

Comportamento dei serbatoi a tetto galleggiante in presenza di incendio. Analisi comparata con le disposizioni del DM 31/7/1934

P. Fargione, C. Metelli

0 - PREMESSA

Ancora oggi la normativa cogente in ambito nazionale che regola il deposito e lo stoccaggio degli oli minerali rimane il DM 31.07.1934.

In un'era di rapido progresso tecnologico può sembrare perlomeno particolare che un settore così complesso e vitale della nostra società sia regolato da norme datate di ben 66 anni e che nel corso del tempo ha subito soltanto poche variazioni.

Nello studio che segue si prenderà in esame un aspetto molto importante delle norme ;

l'obiettivo della memoria è quello di verificare, con l'ausilio della modellistica del TNO olandese, la bontà delle distanze di sicurezza sia esse esterne, interne o di protezione che il DM del 1934 aveva fissato in base alla determinazione della classe del deposito con particolare riferimento al comportamento delle guarnizioni di chiusura dei serbatoi a tetto galleggiante in caso di irradiazione dovuto all'incendio di un serbatoio limitrofo.

Per il gentile contributo fornito si ringrazia l'ing. Maurizio Marinelli della Raffineria di Roma.

1 -CLASSIFICAZIONE DEGLI OLI MINERALI; DEI RESIDUI E DELLE MISCELE CARBURANTI IN BASE AL DM 31.07.1934

Punto di partenza ed elemento caratterizzante la pericolosità degli oli minerali è il parametro fisico relativo al punto di infiammabilità del liquido che ha portato a raggruppare, i prodotti petroliferi nelle seguenti categorie:

Categoria A. Liquidi i cui vapori possono dare luogo a scoppio.

Si tratta di derivati dal petrolio e liquidi aventi un punto di infiammabilità inferiore a 21°C: petroli greggi per raffinazione, etere di petrolio, benzine; e inoltre alcune sostanze che entrano nella composizione di miscele carburanti, come benzolo ed etere solforico, nonché le miscele medesime quando contengono più del 10 % di benzina, di benzolo o di etere. Queste miscele possono anche contenere speciali sostanze antidetonanti.

Categoria B. Liquidi infiammabili

Petrolio raffinato e liquidi aventi un punto di infiammabilità fra 21 C° e 65 C°

Categoria C . Liquidi combustibili

Oli minerali combustibili (cioè residui della distillazione, per combustione), nonché liquidi aventi un punto di infiammabilità da oltre 65 C° fino a 125 °C . Il limite di 65 °C per la temperatura degli combustibili è in relazione a peculiari caratteristiche di alcuni prodotti non completamente scevri di tracce di oli leggeri .

Qualora il punto di infiammabilità si a inferiore a 65 °C, ma sotto i 55°C, la prova del grado di infiammabilità deve essere completata da una prova di distillazione frazionata, nella quale non si dovrà avere, a 150 °C, più del 2 % di distillato

In questa categoria C sono anche compresi i residui della distillazione, per raffinazione (Mazuc, Astaki, Pakura, ecc.) da rilavorare con piroscissione (cracking) o altri processi ; nonché i residui distillati per motori a combustione interna.

Per riassumere quanto sopra detto viene riportata la seguente tabella :

Categ.	T = punto di infiammabilità	
A	$T \leq 21 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Petrolio greggio - virgin nafta - benzine - benzolo -
B	$21 \text{ }^{\circ}\text{C} \leq T \leq 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Petrolio raffinato - acqua ragia minerale - alcool etilico - alcool metilico - kerosene
C	$T \geq 65 \text{ }^{\circ}\text{C}$	Gasoli - olio combustibile - oli minerali - vaselina - paraffina - bitume

Il parametro punto di infiammabilità dei liquidi è sempre determinato a vaso chiuso ed è caratterizzato dalla temperatura critica alla quale il petrolio emette vapori in quantità sufficiente, per dare, in miscela con l'aria ambiente, una piccola esplosione.

Per le benzine ed i petroli si usa l'apparecchio Abel - Pensky ; per gli oli l'apparecchio Pensky - Martens .

1.1 - Equivalenza fra le varie classi

Per caratterizzare i depositi con più tipologie di prodotto il DM ha introdotto il concetto di equivalenza tra le classi.

L'equivalenza fra benzina (e sostanze carburanti ad essa equiparate), petrolio, oli combustibili ed oli lubrificanti, è rappresentata rispettivamente dai numeri 1, 10, 40 e 60. Ne consegue che, ad esempio, un deposito contenente 10 mc. di benzina, 50 mc. di petrolio, 1200 mc. di oli combustibili e 1800 mc. di oli lubrificanti, equivale ad un deposito di sola benzina della capacità di 75 mc. e cioè:

$$10 + 50 / 10 + 1200 / 40 + 1800 / 60 = 75 \text{ mc.}$$

Pertanto i parametri che caratterizzano l'equivalenza fra le varie specie di liquidi sono i seguenti:

$$A = 10B$$

$$A = 40C \text{ se } C \text{ olio combustibile } t \leq 125^{\circ}\text{C}$$

$$A = 60C \text{ se } C \text{ olio lubrificante } t \geq 125^{\circ}\text{C}$$

dove t = punto di infiammabilità (titolo II - punto 1 del DM 31.07/1934)

A = 10B significa: 1 litro di liquido A = 10 litri di liquido B

1.2 - Potenzialità dei depositi e degli stabilimenti

La potenzialità dei depositi di liquidi derivati dagli oli minerali, si intende determinata dalla quantità complessiva di tali liquidi che può trovarsi contemporaneamente nel recinto comune, contenuta in serbatoi fissi o vasche, o recipienti trasportabili, nei laboratori, magazzini, tettoie, piazzali, ecc. costituenti il deposito. I depositi sono distinti in classi, in relazione alla natura dei liquidi che contengono, al grado di pericolo che presentano, e alla potenzialità degli impianti che li costituiscono.

