

STOCCAGGI

In un impianto di processo vi è la necessità di immagazzinare, per tempi più o meno lunghi, le varie sostanze utilizzate nei processi produttivi. Le ragioni principali per cui si utilizzano tali immagazzinamenti, ovvero stoccaggi sono:

- Garantire ai cicli produttivi un'alimentazione costante delle materie prime e di quelle ausiliarie
- Conservare temporaneamente i prodotti prima del loro invio ad altro impianto o alla commercializzazione
- Immagazzinare temporaneamente prodotti o semilavorati utilizzati nell'impianto stesso (ad esempio quando una lavorazione discontinua va raccordata con una continua). L'immagazzinamento intermedio effettuato per questa ragione viene spesso indicato come "polmonazione" ed i recipienti utilizzati a tale scopo sono detti "polmoni".
- Garantire l'immagazzinamento delle varie sostanze in caso di fermata dell'impianto, dovuta a guasti, o altro

Le apparecchiature utilizzate per lo stoccaggio sono realizzate in fogge differenti dipendentemente dallo stato fisico della sostanza immagazzinata:

- Liquidi: vasche e serbatoi
- Gas: serbatoi, gasometri, bombole
- Solidi: mucchi, sili, magazzini

STOCCAGGIO DI LIQUIDI

Lo stoccaggio per liquidi si può realizzare in recipienti aperti, detti vasche, o chiusi, detti serbatoi.

Le vasche sono più economiche, ma, essendo aperte, non proteggono i prodotti dagli agenti atmosferici e ne consentono l'evaporazione: negli impianti dell'industria di processo esse si utilizzano prevalentemente per l'acqua, ad esempio per l'acqua di raffreddamento o quella antincendio, ma molto raramente per materie prime o prodotti. Le vasche possono essere realizzate fuori terra o parzialmente interrato: le realizzazioni più piccole possono essere metalliche, a sezione cilindrica, mentre quelle di dimensioni maggiori sono generalmente in calcestruzzo, con sezione quadrata o rettangolare.

I serbatoi per liquidi hanno forma cilindrica, ad asse verticale od orizzontale e, più raramente, sferica: essi sono generalmente montati fuori terra, anche se in alcuni casi possono essere interrati, come, ad esempio i serbatoi tumulati per il GPL, cui si è accennato nel primo capitolo. La forma cilindrica (o sferica) viene utilizzata in quanto conferisce al serbatoio una buona resistenza alla sollecitazione di pressione interna. Tale sollecitazione è presente in tutti i serbatoi pressurizzati, ma anche in quelli che lavorano a pressione atmosferica, poiché il peso stesso del liquido crea una spinta, ossia una pressione, nei confronti delle pareti e del fondo. I serbatoi per liquidi sono quasi esclusivamente metallici.

La tipologia di serbatoio che si utilizza dipende essenzialmente dal quantitativo di liquido che si deve stoccare, dalla pressione di esercizio del serbatoio e dalla tensione di vapore del liquido. Ci sono poi tipologie particolari di serbatoi per i liquidi criogenici, ossia quelli immagazzinati a temperature al di sotto di quella ambiente.

Per grandi capacità e pressioni prossime a quella atmosferica si utilizzano serbatoi

verticali a tetto fisso, o a tetto galleggiante se il liquido presenta un'elevata tensione di vapore. Queste tipologie di serbatoi sono generalmente utilizzati per grossi quantitativi (anche superiori a 50 000 m³) di materie prime, intermedi e prodotti finiti. Per capacità più modeste e pressioni di esercizio maggiori si utilizzano serbatoi a fondi bombati, ad asse orizzontale o verticale. Questi sono i tipici serbatoi polmone, ma si utilizzano anche per stoccaggi in pressione (ad esempio per gas liquefatti a pressione). I serbatoi sferici si utilizzano quasi esclusivamente per gas liquefatti a pressione, come GPL, ammoniacca, ecc.

La tabella seguente [9] riporta i campi di utilizzazione orientativi previsti per le varie tipologie di serbatoi. Si ricorda che il serbatoio non viene mai riempito completamente di liquido ed è generalmente provvisto di indicatori di livello, talora con indicazione visibile dall'esterno. I serbatoi di maggiore capacità e quelli polmone sono quasi sempre forniti anche di allarmi di livello minimo e massimo.

Tipo	Pressione di esercizio	Capacità	Utilizzazioni
Verticali, a tetto fisso, con sfiato all'aria	Atmosferica	≥ 10 m ³	Liquidi con tensione di vapore trascurabile
Verticali, a tetto fisso, con valvola di respirazione	<0.05 bar effettivi (1)	≥ 10 m ³	Liquidi con limitata tensione di vapore o che emettono vapori infiammabili
Verticali, a tetto galleggiante	<0.05 bar effettivi (1)	≥ 1000 m ³	Liquidi con limitata tensione di vapore o che emettono vapori infiammabili
Sferici	1-20 bar	≤ 5000 m ³	GPL
Cilindrici, verticali, con fondi bombati	Qualunque	≤ 100 m ³	Qualunque
Cilindrici, orizzontali, con fondi bombati	Qualunque	≤ 200 m ³	Qualunque

(1) è ammesso il vuoto fino ad un massimo di 50 mm H₂O (500 Pa)

Serbatoi a tetto fisso

I serbatoi di stoccaggio a tetto fisso sono fuori terra, cilindrici, ad asse verticale, con un fondo piano che poggia sul terreno ed un tetto conico o bombato. L'altezza della parte cilindrica di questi serbatoi non supera di norma i 20 m per evitare che il battente di liquido al loro interno crei una pressione eccessiva sulle pareti in prossimità del fondo. Si ricorda che la pressione creata da un liquido (idrostatica) è proporzionale alla sua altezza:

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

dove

P = pressione (Pa)

ρ = densità del liquido (kg/m³)

g = accelerazione di gravità, 9.81 m/s²

h = battente di liquido (m)

Nel caso dell'acqua, che ha densità pari a 1 000 kg/m³, un'altezza di 10 m causa una pressione alla base pari a 98 100 Pa, pari a circa 1 atm.

Si ha quindi la necessità di contenere l'altezza totale del serbatoio e, per grosse capacità, occorrono diametri molto grandi, fino a 100 m per serbatoi da 150 000 m³. Di fatto, come mostra la figura 12, i serbatoi di dimensioni maggiori presentano un diametro almeno doppio rispetto all'altezza.

Capacità nominale m^3	Di mm	H mm	h mm	Spessori minimi			Tipo di scala
				Fondo mm	Virole mm	Tetto	
25	2.800	4.000	250	6	5/5/5	5	Marinara
50	3.500	5.500	280	6	5/5/5	5	"
100	4.570	7.310	470	7	5/5/5/5	5	"
150	4.570	9.140	470	7	5/5/5/5/5	5	"
250	6.700	7.310	500	7	5/5/5/5	5	"
500	7.620	10.970	580	7	5/5/5/5/5/5	5	Ellicoidale
750	10.670	9.140	815	7	5/5/5/5/5	5	"
1.000	12.190	9.140	920	7	6/6/6/6/6	5	"
2.000	13.725	14.630	1.050	7	8/7/6/6/6/6/6/6	5	"
5.000	24.380	10.970	1.830	7	11/9/7/7/7/7/7	5	"
10.000	30.480	14.630	2.200	7	14/12/12/9/7/7/7/7	5	"

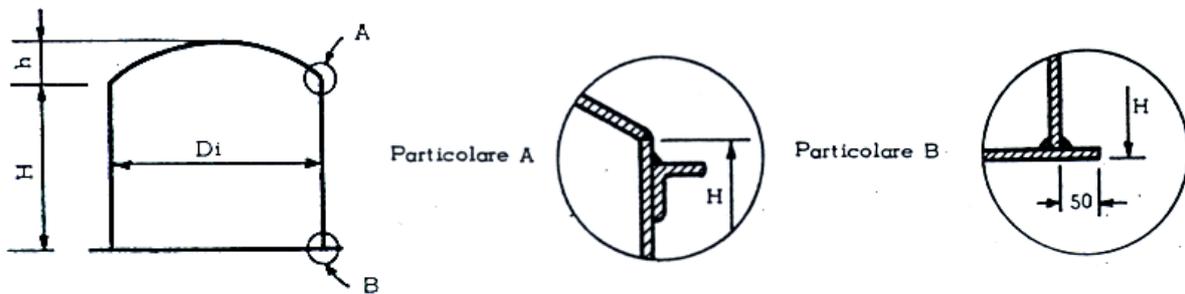


Figura 12 [9]

