispetto allo Slop Over.

Il Boil Over è un fenomeno che si verifica durante la combustione di certi oli minerali in serbatoi superiormente aperti quando, dopo un incendio stazionario di lungo periodo, si verifica un improvviso incremento dell’intensità dell’incendio associata all’espulsione del prodotto in fiamme dal serbatoio e la formazione di un massivo fire ball.

Nel corso dell’incendio, i residui della combustione diventano più densi dell’olio ancora incombusto e affondano sotto la superficie del prodotto formando uno strato caldo detto “onda di calore”. Ciò avviene più rapidamente della regressione della superficie del liquido dovuta alla combustione; quando l’onda di calore raggiunge l’acqua o l’emulsione olio-acqua sul fondo del serbatoio quest’ultima vaporizza istantaneamente, provocando il trabocco del serbatoio, a causa del notevole aumento di volume dell’acqua (rapporto ca. 1:1700). Generalmente il Boil Over ha conseguenze molto più gravose rispetto allo Slop Over ed al Froth Over.

Gli oli minerali soggetti al Boil Over devono contenere componenti con ampio intervallo di ebollizione, compresi i tagli leggeri ed i residui viscosi; queste caratteristiche sono presenti in molti grezzi medi ed in miscele di raffinati.

Sono disponibili in letteratura esempi di Boil Over [2]. In certi casi il prodotto in fiamme è stato rilasciato anche all’esterno del muro di contenimento dei serbatoi. I grandi Boil Over hanno prodotto vere e proprie palle di fuoco di notevole entità.

Il Boil Over è un fenomeno che si verifica raramente [7]; nel corso di incendi di serbatoi sono stati riscontrati fenomeni che possono essere definiti “intermedi” tra il Boil Over, il Froth Over e lo Slop Over, come sopra definiti.

Allo scopo di consentire una efficace protezione del personale addetto all’emergenza dagli effetti del Boil Over, viene di seguito illustrato ed applicato un modello di calcolo che può essere utilizzato per stimare le conseguenze del Boil Over. I risultati dell’applicazione del modello sono stati confrontati con i dati sperimentali desunti da letteratura specializzata e/o banche dati; è stata osservata una sostanziale congruenza tra i valori forniti dal modello ed i dati osservati.

4.0 MODELLAZIONE DEL BOIL OVER

Sulla base delle proprietà chimico fisiche del prodotto contenuto è possibile individuare quali serbatoi possono essere suscettibili di Boil Over. Condizione necessaria affinché un idrocarburo possa dar luogo al Boil Over è che vengano rispettate le seguenti condizioni [8]:

- a) intervallo della temperatura di ebollizione che si estende oltre 60 °C rispetto alla temperatura di ebollizione dell'acqua alla pressione dell'interfaccia idrocarburo / acqua sul fondo (120 °C);
- b) viscosità cinematica a 120 °C superiore a quella del cherosene, pari a 0,73 cSt.

Generalmente molti tipi di petrolio grezzo rispettano le suddette condizioni. Anche i prodotti raffinati (cherosene, gasolio, olio combustibile, ...) e le miscele di oli leggeri e pesanti possono soddisfare i requisiti sopraindicati ed essere quindi suscettibili di Boil Over.

Dopo aver verificato che un serbatoio di idrocarburi è potenzialmente soggetto al fenomeno del Boil Over si può procedere ad una modellazione matematica del fenomeno come di seguito indicato.

Per il serbatoio vengono assegnate le seguenti caratteristiche:

- altezza e diametro
- grado di riempimento (al momento dell'inizio dell'incendio).

Devono essere inoltre noti i seguenti valori per le grandezze relative al prodotto stoccato:

- temperatura di stoccaggio
- densità in fase liquida ed in fase vapore
- calore specifico in fase liquida
- velocità di combustione (burning rate)
- curva di distillazione
- limiti di infiammabilità (LEL, UEL).

Utilizzando i valori delle grandezze sopraindicate, mediante le equazioni di bilancio di materia ed entalpico è possibile determinare:

- velocità dell'onda di calore
- tempo al Boil Over (intervallo di tempo che intercorre tra l'inizio dell'incendio ed il verificarsi del Boil Over)
- temperatura al Boil Over (temperatura massima raggiunta dall'idrocarburo al momento del Boil Over)
- quantitativo di prodotto combusto e di quello rimanente nel serbatoio al momento del Boil Over.