Per ragioni di affinità nelle caratteristiche di pericolosità dei liquidi e nell'esercizio dei depositi, si sono riuniti in un solo gruppo le categorie A (benzine) e B (petroli); facendo, per contro un gruppo a se delle classi della categoria C (oli combustibili e oli lubrificanti).

Inoltre per semplificazione, le capacità totali dei depositi del primo gruppo sono state riferite alla sola categoria A (benzine); cosicché, per la categoria B (petroli), si potrà, occorrendo, calcolare il quantitativo equivalente coi numeri 1 e 10 . Nello stesso modo, le capacità dei depositi della categoria C sono state riferite agli oli combustibili; e perciò per gli oli lubrificanti si dovrà calcolare l'equivalente coi numeri 40 e 60.

Le classi dei depositi sono le seguenti:

Categoria A benzine

Classe	Caratteristiche	Capacità in mc
1	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$C \geq 3500$
2	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$301 \leq C \leq 3500$
3	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$101 \leq C \leq 300$
4	Depositi con soli serbatoi interrati	$16 \leq C \leq 100$
5	Depositi di merce imballata	$16 \leq C \leq 75$
6	Serbatoi interrati per distributori carburanti	$C \geq 3,5$
7	Depositi di merce imballata	$2 \leq C \leq 15$

Categoria B - petroli

Classe	Caratteristiche	Capacità in mc
1	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$C \geq 35000$
2	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$3010 \leq C \leq 35000$
3	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$1010 \leq C \leq 3000$
4	Depositi con soli serbatoi interrati	$160 \leq C \leq 1000$

Categoria C - oli combustibili e oli lubrificanti

Classe	Caratteristiche	Capacità in mc
1	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$C \geq 1000$
2	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati	$25 \leq C \leq 1000$
3	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati o magazzini di merce imballata	$C \leq 25$

La capacità contemplate s'intendono effettive, cioè in volume dei liquidi infiammabili che possono essere contenuti nei serbatoi quindi ad esclusione dello spazio vuoto occorrente per la dilatazione di detti liquidi nei serbatoi, nonché degli spazi entro i medesimi occupati dall'acqua, dai dispositivi antincendio, dalle tubazioni e per i franchi necessari alla dilatazione.

La capacità effettiva si ottiene, mediamente, dalla capacità geometrica dei serbatoi, eliminando le seguenti percentuali:

5% per i serbatoi interrati ;

10 % per quelli fuori terra .

Per i depositi misti la potenzialità va commisurata alla quantità complessiva dei liquidi in essi contenuti, equiparandola però a quella del liquido più pericoloso, con l'applicazione dei numeri 1, 10, 40 e 60 ; il quantitativo così risultante indica la classe del deposito.

In tal senso si possono avere depositi misti di categoria A,B,C quelli di classe 1,2,3,4,5,7 mentre sono di tipo C quelli di 8 e 9 classe .

Con tale classifica la norma, di fatto, prevede che le raffinerie siano per loro natura sempre depositi di tipo fisso.

In base a coefficienti di sicurezza di tipo empirico si sono cercate le equivalenze tra i vari prodotti petroliferi e in base a tali determinazioni si è affrontato lo studio del lay-out di un deposito o di un impianto per la lavorazione del petrolio

Un parametro molto importante, non considerato nel 1934 è l'altezza dei serbatoi; nel dopoguerra lo sviluppo industriale con la conseguente necessità di disporre di stoccaggi più elevati, portò alla realizzazione di serbatoi con diametri sempre più grandi che hanno raggiunto valori considerevoli.

E' evidente che occorre dare un limite all'altezza dei serbatoi, proprio in funzione di un maggiore controllo di eventuali fenomeni di incendio difficili da governare ad altezze ragguardevoli.

Pertanto il Ministero dell'interno emise nel 1962 la Circolare n. 132 che fissa in particolare l' altezza dei bacini di contenimento dei serbatoi in 4 m e fissa come altezza massima, oltre il colmo del muro di contenimento, 12 m.

1.3 - Distanze di sicurezza

Come abbiamo detto in prefazione la verifica di dette distanze rappresenta lo scopo del presente studio appare quindi importante darne la definizione di legge per poi verificarne, con la modellistica che oggi ci offre l'analisi del rischio, la rispondenza a tali modelli

Di particolare importanza è la definizione che delle distanze di sicurezza fornisce il DM 30.11.1983.che viene riportato integralmente ; si noti che le distanze assumono tre diverse definizioni infatti:

Distanza di sicurezza esterna

Valore minimo stabilito dalla norma, delle distanze misurate orizzontalmente tra il perimetro in pianta di ciascun elemento pericoloso di una attività ed il perimetro del più vicino fabbricato esterno all'attività stessa o di altre opere pubbliche o private oppure rispetto ai confini di aree edificabili verso le quali tali distanze devono essere osservate.

Distanza di sicurezza interna

Valore minimo, stabilito dalla norma, delle distanze misurate orizzontalmente tra i rispettivi perimetri in pianta dei vari elementi pericolosi di una attività.

Distanza di protezione

Valore minimo, stabilito dalla norma, delle distanze misurate orizzontalmente tra il perimetro in pianta di ciascun elemento pericoloso di una attività e la recinzione (ove prescritta) ovvero il confine dell'area su cui sorge l'attività stessa.

La definizione di legge ha lo scopo precipuo di ridurre in caso di incendio o di esplosione nel primo caso la probabilità di danneggiamento di beni esterni al tenitorio dell'impianto, nel secondo caso la distanza interna è tesa a proteggere dai danneggiamenti alle strutture interne, nel terzo ed ultimo caso a proteggere cose o persone occasionalmente presenti nei confini di proprietà

Tale impianto legislativo era già stato recepito nel DM 31.7.1934 che al titolo IV definiva le zone di protezione e le distanze dai fabbricati esterni, da ferrovie, tramvie ponti ecc.