Il fondo del serbatoio è costituito da una serie di lamiere rettangolari, leggermente sovrapposte e saldate lungo i lati, poggiate direttamente sul terreno, opportunamente predisposto. Il fondo sporge leggermente rispetto alla circonferenza del serbatoio, come mostra il particolare B della figura 12, in modo da facilitare sia il centraggio dello stesso (che può non essere perfetto per serbatoi di diametro di alcune decine di metri) che la saldatura alle lamiere verticali. I serbatoi sono generalmente costruiti in loco, montando le lamiere curvate (virole) che costituiscono le pareti verticali, che sono saldate di testa tra loro a partire dal basso. Nei serbatoi più piccoli si utilizzano virole di un unico spessore (5 o 6 mm), mentre in quelli più grandi, si utilizzano virole di spessore maggiore (fino a 80 mm) nella parte bassa del serbatoio, in cui la pressione è maggiore, e si riduce progressivamente lo spessore delle virole man mano che ci si sposta verso l'alto e la pressione idrostatica diminuisce. Il tetto è generalmente conico, con una pendenza molto lieve (vedi figura 13), atta a facilitare lo scorrimento della pioggia, o bombato: per serbatoi di piccole dimensioni il tetto è sostenuto direttamente dalla parete laterale, che viene rinforzata con un profilato ad L (vedi particolare A della figura 12). Per serbatoi di dimensioni maggiori il tetto necessita di orditure di sostegno, tanto più complicate al crescere delle sue dimensioni.



Figura 13

Per garantire che la pressione sul pelo libero del liquido sia effettivamente quella atmosferica (la normativa italiana prescrive che per i recipienti atmosferici la pressione massima sia inferiore o uguale a 1.05 atm), viene realizzato un breve condotto, con sfiato all'aria, che mette in connessione il serbatoio con l'ambiente esterno. In tal modo, quando il serbatoio si riempie, l'aria contenuta al suo interno viene espulsa attraverso il condotto, per rientrare nel serbatoio quando esso si svuota. Se il liquido ha una tensione di vapore elevata ciò può comportare una certa perdita di prodotto insieme con l'aria: ciò può verificarsi anche in assenza di variazioni di livello se la temperatura (e quindi la tensione di vapore del liquido) varia considerevolmente tra il giorno e la notte.

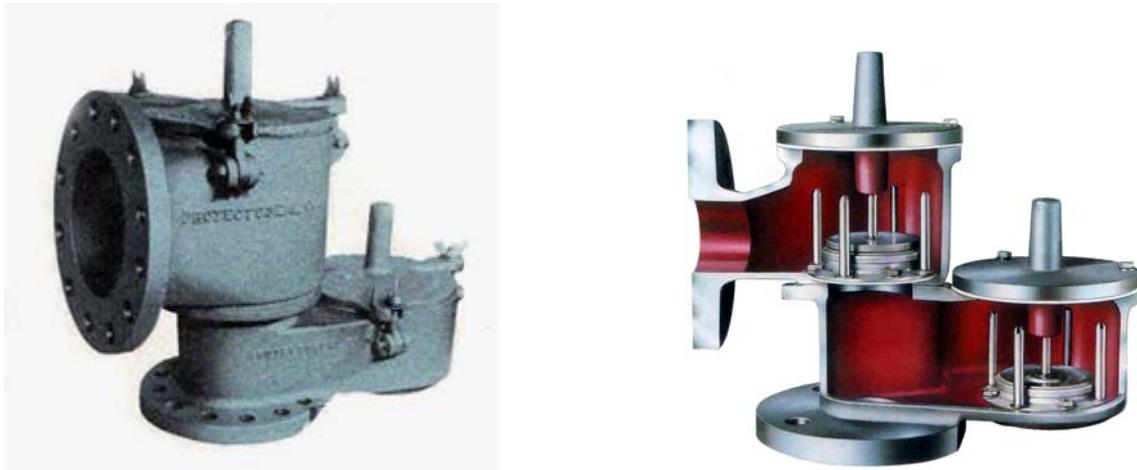


Figura 14

Per limitare le perdite di prodotto si può dotare il condotto di una valvola di respirazione, come mostra la figura 14. Questo dispositivo è tarato su due valori di pressione, rispettivamente appena superiore ed inferiore a quella atmosferica, e, quando la pressione è compresa tra questi due valori, non consente la fuoriuscita di gas o vapori dal serbatoio, o l'ingresso dell'aria dall'esterno. In pratica, la pressione all'interno, nominalmente atmosferica, può variare tra un valore massimo, a cui la valvola si apre consentendo la fuoriuscita di aria e vapori, ed un valore minimo a cui la valvola si apre

consentendo l'ingresso di aria esterna. In tal modo si evitano perdite di prodotto per piccole oscillazioni della pressione attorno al valore atmosferico. Le valvole di respirazione si utilizzano quando il liquido emette vapori infiammabili, eventualmente convogliando gli sfiati in torcia. Se necessario si può inviare un gas inerte, ad esempio azoto, in caso di depressurizzazione del serbatoio: questa operazione viene detta inertizzazione o "polmonazione" con inerte. L'utilizzo della valvola di respirazione non risolve comunque il problema delle perdite per liquidi con volatilità piuttosto elevata (come le benzine) per i quali si ricorre ai serbatoi a tetto galleggiante.

Occorre infine prestare attenzione al corretto dimensionamento della tubazione di connessione con l'atmosfera: diametri insufficienti (accoppiati a velocità di riempimento/svuotamento eccessive) possono portare a sovrappressurizzazioni o depressurizzazioni eccessive del serbatoio, mentre diametri troppo grandi comportano maggiori perdite di prodotto.

Serbatoi a tetto galleggiante

I serbatoi a tetto galleggiante sono anch'essi fuori terra, cilindrici ad asse verticale, con il fondo appoggiato direttamente sul terreno, come quelli a tetto fisso. Tuttavia, in questo caso, il tetto è appoggiato direttamente sulla superficie del liquido ed è libero di scorrere all'interno del serbatoio, sollevandosi ed abbassandosi per seguire le variazioni di livello del liquido. In questo modo non c'è spazio libero tra il liquido ed il tetto e poiché si realizza una tenuta tra tetto e pareti del serbatoio, al variare del livello nel serbatoio non si possono avere fuoriuscite di vapori del liquido, né ingressi di aria. Per questa ragione i serbatoi a tetto galleggiante sono utilizzati soprattutto per liquidi piuttosto volatili e, in particolare, infiammabili, quali benzina e greggio di petrolio.

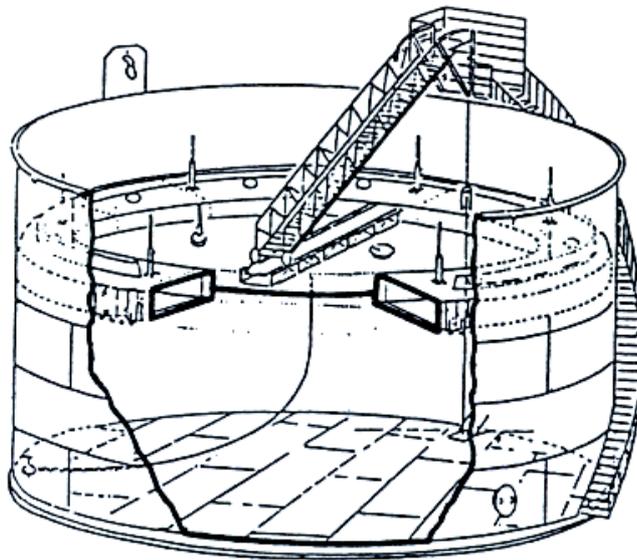


Figura 15 [1]

Il tetto, come il serbatoio, è metallico: per consentirne il galleggiamento, ha una struttura a pontone, ossia la lamiera che costituisce la parte centrale del tetto è sostenuta, lungo tutta la circonferenza da una specie di ciambella metallica cava (pontone), a sezione rettangolare, come mostra la figura 15, che si immerge parzialmente nel liquido fino a contrastare esattamente il peso del tetto con la spinta di galleggiamento. Per maggior sicurezza, il pontone è generalmente suddiviso in sezioni

mediante paratie stagne in modo da evitare l'affondamento completo del tetto in caso di foratura. Il bordo superiore della parete cilindrica viene rinforzato, in modo da assicurarne la stabilità dimensionale, saldandovi dei profilati su cui generalmente viene poggiata una passerella, come mostra la figura 16.