Successivamente, determinato il quantitativo di prodotto rimasto nel serbatoio al momento dell'inizio del Boil Over, mediante relazioni empiriche è possibile stimare:

- raggio della palla di fuoco (fire ball)
- durata della palla di fuoco
- altezza della palla di fuoco
- irraggiamento termico (variabile) al suolo.

La quantità di prodotto che partecipa alla formazione della palla di fuoco è generalmente pari al 10% ÷ 20% della massa del prodotto inizialmente contenuto nel serbatoio, come riportato in letteratura tecnica specializzata [8].

4.1 Esempio di applicazione di una modellazione del Boil Over

Si riporta di seguito un esempio di applicazione di un modello di simulazione del Boil Over [8], applicato al caso dell'incendio di un serbatoio di petrolio grezzo, seguendo la metodologia precedentemente descritta.

Dati in ingresso:

Serbatoio

- altezza: 15 m
- diametro: 48 m
- grado di riempimento: 90 % .

Prodotto stoccato (Petrolio grezzo medio 26,5 API a 15 °C):

- temperatura: 20 °C
- densità: 895 kg/m³ (liquido); 1,39 kg/m³ (vapore a 1170 °C)
- viscosità cinematica: 45,9 cSt (a 20 °C); 3,91 cSt (a 120 °C)
- calore specifico: 0,43 kcal/kg·K
- burning rate: 4,7 mm/min.
- curva di distillazione: (vedi Figura 4)
- limiti di infiammabilità: 1 % vol. (LEL); 5,5 % vol. (UEL) .

Mediante il modello di calcolo che utilizza equazioni di bilancio di materia unitamente al bilancio entalpico e la curva di distillazione del prodotto (petrolio grezzo) sono stati determinati i seguenti valori:

- velocità dell'onda di calore: 7,5 mm/min.
- tempo al Boil Over: 30 h
- temperatura al Boil Over: 560 °C
- frazione di prodotto combusto al Boil Over: 78 % .

Nella Figura 4 che segue si riporta la curva di distillazione del prodotto (petrolio grezzo), ottenuta da prove di laboratorio, e la curva ottenuta dal bilancio di materia e dal bilancio entalpico, implementate nel modello di calcolo utilizzato.

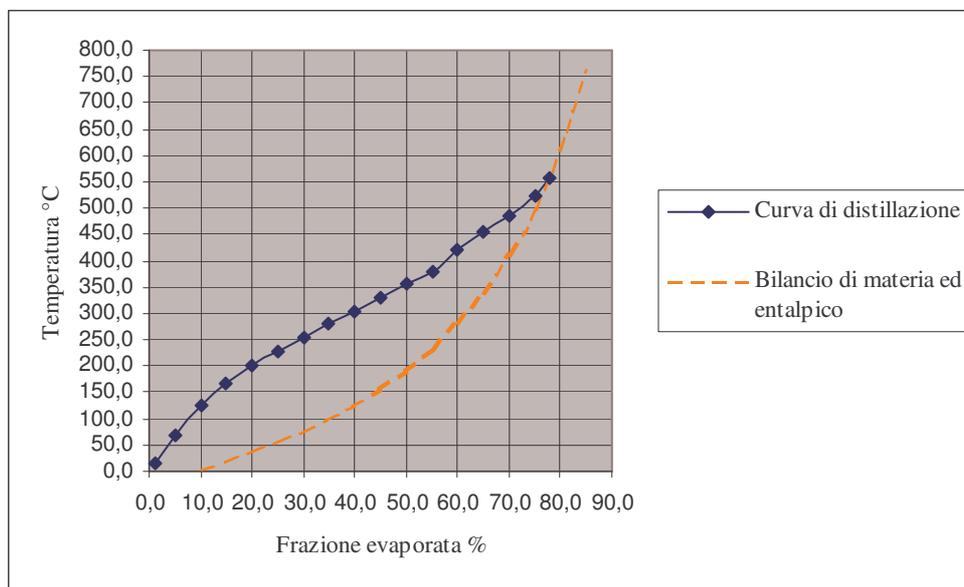


Figura 4. Curva di distillazione del petrolio grezzo

L'intersezione delle due curve fornisce i valori di out-put del modello e cioè: temperatura al Boil Over (560 °C) e frazione di prodotto combusto al momento del Boil Over (78 %). Mediante il bilancio di materia si può calcolare il tempo al Boil Over (30 h) e la frazione di prodotto rimanente al momento del Boil Over (frazione incombusta, 22 %).

Del quantitativo di prodotto rimanente nel serbatoio al momento del Boil Over solo una parte di esso partecipa alla formazione della palla di fuoco, data la presenza di idrocarburi molto pesanti.