La determinazione delle suddette distanze è basata, ovviamente, sulla classe del deposito e sulla categoria del prodotto stoccato

In particolare si definisce " zona di protezione " la distanza di protezione che deve intercorrere fra il recinto che deve circondare il deposito (non alto meno di 2.50 m), i serbatoi e gli eventuali luoghi pericolosi ove si effettuano le operazioni ad esempio di travaso.

Nel Decreto si parlava inoltre di distanze da mantenere con i fabbricati esterni e le altre attività presenti nel territorio:

Tale "distanza deve garantire che, in caso di incendio, il fuoco, oltre a non propagarsi verso l'esterno, non provochi pericoli per la pubblica incolumità".

I "fabbricati esterni" sono stati definiti gli edifici situati al di fuori del recinto destinati a civile abitazione, oppure a servizi pubblici, al culto e ad altre attività imprenditoriali, nonché a ponti, ferrovie o tram vie, comunque attività, che in funzione del loro affollamento possano provocare gravi danni a cose o persone.

Le distanze di rispetto e quelle di sicurezza esterne anche nel 1934 furono misurate orizzontalmente.

Tabella riassuntiva

Classe del deposito	Tipo di impianto	Categoria	dist.di protezione in mt (k)	dist. esterne in m	dist int. zone travaso in m
1a	a)Depositi con serbatoi fuori terra; ordinari	Cat A	20	75	25
		Cat B	10	50	15
	b) Depositi con serbatoi fuori terra; sicurezza di 3°	Cat A	10	50	25
		Cat B	5	35	15
	c)Depositi con serbatoi fuori terra oppure interrati; sicurezza di 2°	Cat A	10	37.50	25
		Cat B	5	25	15
	d)Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1°	Cat A	5	25	25
		Cat B	5	15	15
2a	a)Depositi con serbatoi fuori terra; ordinari	Cat A	15	60	25
		Cat B	5	40	15
	b) Depositi con serbatoi fuori terra; sicurezza di 3°	Cat A	10	37.50	25
		Cat B	5	25	15
	c)Depositi con serbatoi fuori terra oppure interrati; sicurezza di 2°	Cat A	10	25	25
		Cat B	5	15	15
	d)Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1°	Cat A	5	15	25
		Cat B	5	10	15
3a	a)Depositi con serbatoi fuori terra; ordinari	Cat A	10	50	15
		Cat B	5	25	10
	b) Depositi con serbatoi fuori terra; sicurezza di 3°	Cat A	5	15	15
		Cat B	5	10	10
	c)Depositi con serbatoi fuori terra oppure interrati; sicurezza di 2°	Cat A	5	10	15
		Cat B	5	7	10
	d)Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1°	Cat A	3	5	15
		Cat B	3	4	10
4a	Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1°	Cat. A e B	2	3	5
5a	Depositi di merce imballata ; sicurezza di 2°	Cat. A e B	5	non considerata	15
6a	Serbatoi interrati per distributori di benzina e gasolio, sicurezza di 1°	Cat. A e B	---	---	non considerata
7a	Depositi di merce imballata; sicurezza di 2°	Cat. A e B	---	non considerata	5
8a	depositi con serbatoi fuori terra o interrati, oppure magazzini di merce imballata	Cat. C	3	4	5

9a	depositi con serbatoi fuori terra o interrati, oppure magazzini di merce imballata	Cat. C	1.50	2	3
10a	Serbatoi interrati per distributori di residui distillati	Cat. C	---	---	non considerata

In base alla tabella sovrastante la norma ha fissato norme di esercizio in relazione della classe del deposito
Di norma, in uno stesso impianto, i liquidi delle singole categorie devono essere depositati e travasati in locali distinti, per categoria.

Questi locali devono essere separati fra loro: o da una distanza uguale alla metà della zona di protezione prescritta precedentemente, riferita alla classe cui il deposito appartiene e al più pericoloso fra i due liquidi; oppure da un robusto muro tagliafuoco, sopraelevato di un metro rispetto agli edifici da dividere.

Quanto alle distanze interne la norma stabilisce che fra i serbatoi fuori terra deve intercedere una distanza uguale alla zona di protezione, se essi sono disposti su più linee. Nel caso invece che siano situati sopra una sola linea, è sufficiente una distanza uguale alla metà della zona, stante il minor pericolo di propagazione del fuoco, la minore azione del vento e la maggiore efficacia dell'azione di raffreddamento con l'acqua (attacco di più lati).

Salvo quanto disposto per gli stabilimenti (serbatoi di lavorazione), per i serbatoi fuori terra dei depositi, la distanza da osservare non può essere inferiore a m. 1,50.

Quest'intervallo è da considerare normale per i serbatoi di oli lubrificanti; a meno che si tratti di cassonetti di capacità non superiore a 30 metri cubi, nel qual caso si può scendere sino a 80 centimetri.

Fra serbatoi interrati attigui, è sufficiente la distanza di metri 0,50, e tale distanza è quella di legge prevista, per i serbatoi degli impianti stradali di distribuzione carburanti.

Nei depositi delle classi 1° e 2°, i locali delle pompe usate per le diverse categorie di liquidi, devono essere disposti all'esterno degli argini di contenimento dei serbatoi e possono stare anche in prossimità dei locali di travaso. Non si prescrivono tassative distanze, ma soltanto che tali locali siano isolati e le pompe non siano azionate da motore a scoppio.

Nelle raffinerie occorre distinguere fra i reparti dei macchinari speciali e i reparti nei quali si conservano transitoriamente i liquidi in corso di produzione o di trasformazione.

1.4 - Dispositivi di sicurezza

Per dispositivi di sicurezza si intendono tutti i dispositivi destinati ad impedire l'ignizione o l'esplosione delle miscele di vapori o gas infiammabili con l'aria.