Figura 16

Capacità nominale m^3	Di mm	H mm	Spessori minimi	
			Fondo mm	Virole mm
1,000	10.970	10.970	7	6/6/6/6/6/6
2,000	14.630	12.190	7	8/6/6/6/6/6/6
5,000	22.350	12.190	7	11/10/8/7/7/7/7
10,000	30.480	14.630	7	18/16/13/11/9/7/7/7
25,000	45.720	15.240	7	28/24/21/17/14/10/8/8
38,000	54.860	15.600	7	34/30/26/22/18/14/10/8/8
50,000	67.060	14.580	7	38/33/28/23/18/14/10/9

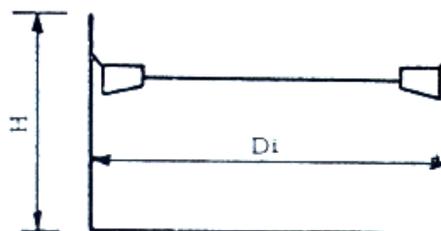


Figura 17 [9]

Per le dimensioni tipiche di serbatoi a tetto galleggiante ci si può rifare alle indicazioni della tabella figura 17 e valgono le considerazioni generali sul proporzionamento altezza/diametro e sullo spessore delle pareti già fatte per i serbatoi a tetto fisso. Tuttavia, in questo caso, ove per le pareti si adottino virole di spessore diverso, occorre eseguire le saldature in modo che la parte interna della parete non presenti risalti che ostacolerebbero il movimento del tetto.

Un problema specifico dei serbatoi a tetto galleggiante è quello dello smaltimento dell'acqua piovana che si raccoglie sul tetto, effettuato mediante una tubazione flessibile che passa all'interno del serbatoio, e di quella che può entrare nel serbatoio attraverso la tenuta del tetto. In questo caso, data la natura prevalente dei prodotti stoccati in questo tipo di serbatoi (petrolio e frazioni petrolifere più leggere dell'acqua e praticamente immiscibili con essa) l'acqua si raccoglie sul fondo del recipiente, da cui va drenata periodicamente.

Serbatoi con fondi bombati

Per immagazzinare quantitativi di liquidi più modesti si utilizzano serbatoi cilindrici con fondi bombati ad asse verticale o ad asse orizzontale. Questi serbatoi, per la loro forma, si prestano bene a resistere alla pressione, per cui si possono utilizzare per l'immagazzinamento di liquidi pressurizzati (o di gas liquefatti per effetto della pressione).

I serbatoi ad asse verticale raramente superano il volume di 100 m³ e sono caratterizzati da un rapporto altezza/diametro decisamente più elevato rispetto a quello dei serbatoi a tetto fisso o galleggiante. La ragione di questo diverso proporzionamento risiede in questo caso nell'esigenza di non incrementare troppo il valore del diametro. Infatti i serbatoi con fondi bombati sono spesso pressurizzati e la sollecitazione indotta dalla pressione risulta largamente prevalente rispetto a quella della spinta idrostatica del liquido. Per un recipiente in pressione, in prima approssimazione, lo spessore della parete cilindrica è proporzionale al diametro, secondo la legge di Mariotte:

$$s = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \sigma}$$

dove

s = spessore della parete (m)

P = pressione interna (Pa)

D = diametro (m)

σ = resistenza del materiale (Pa)

A parità di volume si ha quindi un vantaggio ad aumentare la lunghezza del serbatoio a scapito del diametro, soprattutto all'aumentare della pressione di esercizio. Di fatto, si utilizzano rapporti altezza/diametro fino a 4:1, come mostra la figura 18.

Le medesime considerazioni generali fatte per i serbatoi ad asse verticale si applicano anche a quelli ad asse orizzontale, che però hanno dimensioni maggiori, che possono arrivare fino a 500 m³, con rapporti lunghezza/diametro fino a 6:1. Per i serbatoi ad asse orizzontale fino a 100 m³ si può fare riferimento ai proporzionamenti riportati in figura 18. I serbatoi ad asse orizzontale posti fuori terra sono generalmente sostenuti da selle metalliche, saldate sulla parete cilindrica, che abbracciano il serbatoio per circa un terzo della sua circonferenza e poggiano su piastre di rinforzo.

I serbatoi a fondi bombati ad asse verticale fuori terra sono generalmente sostenuti mediante zampe, saldate su una piastra di rinforzo o su una mensola apposita (detta zanca) nella zona inferiore della parete del serbatoio, come mostra la figura 19.

Capacità m ³	D _i mm	H mm	S _{min} mm
1	900	1.500	5
2	1.100	2.000	5
3	1.200	2.500	5
5	1.400	3.000	6
10	1.800	3.500	6
15	2.000	4.500	6
20	2.200	5.000	7
25	2.400	5.000	7
30	2.600	5.500	7
50	3.000	6.500	8
100	3.200	11.500	8

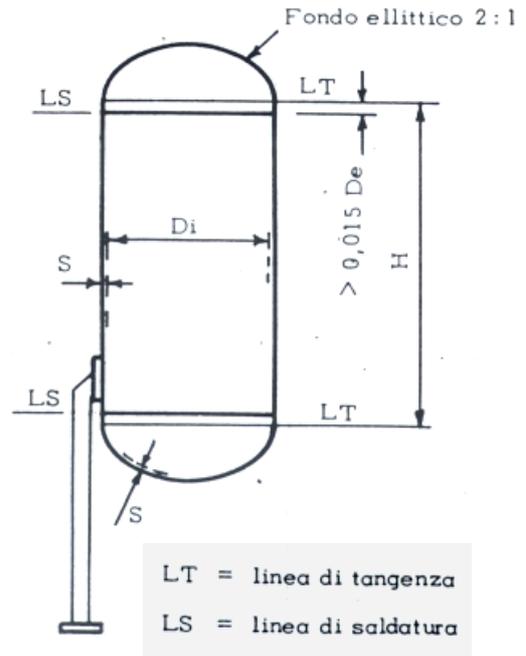


Figura 18 [9]

Capacità m ³	D _i mm	L mm	l mm	S _{min} mm
1	800	2.000	1.200	5
2	1.000	2.500	1.500	5
3	1.200	2.500	1.500	5
5	1.300	3.500	2.100	6
10	1.600	4.500	3.100	6
15	1.800	5.500	4.200	6
20	2.000	6.000	4.700	6
25	2.200	6.000	4.700	7
30	2.400	6.500	5.200	7
50	2.800	8.000	6.600	8
100	3.200	12.000	10.400	10

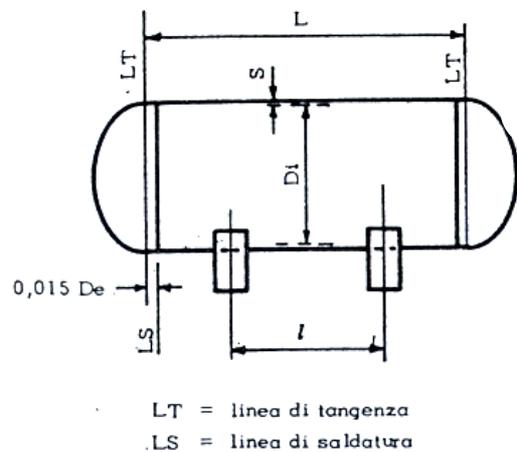


Figura 19 [9]

I serbatoi ad asse orizzontale sono spesso utilizzati per lo stoccaggio in pressione di grossi quantitativi di liquidi (tipicamente per gas liquefatti). In questo caso, per realizzare la capacità totale di immagazzinamento necessaria sono spesso necessari più serbatoi, che vengono disposti raggruppati insieme, affiancati, come mostra la figura 20.



Figura 20

Serbatoi sferici

I serbatoi sferici vengono utilizzati per immagazzinare quantitativi medi di liquido a pressione piuttosto elevata. In linea generale, non è conveniente utilizzare la forma sferica per un serbatoio, dato il volume modesto disponibile a parità di ingombro ed i maggiori costi di lavorazione (la lamiera va calandrata per curvarla in due direzioni, e non in una sola come per i serbatoi cilindrici). Tuttavia, la forma sferica è anche quella che presenta la minore superficie esterna a parità di volume, e ciò può essere vantaggioso quando si voglia minimizzare lo scambio di calore con l'ambiente esterno, come accade, per esempio, con liquidi con punto di ebollizione inferiore alla temperatura ambiente. Inoltre, a parità di diametro, la forma sferica resiste meglio alla pressione di quella cilindrica, consentendo di dimezzare lo spessore della parete.