In accordo a quanto indicato precedentemente, si assume come massa di prodotto che partecipa alla palla di fuoco un valore pari al 15 % (3280 t) della massa iniziale contenuta nel serbatoio (21864 t).

Mediante relazioni empiriche sono stati stimati i seguenti valori relativi alla palla di fuoco (fire ball) :

- raggio: 217 m
- durata: 36 s
- altezza: 216 m .

Le distanze utili alla pianificazione di emergenza possono essere stimate sulla base dei valori di irraggiamento termico variabile, in maniera analoga a quelle indicate per il BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) del GPL [9], cioè :

- distanza elevata letalità (raggio fire ball) : 217 m
- distanza lesioni irreversibili (200 kJ/m^2): 752 m .

5.0 TECNICHE DI INTERVENTO PER PREVENIRE IL BOIL OVER

Si riportano di seguito alcune possibili operazioni che possono essere effettuate nel corso dell' incendio di un serbatoio, allo scopo di prevenire il fenomeno del Boil Over [7] [10].

- L'operazione più sicura al fine di evitare il verificarsi del fenomeno del Boil Over è quella di spegnere tempestivamente l'incendio del serbatoio.
- Al fine di ottenere una riduzione dell'intensità dell'incendio, si può iniettare aria nella parte bassa del serbatoio, provocando così l'agitazione del prodotto e rallentando la formazione dell'onda di calore.
- Al fine di prevenire la formazione dell'onda di calore, si può provvedere ad azionare sistemi di miscelazione del prodotto.
- Il travaso del prodotto contenuto nel serbatoio in altri serbatoi disponibili può consentire di limitare l'entità del Boil Over.
- La tempestiva rimozione dell'acqua accumulata sul fondo del serbatoio può ridurre l'entità Boil Over; lo strato d'acqua generalmente non deve avere spessore superiore a ca. 1 pollice (2,54 cm).
- Il monitoraggio della temperatura della parete del serbatoio durante l'incendio mediante appositi strumenti (telecamere termiche, vernici termosensibili, oppure getti d'acqua), consente di individuare la posizione dell'onda di calore. Si tenga conto che all'interno della fase liquida la temperatura può essere più elevata rispetto a quella presente sul mantello. La Figura 5 mostra il livello del prodotto e l'onda di calore sviluppata nel corso dell' incendio di un serbatoio [11].



Figura 5. Onda di calore prodotta durante l'incendio di un serbatoio

- Nel caso ci si renda conto della impossibilità di spegnimento dell'incendio, si provveda a far evacuare il personale eventualmente presente nel bacino di contenimento del serbatoio e di portarsi ad una distanza di sicurezza pari ad almeno 5÷10 volte il diametro del serbatoio, prima che l'onda di calore raggiunga una distanza dal fondo del serbatoio di ca. 1,5 m.
- Generalmente il Boil Over è preceduto da forti spruzzi e da un rumoroso crepitio, con un incremento dell'intensità delle fiamme.
- Dopo lo spegnimento dell'incendio di un serbatoio è opportuno continuare a monitorare l'evoluzione dell'onda di calore nel serbatoio la quale può raggiungere l'acqua sul fondo e dar luogo ad un Boil Over.

RIFERIMENTI

1. Interim Study - Prevention and Suppression of Fires in Large Aboveground Atmospheric Storage Tanks – API PUBLICATION 2021A – 1° Ed., luglio 1998
2. Tank Fires – Review of fire incidents 1951-2003, SP Fire Technology, Ed. 2004
3. Big Rain, Big Fire – by Anton Riecher – Industrial Fire World – July/August 2001
4. Monitor/nozzle packages - Williams Fire & Hazard Control
5. Standard for low, medium and high expansion foam – NFPA 11 – Ed. 2002
6. BUCKEYE – FIRE EQUIPMENT – Large capacity foam monitors
7. Boilovers: A Firefighter's Nightmare – David White, CEO, Industrial Fire World – Ed. luglio 2000
8. Formalisation du savoir et des outils dans le domaine des risques accidentels (DRA-35) – Ω13 – BOILOVER – INERIS – Ed. marzo 2003
9. Criteri di analisi e valutazione dei rapporti di sicurezza relativi ai depositi di GPL – DM 15-05-1996
10. Management of Atmospheric Storage Tank Fires – API RECOMMENDED PRACTICE 2021 – 4° Ed., maggio 2001
11. Contraincendio on line – Incendios de liquidos combustibles – Gerardo F. Crespo –Argentina