Tali dispositivi hanno inoltre l'importante funzione di esercizio di assicurare la respirazione atmosferica dei serbatoi, resa necessaria dalle variazioni di temperatura, che provocano la dilatazione dei liquidi, e dai movimenti del livello del liquido durante il travaso.

I dispositivi che possono essere realizzati possono essere i seguenti:

- Sistemi a fluido liquido
- Sistemi a fluido gassoso
- Sistemi a coperchio galleggiante
- Gassometro
- Sistema a tubo di equilibrio
- Sistema valvola automatica di pressione e depressione

Ognuno di questi dispositivi può essere impiegato in tutte le tipologie possibili di stoccaggio.

Quanto ai gradi di sicurezza riportati nella tabella esplicativa gli stessi sono definiti :

- ordinari quanto i serbatoi fuori terra non hanno dispositivi particolari;
- con sicurezza di 1° quando i serbatoi sono interrati e hanno come dispositivi di sicurezza un fluido inerte o un sistema di saturazione,
- con sicurezza di 2° i serbatoi interrati con tubo di equilibrio e i serbatoi fuori terra con fluido inerte o tetto galleggiante;
- con sicurezza di 3° i serbatoi fuori terra dotati di gassometro o tubo di equilibrio o valvola automatica di pressione e depressione.

1.5 - Caratteristiche costruttive dei serbatoi fuori terra per liquidi delle categorie A, B e C

I serbatoi che stoccano liquidi delle categorie A e B devono essere esclusivamente metallici e a tenuta ermetica. hanno generalmente forma cilindrica ed asse verticale.

Il fondo deve essere direttamente appoggiato sopra fondazione di resistenza adeguata al carico da sopportare, la quale può essere costituita, sia con ghiaia e sabbia, sia mediante conglomerato di cemento avente superiormente un cuscinetto di sabbia, sia con altri sistemi di equivalente efficacia. la superficie esterna del fondo deve essere protetta con sostanze atte ad impedirne l'ossidazione. sotto lo spigolo perimetrale del medesimo, deve trovarsi una soletta (di conveniente altezza in relazione all'altezza del serbatoio), con pendenza e canaletto per la raccolta e smaltimento delle acque piovane e di quelle di irrorazione, il quale faccia capo a uno o più pozzetti di scarico, raccordati con una vasca a trappola, collegata, mediante tubazione, alla fognatura, oppure a fiume, a canale, o al mare aperto, secondo i casi.

Nella parte bassa del fasciame cilindrico del serbatoio, due passi d'uomo, diametralmente opposti, servono per l'accesso all'interno e per l'aerazione.

il tetto deve avere struttura leggera e deve essere a tenuta di vapori. esso deve presentare uno o due passi d'uomo (in quest'ultimo caso, diametralmente opposti) per la sola aerazione; e deve avere alcuni sfiatatoi con rete metallica o altro dispositivo conveniente, per l'equilibrio delle tensioni e per opporsi alla retroversione delle fiamme.

I serbatoi devono essere provvisti di indicatori di livello, di vetro retinato (o di resistenza equivalente), ognuno dei quali deve avere rubinetti o valvole di intercettazione.

costituiscono il necessario completamento: una scala metallica, di forma appropriata, lungo i livelli, e le prese per il riempimento e lo svuotamento del serbatoio.

Per la benzina, per il petrolio e per gli oli combustibili leggeri, è consigliabile la disposizione, nell'interno del serbatoio, d'un tubo articolato, manovrabile dall'esterno, allo scopo di evitare i dannosi effetti di eventuali rotture, o di perdita di liquido dalle prese anzidette.

Le pareti esterne dei serbatoi per liquidi infiammabili, devono essere tinte con colori a forte potere riflettente, oppure possono essere rivestite con lamine sottilissime di alluminio perfettamente aderenti.

Al tetto potranno essere applicati dispositivi di sicurezza.

La copertura del serbatoio può essere costituita con materiali coibenti, per diminuire gli effetti dell'irradiazione solare; al quale scopo risponde anche un galleggiante metallico interno, ricoprente l'intera superficie del liquido. questi sistemi di protezione non dispensano dall'obbligo dell'irrorazione delle pareti del serbatoio.

I serbatoi fuori terra per liquidi della categoria C. possono essere costruiti in metallo, in cemento armato, in muratura, o con altri materiali incombustibili. possono avere forma cilindrica ad asse verticale od orizzontale, oppure forma parallelepipedica. possono poggiare direttamente sul suolo, o su pilastri, oppure essere parzialmente interrati. debbono essere provvisti di opportuni dispositivi di aerazione.

Per quanto riguarda le tipologie di realizzazione di grossi serbatoi fuori terra, nei depositi di particolare importanza stessi possono essere costruiti :

- a tetto fisso
- a tetto galleggiante

I serbatoi a tetto fisso sono caratterizzati, dalla caratteristica dei dispositivi di sicurezza che vanno da un sistema a fluido inertizzante che può essere acqua o gas inerte oppure con un sistema a saturazione realizzato grazie a dispositivi che realizzano la saturazione del liquido nella parte sovrastante con il vapore creatosi per l'evaporazione dell'idrocarburo.

Infatti, come è noto, quando un liquido infiammabile è fuori dal campo di infiammabilità rispetto al suo rapporto con l'aria, è di fatti fuori da ogni pericolo di incendio o di esplosione.

Di solito tale tipologia viene utilizzata per liquidi di classe B o C come i gasoli.