Come mostra la figura 21 le sfere sono sostenute mediante pilastri che arrivano nella zona equatoriale del serbatoio: i pilastri poggiano su piastre di rinforzo.

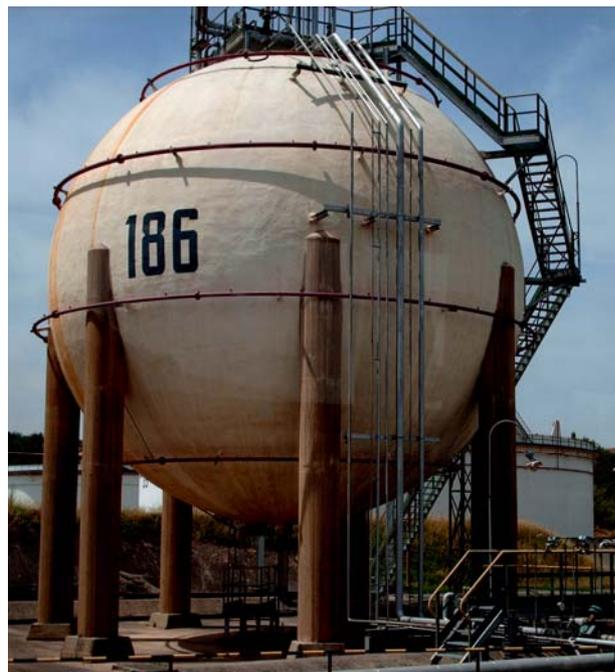


Figura 21

I serbatoi sferici trovano soprattutto impiego principalmente per immagazzinare gas liquefatti a pressione o, più raramente, a bassa temperatura, come GPL o ammoniacca.

Serbatoi per liquidi criogenici

In molti casi può risultare conveniente immagazzinare allo stato liquido prodotti che sarebbero gassosi in condizioni di pressione e temperatura ambiente. Infatti, nella liquefazione si ha un notevole aumento di densità, che consente di immagazzinare maggiori quantitativi di prodotto a parità di volume. Per i prodotti gassosi caratterizzati da una temperatura critica prossima o superiore a quella ambiente, come GPL, cloro o ammoniacca, la liquefazione può essere effettuata a temperatura ambiente, aumentando la pressione, o a pressione atmosferica, riducendo la temperatura (e con qualunque combinazione intermedia tra queste condizioni). I prodotti gassosi con temperatura critica inferiore a quella ambiente, come azoto, ossigeno, idrogeno, metano, etilene, ecc., detti generalmente "incondensabili" vengono invece liquefatti a bassa temperatura e conservati come liquidi a pressione atmosferica.

La tabella seguente riporta temperatura critica, pressione critica e punto di ebollizione a pressione atmosferica per alcuni prodotti gassosi di questo tipo [10].

Prodotto	T _{critica} (°C)	P _{critica} (atm)	T _{ebollizione} (°C)
Ossigeno	-118.8	33.5	-183.0
Idrogeno	-147.1	49.7	-195.8
Azoto	-239.9	12.8	-252.7
Elio	-267.9	2.26	-268.9
Metano	-82.5	45.8	-161.4
Etilene	+9.7	50.5	-103.9

Lo stoccaggio in questo caso viene effettuato a temperatura molto bassa e, affinché sia mantenuta la pressione atmosferica, occorre che ci sia contatto diretto tra il liquido e l'atmosfera. Data la temperatura di stoccaggio, molto più bassa di quella ambiente, è inevitabile lo scambio di calore con l'esterno, che comporta una continua evaporazione del liquido; il vapore deve essere immediatamente smaltito per evitare che la pressione interna aumenti. Esso viene quindi sfiato in atmosfera, eventualmente convogliando o trattando gli sfiati, se pericolosi, senza essere recuperato, poiché una sua ricondensazione non è generalmente conveniente. La perdita per evaporazione si aggira generalmente tra il 2 ed il 5% del prodotto nel serbatoio ogni 24 ore. Per limitare questa perdita occorre ridurre il più possibile lo scambio di calore tra il serbatoio e l'ambiente esterno, il che viene generalmente ottenuto utilizzando recipienti a doppia parete e creando il vuoto tra le due pareti (principio dei vasi Dewar) o riempiendo l'intercapedine con materiali isolanti adatti alle basse temperature.

Tra le varie forme di isolamento utilizzate ci sono quella a strati multipli e quella mediante polveri. L'isolamento a strati multipli prevede che lo spazio tra le pareti del recipiente interno ed esterno sia riempito con il materiale ottenuto stratificando fogli sottili di materiale riflettente (ad esempio alluminio) separati tra loro da distanziatori o da un isolamento, creando successivamente un vuoto spinto. Il meccanismo di scambio del calore per conduzione è minimizzato dall'isolamento e dall'assenza di gas (ciò minimizza anche lo scambio per convezione) e lo scambio per irraggiamento è

minimizzato dalla presenza dei fogli riflettenti. Il sistema con polveri prevede che l'intercapedine sia riempita con polveri di isolanti, come perlite, silice porosa, silicato di calcio, terra di diatomee, ecc. Inoltre viene creato un vuoto parziale per ridurre ulteriormente lo scambio termico per conduzione e convezione da parte del gas interstiziale. Il sistema a polveri è più economico e si utilizza per temperature fino a -200°C . Anche la superficie del recipiente esterno è rivestita mediante isolanti, quali schiume rigide costituite da resine polistiroliche o poliuretatiche espanse.

I recipienti utilizzati sono normalmente cilindrici ad asse verticale, come mostra la Figura 22, ed occorre prestare particolare attenzione ai materiali da costruzione, poiché molti metalli divengono fragili a bassa temperatura. Si possono utilizzare, ad esempio, acciaio al nichel, acciaio inossidabile, rame, alluminio e loro leghe. Per il recipiente esterno non sussistono problemi particolari legati ai materiali da costruzione, purché si garantisca che non venga a contatto con il liquido a bassa temperatura.



Figura 22

STOCCAGGIO DI GAS

I prodotti gassosi vanno conservati in recipienti chiusi: dipendentemente dai quantitativi immagazzinati e dalla pressione di stoccaggio si utilizzano serbatoi, gasometri e bombole. I serbatoi sono utilizzati quando si desidera realizzare l'immagazzinamento di gas in pressione: questo risulta generalmente conveniente in quanto all'aumentare della pressione aumenta anche la densità del gas ed è quindi possibile stoccare un quantitativo maggiore di gas a parità di volume. I gasometri sono utilizzati per immagazzinare grossi quantitativi di gas a bassa pressione, mentre le bombole sono utilizzate per piccoli quantitativi di gas immagazzinati a pressione molto elevata.

Serbatoi per gas

Gran parte dei gas utilizzati nell'industria di processo sono immagazzinati in serbatoi in pressione. I serbatoi utilizzati a questo scopo non differiscono da quelli utilizzati per i liquidi pressurizzati e rientrano quindi nelle categorie di quelli cilindrici con fondi bombati, ad asse verticale od orizzontale e quelli sferici.

Gasometri

I gasometri consentono l'immagazzinamento a pressione atmosferica di grossi quantitativi di gas (fino a $400\,000\text{ m}^3$) e sono utilizzati prevalentemente a scopi civili,

come la distribuzione del gas in città. Affinché la pressione di esercizio sia mantenuta al valore atmosferico è necessario che la capacità di stoccaggio del gasometro vari in funzione della quantità di gas contenuto.

Le tipologie principali di gasometri sono quelli a campana, a telescopio ed a secco. Il gasometro a campana è costituito da una vasca piena d'acqua su cui è posta una campana rovesciata. L'immersione della campana è controbilanciata dalla pressione del gas, per cui quando il gas entra nel gasometro la campana si solleva, per abbassarsi quando esso esce. Nel tipo a telescopio la campana è circondata da anelli concentrici che, scorrendo l'uno rispetto all'altro consentendo di variare il volume di gas all'interno. Nel gasometro a secco il tetto scorre all'interno del gasometro in funzione del volume di gas al suo interno. Per un corretto funzionamento dei gasometri ad umido (a campana ed a telescopio) occorre assicurarsi che l'acqua non ghiacci nei periodi invernali, eventualmente predisponendo un riscaldamento nella vasca; inoltre il vapore d'acqua può inquinare il gas.

Bombole]

Le bombole sono piccoli recipienti cilindrici, a parete spessa, in cui il gas viene immagazzinato a pressione elevata. I quantitativi stoccati sono generalmente modesti, per cui si utilizzano per prodotti consumati in piccoli quantitativi (ad esempio utilizzati per analisi, ecc.). Esistono codici di colore (riportati in figura 23) con cui viene contrassegnata l'ogiva della bombola per individuarne a prima vista il contenuto.

TIPO DI PERICOLO	VECCHIA COLORAZIONE	NUOVA COLORAZIONE
inerte	 alluminio	 brillante verde
infiammabile	 alluminio	 rosso
ossidante	 alluminio	 chiaro blu
tossico e/o corrosivo	 giallo	 giallo
tossico e infiammabile	 giallo	 giallo+rosso
tossico o ossidante	 giallo	 giallo+blu chiaro

TIPO DI GAS	VECCHIA COLORAZIONE	NUOVA COLORAZIONE
aria ad uso industriale	 bianco+nero	 brillante verde
aria respirabile	 bianco+nero	 bianco+nero
miscela elio-ossigeno ad uso respiratorio	 alluminio	 bianco+marrone

TIPO DI GAS	VECCHIA COLORAZIONE	NUOVA COLORAZIONE
acetilene C ₂ H ₂	 arancione	 rossiccio marrone
ammoniaca NH ₃	 verde	 giallo
argon Ar	 amaranto	 scuro verde
azoto N ₂	 nero	 nero
biossido di carbonio CO ₂	 chiaro	 grigio
cloro Cl ₂	 giallo	 giallo
He	 marrone	 marrone
idrogeno H ₂	 rosso	 rosso
ossigeno O ₂	 bianco	 bianco
protossido d'azoto N ₂ O	 blu	 blu

Figura 23

Le bombole sono spesso raggruppate in pacchi bombolai, come mostra la Figura 24



Figura 24

STOCCAGGIO DI SOLIDI

Nello stoccaggio di solidi occorre tenere conto di varie caratteristiche del prodotto che come prima cosa, può essere sfuso o confezionato. Limitando l'analisi ai prodotti sfusi, occorre inoltre tenere conto delle dimensioni del solido, che possono andare da blocchi di grossa pezzatura a polvere fine, della sua deperibilità, e delle caratteristiche chimico-fisiche, come densità, durezza, scorrevolezza, abrasività, ecc.

I sistemi di stoccaggio più comunemente utilizzati per i solidi sono:

- Stoccaggio in mucchio: si utilizza per grossi quantitativi di materiale sfuso scarsamente deperibile che viene immagazzinato all'aperto o dentro a capannoni. Il solido sfuso assume la forma di materiale in mucchio o cumulo (Figura 25a).

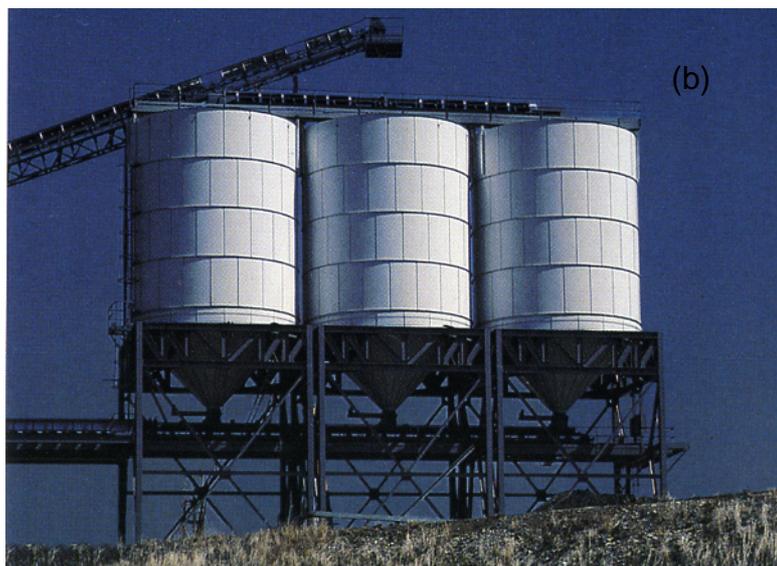


Figura 25

- Stoccaggio in sili: utilizzato per materiale sfuso deperibile. Il materiale viene mantenuto entro un recipiente ad asse verticale metallico, di sezione circolare, o in calcestruzzo, a sezione poligonale. Il recipiente presenta generalmente un rapporto altezza/diametro compreso tra 1.5 e 4, ha un tetto piano o lievemente bombato ed un fondo (tramoggia) conico o piramidale. La forma del fondo facilita la fuoriuscita del solido e la tramoggia è sopraelevata rispetto al terreno di un'altezza variabile dipendentemente dal mezzo utilizzato per movimentare il solido (autocarro, sistema di trasporto pneumatico, nastro trasportatore, ecc.). Il silo, se metallico, è sostenuto mediante zampe, attaccate immediatamente al di sopra della tramoggia. Per grosse esigenze di stoccaggio si possono raggruppare più sili in batterie (vedi figura 25b).
- Stoccaggio in magazzini: si utilizza prevalentemente per prodotti confezionati (sacchi, cartoni, fusti, casse, ecc.).

SICUREZZA NELLE OPERAZIONI SU SERBATOI

Molte operazioni di revisione periodica e di manutenzione richiedono di lavorare all'interno di serbatoi. Queste operazioni presentano vari pericoli [2]:

- Presenza di sostanze nocive e/o infiammabili causata da:
 - inadeguato isolamento del serbatoio rispetto all'impianto
 - bonifica inadeguata
 - sviluppo di gas o vapori durante operazioni di saldatura, rimozione delle incrostazioni, verniciatura, sgrassatura, pulizia, ecc.
- Carenza di ossigeno causata da:
 - presenza di gas inerti (ad esempio quelli utilizzati per la bonifica del serbatoio)
 - consumo di ossigeno in reazioni ossidative (ad esempio nelle saldature)
 - sviluppo di anidride carbonica (ad esempio a causa di processi di fermentazione o per la respirazione degli operai all'interno)
- Pericoli generici, quali:
 - presenza di parti mobili (ad esempio agitatori) che possono avviarsi improvvisamente
 - presenza di fonti di elettricità
 - presenza di elettricità statica
 - cattivo stato di manutenzione di scalette, appigli, ecc.

Per minimizzare questi rischi occorre mettere in sicurezza il serbatoio prima di consentire le lavorazioni al suo interno. A tale scopo, in linea generale, occorre:

- Escludere il serbatoio dall'impianto. Ciò comporta l'intercettazione di tutte le tubazioni in ingresso e in uscita, utilizzando flange cieche, e l'esclusione di tutti i servizi del serbatoio (ad esempio, elettricità, acqua di raffreddamento, vapore, ecc.)
- Delimitare la zona di lavoro in modo da evitare l'accesso al personale non addetto.
- Predisporre le strutture di appoggio, come ponteggi, impalcature, scale, argani, ecc.
- Svuotare il serbatoio in modo da espellere la maggior parte del contenuto. Nel corso di questa operazione si deve porre attenzione al fatto che il serbatoio, se perfettamente chiuso, può andare sotto vuoto, con rischi per la sua resistenza meccanica. Per evitare che il recipiente vada in depressione si può immettere aria, se il fluido all'interno non è infiammabile, oppure gas inerti o vapor d'acqua, se il fluido all'interno è infiammabile
- Bonificare il serbatoio, ossia eliminare i residui di sostanze (anche solo gassose)

che restano nel serbatoio dopo che esso è stato svuotato. La bonifica può essere effettuata per:

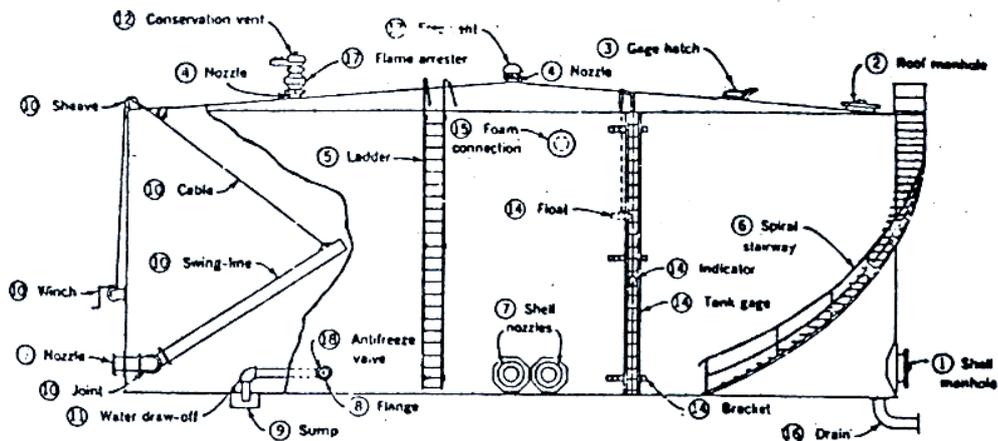
- *lavaggio*, riempiendo con acqua il serbatoio e svuotandolo una o più volte. Eventualmente si possono aggiungere all'acqua dei detergenti. Occorre prestare attenzione a provvedere un collegamento che assicuri continuità elettrica tra l'ugello metallico di immissione dell'acqua ed il serbatoio, collegato a terra, per evitare scariche elettrostatiche. L'acqua non si può utilizzare se danneggia il serbatoio o se ci sono problemi di smaltimento dell'acqua di lavaggio contenente quantitativi del prodotto stoccato.
 - *neutralizzazione*, in alternativa al lavaggio, per neutralizzare le caratteristiche pericolose dei prodotti (ad esempio si possono neutralizzare i cianuri con ipocloriti)
 - *ventilazione*, per eliminare dal serbatoio residui gassosi. Si invia nella parte bassa del serbatoio un gas, che viene recuperato dall'alto e trascina i gas o vapori di prodotto presenti. La ventilazione termina quando la concentrazione del prodotto nella corrente uscente è inferiore a quella ammissibile. Come gas si utilizza aria, se il prodotto non è infiammabile o gas inerti (ad esempio azoto) se il prodotto è infiammabile. La ventilazione può seguire il lavaggio.
- Smaltire gli scarichi di bonifica. Per gli scarichi liquidi si procede mediante neutralizzazione, diluizione, decantazione, ecc.; per gli scarichi gassosi mediante abbattimento per assorbimento, neutralizzazione o lavaggio, per diluizione o bruciandoli in torcia; per gli scarichi solidi mediante incenerimento oppure dissoluzione e diluizione.
 - Bloccare le parti mobili per evitare che si mettano in moto in modo accidentale. I comandi elettrici vanno bloccati, eventualmente asportando i fusibili.
 - Mettere a terra il serbatoio per evitare che si formi elettricità statica.
 - Effettuare i controlli ambientali nel serbatoio, per garantire che non vi siano sostanze nocive e che vi sia ossigeno a sufficienza
 - Dotare gli operatori di attrezzature adeguate. Dipendentemente dai casi gli operatori dovranno essere dotati di idonei indumenti protettivi (tute, guanti, scarpe), elmetti, occhiali e visiere, cinture di sicurezza, maschere antigas, autorespiratori, ecc., nonché di attrezzi elettrici dotati di messa a terra
 - Predisporre sorveglianza esterna per interventi di recupero e di pronto soccorso in caso di incidente.

ACCESSORI DEI SERBATOI

I serbatoi sono muniti di un certo numero di accessori (vedi figura 26) che ne consentono un funzionamento corretto: questi accessori possono essere suddivisi tra quelli necessari per l'esercizio del serbatoio, quelli utilizzati per le ispezioni e quelli a fini di sicurezza. Le prime due classi di accessori saranno trattate in questo paragrafo, mentre l'ultima sarà oggetto del prossimo paragrafo.

Accessori per l'esercizio del serbatoio

Gli accessori utilizzati a tale scopo sono principalmente quelli necessari a controllare la quantità e la qualità del prodotto contenuto all'interno, a cui si affiancano quelli necessari a collegare e scollegare il serbatoio a tubazioni ed altre apparecchiature.



- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1) Passo d'uomo sul mantello | 9) Pozzetto di raccolta |
| 2) Passo d'uomo sul tetto | 10) Tubo di prelievo oscillante |
| 3) Presa campione | 11) Tubo di aspirazione dell'acqua |
| 4) Bocchelli | 12) Valvola di respirazione |
| 5) Scaletta verticale | 13) Sfiato libero |
| 6) Scala spirale | 14) Indicatore di livello a galleggianti |
| 7) Bocchelli sul mantello | 15) Ingresso spumogeno |
| 8) Bocchello per l'uscita dell'acqua | 16) Drenaggio |
| | 17) Arrestatore di fiamma |
| | 18) Valvola per l'introduzione di liquidi anticongelante |

Figura 26 [10]

Si utilizzano quindi:

- Indicatori di livello, per misurare la quantità di liquido presente, ovvero indicatori di pressione, nel caso di gas
- Bocchelli per il prelievo di campioni, del diametro di circa 150 mm e chiusi con un coperchio o una flangia cieca.
- Valvole di intercettazione, che consentono di isolare il serbatoio rispetto al resto dell'impianto

Altri dispositivi, che possono essere presenti in alcuni casi, sono:

- Valvole di drenaggio, poste sul fondo, per spurgare sostanze indesiderate che si accumulano sul fondo del serbatoio (ad esempio acqua, in un serbatoio per idrocarburi)
- Dispositivi di scambio termico, ad esempio serpentine (tubi avvolti a spirale) in cui passi un fluido in grado di riscaldare (o più raramente raffreddare) il prodotto contenuto nel serbatoio. Tali dispositivi, percorsi da un fluido caldo, sono utilizzati, ad esempio, per ridurre la viscosità di oli combustibili.
- Dispositivi di agitazione e miscelazione, per mantenere in sospensione solidi, o ben

mescolate miscele.

- Dispositivi per la ricompressione e liquefazione dei vapori che possono svilupparsi, che si utilizzano per serbatoi di gas liquefatti in cui il calore proveniente dall'ambiente provoca una consistente evaporazione del prodotto.

Accessori per le ispezioni al serbatoio

Per consentire l'accesso alle varie zone del serbatoio esso è provvisto di scalette e passerelle. Per serbatoi di altezza modesta, fino a 8-10 m, si utilizzano scalette alla marinara, mentre per i serbatoi più grandi si utilizzano scalette elicoidali. Per serbatoi cilindrici ad asse orizzontale montati in batterie si possono utilizzare passerelle e scalette in comune a più serbatoi.

Il serbatoio è fornito di "passi d'uomo", che sono dei bocchelli, del diametro di 500 mm, chiusi da coperchi piani, attraverso cui è possibile introdursi nel serbatoio per effettuare operazioni di manutenzione.

ACCESSORI DI SICUREZZA DEI SERBATOI

Bacini di contenimento

I bacini di contenimento (figura 27) vengono utilizzati negli stoccaggi di liquidi infiammabili, per stoccaggi refrigerati di gas liquefatti infiammabili ma, generalmente, non per lo stoccaggio di gas liquefatti in pressione.



Figura 27

La capacità di contenimento del bacino varia spesso tra il 50% ed il 110% della capacità nominale del recipiente protetto e la parete del bacino non deve superare 1.5-2 m di altezza. Nello stabilire l'altezza della parete occorre anche tener presente che in caso di fuoriuscita massiccia di prodotto si può avere una specie di "onda" liquida dinamica che non deve comunque scavalcarne il bordo. In alcuni casi si possono utilizzare pareti di contenimento alte da metà a due terzi dell'altezza del recipiente e poste a 7-8 m di distanza da esso o pareti alte quanto il recipiente poste a 3 m o meno di distanza da esso. Maggiore è l'altezza della parete di contenimento, e quindi il livello del liquido in

caso di fuoriuscita, e minore risulta la superficie di liquido da cui avviene la vaporizzazione. Il bacino viene spesso realizzato in cemento, che è un materiale con bassa conducibilità termica e che riduce quindi la trasmissione di calore dal terreno verso il liquido accumulato ed il tasso di vaporizzazione di quest'ultimo.

Parafulmini

Questi dispositivi sono indispensabili in tutti i serbatoi che contengono materiali infiammabili, poiché le pareti del metalliche del recipiente possono presentare cariche elettrostatiche e quindi attirare i fulmini.