Per tali tipologie di serbatoi si possono raggiungere stoccaggi di 25000 mc con un rapporto peso -capacità illustrato nel grafico sottostante:

Diagramma peso-capacità per serbatoio a tetto fisso

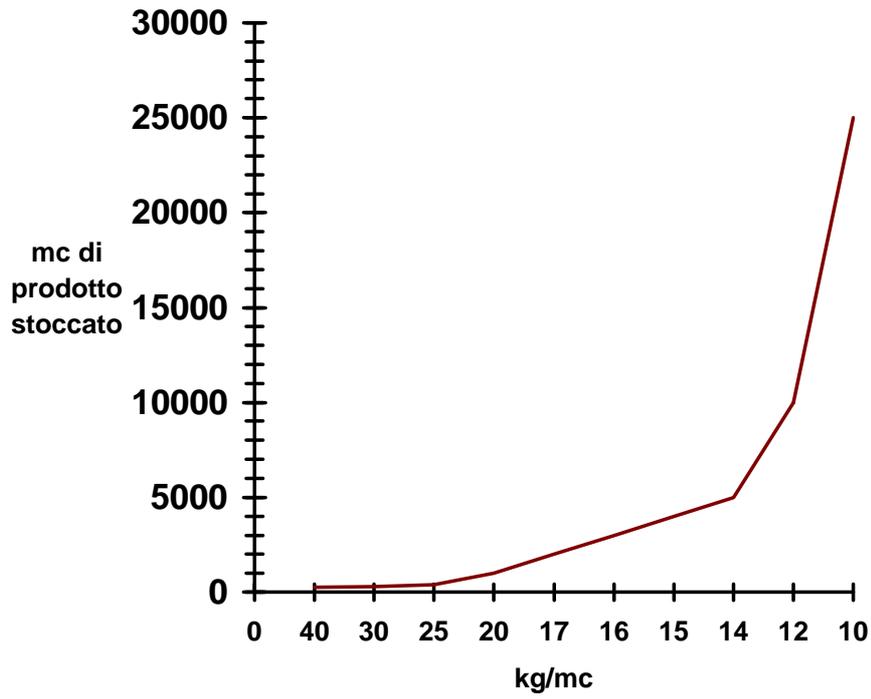
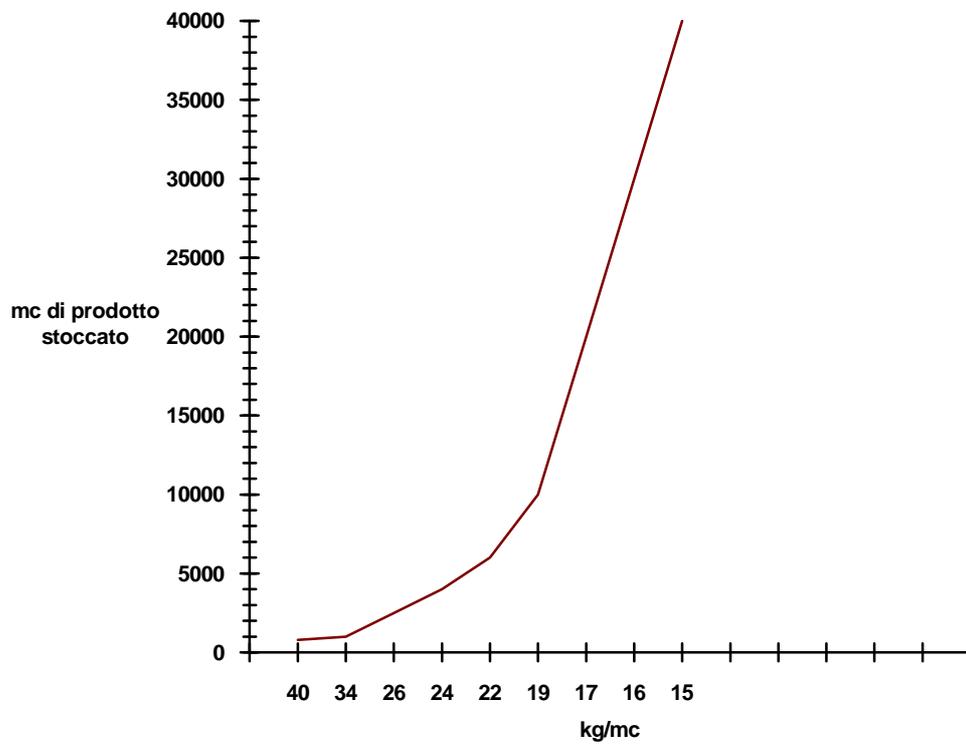


Diagramma peso-capacità per serbatoio a tetto galleggiante



2. - SCENARI INCIDENTALI POSSIBILI

Gli incendi di liquidi infiammabili possono verificarsi sia negli impianti di processo a seguito di rotture di apparecchiature o perdite, e conseguente formazione di pozze, sia direttamente nei serbatoi.

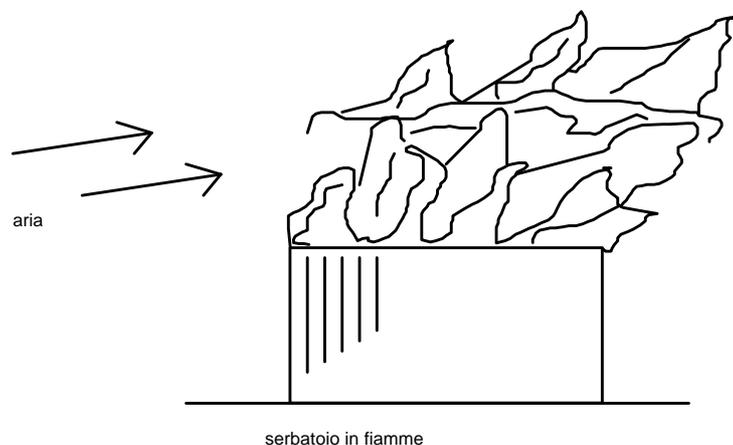
Nel primo caso, sebbene le quantità coinvolte siano piccole, in quanto limitate a quella contenuta nelle apparecchiature, l'incendio può assumere un fronte non ben delimitato e soprattutto variabile nel tempo, inoltre, sono notevoli i rischi di scoppi di apparecchiature e tubazioni coinvolte nelle fiamme.

Nel caso dei serbatoi, invece il fronte è ben delimitato, mentre le quantità in gioco possono essere notevoli (fino a 100.000 mc.).

In ogni caso si tratta di combustione incomplete per difetto di ossigeno che producono grandi quantità di fumo nero.

L'incendio di un serbatoio è caratterizzato da fiamme alte e luminose che richiamano ingenti quantità di aria dalle zone circostanti il serbatoio. La combustione procede in maniera non uniforme (fig. successiva) per effetto dell'efflusso dell'aria e dell'espansione dei gas caldi.

Nella zona soprastante quella di distillazione, la combustione avviene con sviluppo continuo di palle di fuoco e formazione di frequenti vortici, mentre nella parte più alta si verificano fenomeni di accensioni discontinue dei gas caldi e incombusti che conferiscono una particolare spettacolarità all'incendio (pulsazioni).



L'altezza delle fiamme dipende dalla superficie del serbatoio, dal calore latente di vaporizzazione e dal vento. Man mano che il livello del liquido si abbassa, le fiamme investono sempre di più le lamiere del mantello che diventano roventi, per cui in assenza di una efficace azione di raffreddamento può accadere che parti di metallo si stacchino dal serbatoio e cadano nel liquido, causando autentiche esplosioni di vapore, che provocano un aumento del volume e dell'altezza delle fiamme. Con il procedere dell'incendio aumentano, ovviamente, i rischi di collasso del serbatoio e il conseguente rilascio di prodotto e per tale scopo i serbatoi sono generalmente circondati da bacini di contenimento, che non escludono tuttavia la possibilità di stramazzo del liquido in caso di collasso.

In merito a questa grave evenienza occorre dire che, grazie alla tecnologia costruttiva, il collasso dei serbatoi in fiamme avviene per fortuna molto raramente. In effetti durante il famoso incendio dell'Agip di Napoli, che ha coinvolto 40 serbatoi di varie dimensioni contenenti diversi prodotti e in diverse condizioni (con o senza raffreddamento, con bacino in fiamme ecc.), si è verificato il collasso di un solo serbatoio piccolo e snello che, però, era già stato lesionato gravemente dall'esplosione iniziale.

Le situazioni incidentali più gravose che possono presentarsi durante un incendio di questo tipo sono:

- 1) serbatoio in fiamme senza raffreddamento
- 2) serbatoio e bacino in fiamme

Nel primo caso la temperatura del mantello al di sotto del pelo libero non può essere molto diversa da quella del liquido e, in ogni caso, è inferiore a quella di ebollizione. Per cui il carico sul mantello posto al di sotto del liquido, non appare tale da far collassare il serbatoio, anche perché questo è solitamente realizzato con virole sovrapposte e saldate (anche circonferenzialmente); per cui le parti direttamente attaccate al fuoco (lambi superiori), possono anche staccarsi, senza pregiudicare molto la resistenza delle virole inferiori. In questo caso, generalmente si verifica l'accartocciamento verso l'interno con formazione di cuspidi.

Nella seconda ipotesi, il serbatoio si comporta come una pentola, ossia il liquido viene riscaldato direttamente dal mantello, per cui aumenta la velocità di evaporazione e al limite si raggiunge l'ebollizione.

Finché c'è il liquido il mantello non può arroventarsi, dopodiché è facile che si verifichino dei distacchi delle parti superiori, che non dovrebbero pregiudicare, però, la resistenza della restante parte inferiore, se il recipiente è realizzato a virole sovrapposte.

Se invece il serbatoio è realizzato in uno o due pezzi calandrati e saldati lungo le generatrici (come avviene per quelli piccoli), e se sussistono condizioni di snellezza, allora abbiamo seri rischi di collasso.

2.1 - Incendi di tetti galleggianti

Nel caso di serbatoi a tetto galleggiante l'analisi delle conseguenze va svolta sui possibili incidenti che possono avvenire in tali impianti.

In particolari gli scenari incidentali possibili sono riconducibili a tali situazioni:

- rottura delle tubazioni di adduzione con conseguente sversamento del liquido nel bacino;
- sovrariempimento dovuto al mancato arresto di una pompa di carico;
- perdita delle guarnizioni. che in base alla direttiva europea 94/63/CE del 20.12.1994 dovranno garantire un contenimento dei vapori pari o superiore al 95 % di quello di una cisterna simile a tetto fisso priva di dispositivi per il controllo dei vapori.

In tutti i casi sopraesposti l'innescio dell'incendio può essere dovuto a diverse cause fortuite che vanno dalla presenza di correnti vaganti ad inneschi di varia natura.

Una volta stabilita la situazione incidentale prescelta, si possono analizzare le conseguenze che essa porta ai serbatoi adiacenti. Nelle nostre elaborazioni si è fatta l'ipotesi di incendio della corona superiore della guarnizione del tetto galleggiante.

Per i serbatoi adiacenti occorre verificare le seguenti condizioni operative :

- 1) serbatoio in fiamme pieno -serbatoio ricevente vuoto
- 2) serbatoio in fiamme pieno -serbatoio ricevente pieno
- 3) serbatoio in fiamme con vari gradi di riempimento -serbatoio ricevente vuoto
- 4) serbatoio in fiamme con vari gradi di riempimento -serbatoio ricevente pieno

Nel caso 1) il rischio di collasso del serbatoio ricevente sarà dovuto essenzialmente a rischi di tipo meccanico, in pratica si dovrà verificare in quale maniera :

si deforma il serbatoio sottoposto all'incendio e con quale modalità degrada le proprie caratteristiche di resistenza;

se a seguito delle deformazioni si vada a perdere l'aderenza della guarnizione con la faccia interna del serbatoio con conseguente fuoriuscita di vapori infiammabili che irraggiati dal calore del serbatoio emittente possono provocare l'incendio del serbatoio con il conseguente effetto domino.