Arrestatori di fiamma

Gli arrestatori di fiamma sono dei dispositivi utilizzati per evitare il passaggio di una fiamma lungo un tubo o un condotto. Il principio di funzionamento è quello di creare un insieme di passaggi angusti, in cui possa fluire il gas o il vapore, ma non la fiamma [5]. Le tipologie principali di arrestatori di fiamma, mostrati in figura 27, prevedono l'utilizzo di lastre metalliche perforate, blocchi metallici perforati, nastri con maglie metalliche corrugate avvolti o camere provviste di riempimenti in materiale ceramico. Le proprietà di un buon arrestatore di fiamma prevedono una superficie di passaggio ampia, bassa resistenza flusso e bassa tendenza ad intasarsi e bloccarsi.

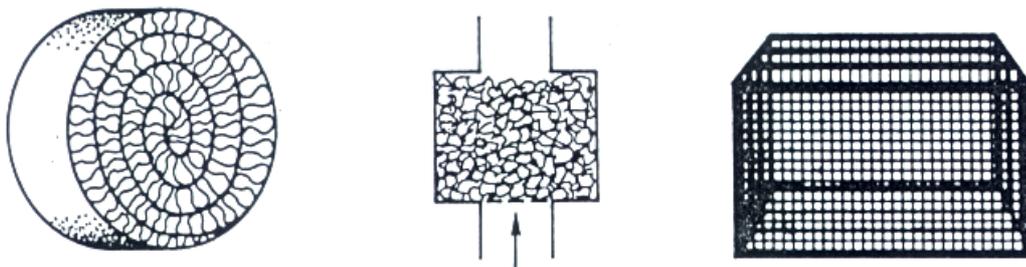


Figura 28 [5]

Gli arrestatori di fiamma sono in grado di bloccare fiamme con velocità intorno a 3-60 m/s, tipiche delle deflagrazioni, ma non le fiamme di una detonazione, che viaggiano a circa 2 000 m/s. La loro applicazione tipica è sugli sfiati dei serbatoi di stoccaggio e su sistemi di tubazioni che convogliano gas infiammabili ad altre parti di impianto, a bruciatori o in torcia.

Dischi di scoppio

Un disco di scoppio è un disco metallico, posto nel condotto di sfiato dell'apparecchio, che impedisce la fuoriuscita del prodotto ma che è predisposto per cedere ad un valore prefissato di pressione, rendendo disponibile l'intera sezione del condotto per sfogare la pressione. Un disco di scoppio si usa soprattutto quando la pressione può salire molto rapidamente o quando si teme che la valvola di sicurezza si possa bloccare [5].

Il disco presenta generalmente una bombatura nello stesso senso in cui agisce la pressione (figura 29a), e, in tal caso, il suo spessore è assai sottile (0.05 mm). In alcuni casi si usano dischi di scoppio con la bombatura opposta al senso di azione della pressione (figura 29b), oppure di spessore maggiore ma con delle incisioni che ne riducono la resistenza (figura 29 c). Per i dischi di scoppio viene generalmente definito un campo di pressioni di scoppio, che, in ogni caso, deve essere inferiore alla pressione di progetto dell'apparecchio.

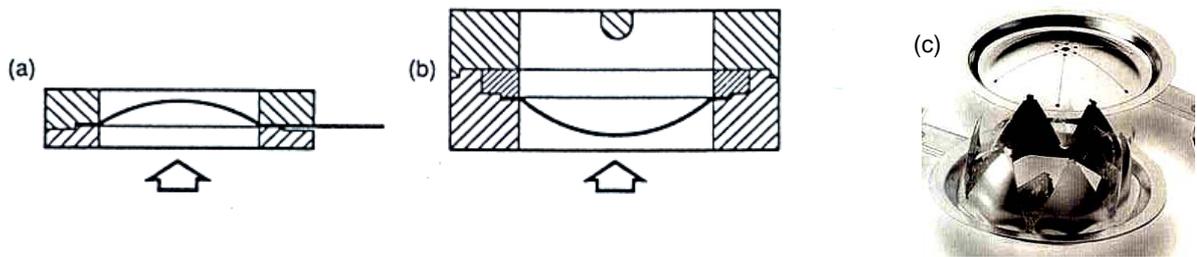


Figura 29

Nell'installazione va considerato se è accettabile la perdita del contenuto del recipiente protetto e se è possibile arrestare l'impianto per sostituire il disco. Se la prima condizione è accettabile e la seconda no si possono installare due dischi di scoppio in serie; altrimenti va installato un disco di scoppio in serie con una valvola di sicurezza. In entrambi i casi si può usare un singolo disco di scoppio o due dischi in serie dipendentemente dall'aggressività del fluido. Quando si usa un disco di scoppio in serie con una valvola di sicurezza, la disposizione del disco di scoppio può essere a monte o a valle della valvola, o su entrambe le estremità, dipendentemente dall'aggressività dei fluidi a monte e a valle. Tipiche disposizioni dei dischi di scoppio, soli o accoppiati a valvole di sicurezza, sono mostrate in figura 30.

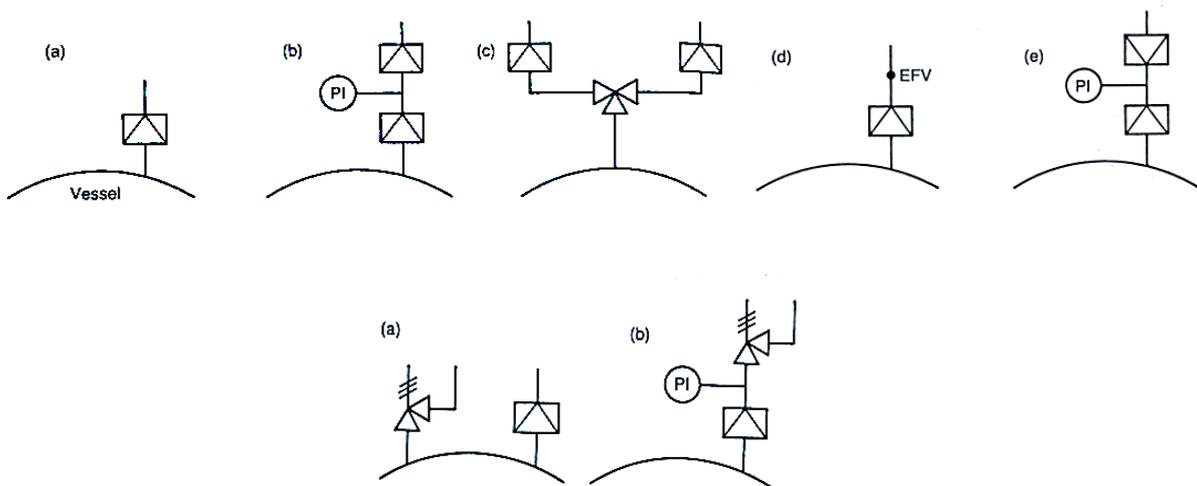


Figura 30 [5]

Valvole di sicurezza

Una valvola di sicurezza è una valvola dotata di una molla (figura 31a) o di un contrappeso (figura 31b) tarata in modo da aprirsi ad un valore prestabilito di pressione interna. Il grado di apertura della valvola è proporzionale alla pressione e la valvola può sfiatare direttamente all'atmosfera (figura 32), o in un condotto di raccolta degli sfiati.

In quest'ultimo caso, occorre prestare attenzione alla possibilità che nel condotto sia presente una contropressione che può ostacolare la fuoriuscita dalla valvola.

L'installazione e le caratteristiche delle valvole di sicurezza sono fissate dalle normative.