Lo studio si articola quindi con la determinazione del flusso che va ad investire i serbatoi adiacenti verificando la possibilità di innesco all'altezza delle guarnizioni degli stessi.

3. - MODELLISTICA

Nello studio per la determinazione dei flussi termici che vanno ad investire un parco serbatoi fuori terra a tetto galleggiante, si sono adoperati i modelli previsti dal TNO che prevedono il calcolo di alcuni parametri fondamentali quali ad esempio:

- il tasso di combustione per il quale, nel caso dei liquidi può essere utilizzata l'equazione di Burgess e Zabetakis

$$m' = 1 \cdot 10^{-3} H_c/H_v$$

H_c = calore inferiore di combustione

H_v = calore latente di vaporizzazione

Altro parametro importante è la geometria della fiamma che può essere determinata in base alla larghezza della pozza infiammata e del tasso di combustione. In particolare può utilizzarsi la formula di Thomas

$$H/d = 42 \cdot \{ m' / Da \cdot \sqrt{g d} \}^{0.61}$$

Da = densità aria (kg/mc) ≈ 1.2 kg/mc

d = diametro della pozza in m

H = altezza della fiamma in m

Un parametro molto importante per stimare gli effetti del incendio rispetto ai luoghi circostanti è, ovviamente, la inclinazione della fiamma che dipende dalla velocità del vento che alimenta l'incendio.

E' chiaro che le condizioni atmosferiche hanno una grossa importanza per la determinazioni delle condizioni più sfavorevoli per lo sviluppo di un incendio e gli effetti che lo stesso può provocare ai suoi dintorni. Il DPCM 31.3.1989 di applicazione di DPR 175 /88 (direttiva Seveso) ha preso come riferimento, nelle analisi delle conseguenze, le condizioni meteorologiche riferite alle categorie di Pasquill associate alla velocità del vento a 10 m dal suolo per :

- a)atmosfera
 - 1)atmosfera moderatamente instabile : cat di Pasquill B
velocità del vento pari a 3 m/s
 - 2)atmosfera neutra : cat di Pasquill D
velocità del vento pari a 5 m/s
 - 3)atmosfera moderatamente stabile : cat di Pasquill F
velocità del vento pari a 2 m/s
- b)umidità relativa: 60 %
- c)temperatura dell'aria : 25 °C

Tutte le caratteristiche vanno intese estese a 360 ° all'intorno dell' elemento considerato.

La modellistica ci fornisce per lo studio dell'inclinazione della fiamma l' espressione proposta dalla AGA (American gas association) che determina l'angolo di inclinazione della fiamma rispetto al terreno con la seguente formula:

$$\Theta = 90^\circ \text{ se } u < 1$$

$$\cos\Theta = 1/\sqrt{u} \text{ se } u \geq 1$$

Nell'espressione precedente u è la velocità adimensionale del vento che può essere determinata con la seguente espressione :

$$u = uv / (g \cdot m'd/Da)^{1/3}$$

La tabella sottostante riporta i valori delle grandezze necessarie alla stima dei parametri soprariportati, per i principali prodotti petroliferi.

Prodotto	Densità (kg/mc)	Hv (KJ/kg)	Hc(MJ/kg)	m' (kg/mq s)	T (°K)
Benzina leggera	740	385	44.7	0.048	1460
Benzina auto	740	330	43.7	0.055	1450
Kerosene	820	670	43.2	0.039	1480
JP-4	760	670	43.5	0.051	1220
JP -1	810	700	43.0	0.054	1250
Olio per trasfor.	760	700	46.4	0.039	1500
Olio combustibile	940 - 1000	700	39.7	0.035	1500
Greggio	830 - 880	700	42.5-42.7	0.022	1500

Nota: i valori di m' sono approssimati a ± 0.002

Il parametro fondamentale per determinare le conseguenze di un incendio è senza dubbio il calcolo dell'irraggiamento rispetto al tank in fiamme.

A tal proposito, oltre a risultare, uno dei parametri di maggiore difficoltà di calcolo occorre rammentare che la trasmissione del calore è fortemente influenzata dalla modalità con cui essa avviene.

Si è infatti stimato che negli incendi da serbatoio la frazione del calore trasmesso come energia radiante varia tra il 15 ed il 35 % del totale.La parte restante se ne va quasi esclusivamente per convezione e pertanto verso l'alto verso zone presumibilmente prive di materiale combustibile o infiammabile.

Il flusso termico può essere calcolato come nel caso di corpo grigio emittente con la seguente espressione:

$$q' = E_f \cdot F \cdot \tau$$

in cui E_f = potere emissivo della fiamma (kW/mq)

τ = trasmissività atmosferica

F = fattore di vista

Quanto a questi ultimi due parametri, di difficile stima, è interessante riportare le espressioni utilizzate per il loro calcolo.

La Trasmissività atmosferica è ovviamente funzione dell'umidità e della temperatura atmosferica e può essere calcolata con l'espressione di Pietersen e Huerta:

$$\tau = 2.02 (P_w \cdot x)$$

in cui P_w = umidità atmosferica (Pa)

x = distanza da centro pozza

Il fattore di vista è il parametro che tiene conto della distanza x dell'elemento irraggiato dal serbatoio in fiamme e della inclinazione della superficie ricevente .

La formula corretta del Fattore di vista è quella proposta dalla TNO che può essere riportata nella seguente formulazione:

$$F = \int_{A1} \{ (\cos\theta_1 \cdot \cos\theta_2) / r^2 \} dA1$$

in cui θ_1 e θ_2 = angoli tra le normali alle superfici "radiante e ricevente" e la congiungente le superfici

r = distanza tra le due superfici in m

dA = superficie elementare irradiante in mq

In genere in modo più semplice il calcolo dei fattori di vista viene effettuato per:

superficie ricevente orizzontale Fh

superficie ricevente verticale Fv

superficie ricevente angolata nel modo più sfavorevole $F_{max} = (Fh^2 + Fv^2)^{1/2}$

Nei calcoli effettuati con il modello proposto dal TNO sono stati utilizzati i modelli proposti nell'appendice 6.1 del cap. 6 dello Yellow book TNO cap 3

Quanto alla emissività della fiamma la stessa è stata calcolata partendo dalla determinazione di due parametri fondamentali che tengono conto del tipo di fenomeno fisico.

Infatti l'emissività è un parametro che risente grandemente della presenza del fumo e del colore della fiamma.

Calcolato il valore Emax (massimo irraggiamento possibile) si può determinare il valore della Ef che può essere espresso con la seguente espressione:

$$E_f = E_{max} \cdot (1 - \xi) + E_{fumo} \cdot \xi$$

in cui $\xi = 0.80$

E_{fumo} = 20 kW/mq

Le risultanze del calcolo effettuato hanno condotto a dei risultati interessanti per quel che riguarda il rispetto da parte del DM del 1934 delle distanze di sicurezza.

Infatti come si evince dai calcoli effettuati le distanze di sicurezza interne allora determinate, anche alla luce dei nuovi modelli calcolo risultano ancora oggi efficaci a garantire un grado di sicurezza accettabile.

Dalla letteratura infatti si può accettare un grado di resistenza al flusso termico di circa 38 kW/mq valore che non viene mai raggiunto nei calcoli effettuati.

Bibliografia

[1] DM 31.7.1934 Approvazione delle norme di sicurezza per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego o la vendita di oli minerali, e per il trasporto degli oli minerali, e per il trasporto degli oli stessi.

[2] Circolare Min Interni n. 132 – Depositi ed impianti di olii minerali. Norme di sicurezza integrative di quelle stabilite nel Decreto ministeriale 31 luglio 1934.

[3] L. Corbo, Oli minerali Pirole editore (1991)

[4] Yellow book TNO cap 3 appendice 6.1 del cap. 6

[5] Direttiva 94/63 CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 20.12.1994, sul controllo delle emissioni di composti organici volatili (COV) derivanti dal deposito della benzina e della sua distribuzione dai terminali alle stazioni di servizio

[6] Documento A.P.I n°650

Esempio di calcolo

Serbatoio cilindrico da 20.000 mc in fiamme contenente benzina con vento a 20 m/s con bersaglio alla stessa quota

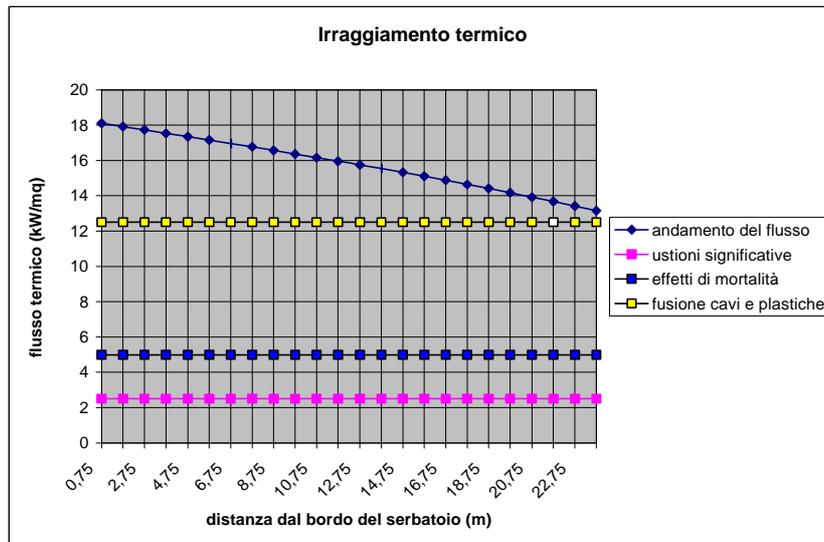
Dati caratteristici

H (m)	10								
D (m)	50,5								
Umidità %	70								
Fr10	0,807420192								
Re	74264705,88								
tan(0)/cos(0)	5,169159659								
pw0 a 15°C	2318								
Temp. Fiamma K	1200								
Hc (MJ/Kg)	Hv (kJ/Kg)	D (m)	m' (kg/s mq)	uw (m/s)	u*	L/d	L (m)	teta °	
45	330	50,5	0,055	20	7,0636297	1,3147355	66,394143	65,255249	

SEPmax (kW/mq)	SEPact (kW/mq)	pw (N/mq)	Tau a	F	
79086,84859	31817,36972	1622,6	0,73033991	variabile con la distanza	q=SEPact x F x Tau

legenda:	D=diametro serbatoio	Hv =calore latente di vaporizzazione	teta=angolo di inclinazione fiamma	H=altezza serbatoio
	Fr10=n. di Froude a 10 mt di altezza	uw=velocità del vento	SEPmax=massimo flusso energetico teorico	F=fattore di vista
	Re=n. di Reynolds	uw=velocità del vento	SEPact=flusso energetico decurtato dal fumo	
	pw=pressione di vapore a 15°	u*=velocità del vento scalare	Tau a =	
	Hc=potere calorifero inferiore	L=lunghezza fiamma	m'= tasso di combustione	

d	q
0,75	18,10027594
1,75	17,91447712
2,75	17,72748778
3,75	17,53916548
4,75	17,34934876
5,75	17,15785759
6,75	16,96449404
7,75	16,76904319
8,75	16,57127436
9,75	16,37094271
10,75	16,16779117
11,75	15,96155293
12,75	15,75195433
13,75	15,53871835
14,75	15,32156863
15,75	15,10023418
16,75	14,87445456
17,75	14,64398578
18,75	14,40860672
19,75	14,16812599
20,75	13,92238926
21,75	13,67128675
22,75	13,41476078
23,75	13,15281313



d=distanza dal bordo serbatoio

q=flusso termico