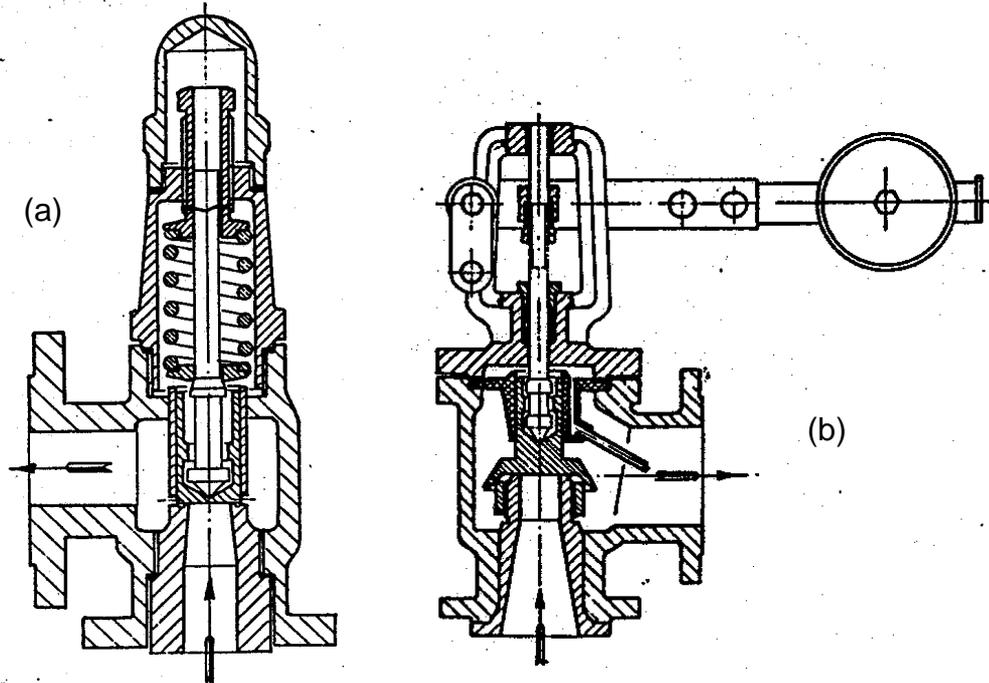


Figura 31 [11]



Figura 32

Più recipienti collegati tra loro da tubazioni prive di valvole possono essere protette da un'unica valvola di sicurezza, mentre nel caso di recipienti suddivisi in più compartimenti, ogni compartimento deve essere protetto da un suo dispositivo. Una valvola di sicurezza va pure installata in un tratto di tubazione isolato tra due valvole, che può andare in pressione in caso di incendio.

La pressione di apertura della valvola di sicurezza viene fissata in base alle condizioni operative dell'apparecchio su cui essa è posta e, in ogni caso, non può essere superiore alla pressione di progetto del recipiente. La massima sovrappressione che si può generare nel sistema mentre la valvola sta sfogando è il 110% di quella di progetto.

Nel dimensionamento della sezione di passaggio occorre tenere conto della portata che occorre smaltire in caso di problemi operativi (condizioni operative anomale) e della portata da smaltire in caso di incendio. È possibile prevedere due valvole distinte per la protezione dell'apparecchio in condizioni operative anomale e in caso di incendio o affidare entrambi questi compiti ad una sola valvola. Le valvole installate ai soli fini di protezione da sovrappressione generata da incendi si aprono quando la pressione raggiunge il valore pari al 105% (o al 110%) della pressione di progetto. La massima sovrappressione mentre la valvola sta sfogando è pari al 110% (o al 120%) di quella di progetto. Quando invece si usa una sola valvola di sicurezza per assicurare la protezione dalla sovrappressione in condizioni operative anomale e/o incendio la valvola si deve aprire in corrispondenza della pressione di progetto e la portata massima da smaltire è il valore maggiore tra quella in condizioni operative anomale e in caso di incendio.

Criteri di dimensionamento delle valvole di sicurezza

Si considera che fluisca gas o vapore in condizioni di efflusso critico

$$W = \frac{K \cdot A \cdot p \cdot (M/T)^{0.5}}{C}$$

dove

A = sezione di passaggio (m²)

C = parametro, pari a 133 se il rapporto dei calori specifici a pressione volume costante è pari ad 1.4

K = coefficiente di efflusso, variabile tra 0.25-0.97 (il valore è fornito dal costruttore)

M = peso molecolare (kg/kmol)

p = sovrappressione (Pa): molto spesso è pari al 110% della pressione di progetto

T = temperatura assoluta all'ingresso della valvola (K)

W = portata effluente (kg/s)

Condizioni operative anomale

La portata da smaltire per la depressurizzazione del recipiente protetto dipende dalla condizione operativa anomala che causa l'aumento della pressione.

Se il recipiente è alimentato da una pompa, la portata da smaltire è quella massima che può trattare la pompa, a valvola di aspirazione aperta, con lo scarico bloccato. In una colonna di distillazione la pressurizzazione può derivare da un aumento nel calore ricevuto al ribollitore (ad esempio per variazione del salto termico), da una riduzione del calore smaltito al condensatore, da una riduzione della portata del riflusso liquido, ecc. La portata da smaltire viene valutata in base alla peggiore combinazione che si può effettivamente presentare. In caso di guasto di qualche componente del circuito (loop) di controllo, come l'elemento di misura, il controllore, la valvola o il suo attuatore, occorre porsi nel caso peggiore, ossia assumendo che la valvola di controllo e quelle di by-pass siano tutte aperte. Quando è installata una turbina, in caso di suo malfunzionamento, i componenti a valle possono trovarsi alla pressione che c'è a monte della turbina, poiché essa oppone una scarsa resistenza al flusso. La portata da smaltire è quindi quella che passa a turbina ferma con la valvola di by-pass completamente aperta. In uno scambiatore di calore a fascio tubiero ci possono essere problemi in caso di rottura di un tubo in cui passi un fluido ad alta pressione: in questo caso il fluido finisce lato mantello e la portata da smaltire è circa doppia rispetto a quella

che passa nel tubo. Nelle operazioni discontinue occorre considerare le possibili sequenze anomale e le loro combinazioni peggiori.

Protezione dagli incendi

Anche se il rilascio della sovrappressione in caso di malfunzionamenti operativi è più probabile di quello in caso di incendio quest'ultimo dà luogo di solito a maggiori portate da smaltire. Le portate effluenti in caso di incendio dipendono essenzialmente dalla superficie esposta al fuoco e aumentano se ci sono recipienti o serbatoi raggruppati.

L'assorbimento di calore da parte di un recipiente esposto al fuoco è dato dalla [5]:

$$Q = 43.2 F A^{0.82}$$

dove

A = superficie totale bagnata dal liquido (m²)

F = fattore ambientale, pari a 1 per metallo nudo ed a 0.3-0.075 in presenza di coibentazione

Q = calore assorbito (kW)

La presenza di un dispositivo di rilascio della sovrappressione (disco di scoppio o valvola di sicurezza) non garantisce tuttavia la protezione completa contro gli incendi. Infatti, la superficie del recipiente che non è bagnata dal liquido si può surriscaldare e cedere (ad esempio nell'esplosione BLEVE) anche se la pressione nel recipiente non è aumentata in modo significativo.

In aggiunta ai dispositivi di protezione contro la sovrappressione, per una protezione antincendio si può agire:

- depressurizzando, ossia attraverso la rimozione di parte del contenuto del recipiente;
- provvedendo il recipiente con un rivestimento resistente alla fiamma;
- installando un sistema di spray d'acqua per refrigerare il recipiente.

PROBLEMATICHE DI SICUREZZA DEGLI STOCCAGGI PER FLUIDI

Condizioni di stoccaggio

Le condizioni prevalenti di stoccaggio utilizzate nell'industria di processo per gas e liquidi sono [5]:

- Stoccaggio atmosferico: liquidi a pressione e temperatura atmosferica;
- Stoccaggio pressurizzato: gas liquefatto in pressione a temperatura atmosferica;
- Stoccaggio refrigerato in pressione e semirefrigerato: gas liquefatto in pressione e a bassa temperatura;
- Stoccaggio refrigerato: gas liquefatto a pressione atmosferica e a bassa temperatura;
- Stoccaggio di gas in pressione.

Una perdita di liquido volatile da uno stoccaggio atmosferico comporta solo una evaporazione del liquido fuoriuscito, relativamente lenta. Una perdita di un gas liquefatto da uno stoccaggio refrigerato a pressione atmosferica provoca una vaporizzazione iniziale, seguita da un'evaporazione del liquido, che procede più velocemente che nel caso precedente. Una perdita di gas liquefatto da uno stoccaggio pressurizzato comporta la vaporizzazione di una grossa quantità di prodotto, seguita da

un'evaporazione più lenta del residuo, se ve ne rimane. Infatti, le modalità di vaporizzazione, molto rapide, comportano spesso la formazione di un aerosol e il liquido trascinato è all'incirca in quantità pari a quello che subisce il flash iniziale. Il pericolo di uno stoccaggio di gas in pressione è inferiore che per un gas liquefatto, per il minore quantitativo di materiale coinvolto, ma vi possono essere problemi nel caso di una esplosione confinata, dato l'elevata quantità di energia di pressione coinvolta.

Pericoli dei serbatoi

Il cedimento catastrofico di un serbatoio di stoccaggio si verifica molto raramente: una delle cause può essere quella di una pressurizzazione del serbatoio per sovrariempimento, o riempimento troppo rapido, o una depressurizzazione, in caso di svuotamento troppo rapido.

La causa più frequente di fuoriuscita di prodotto è la perdita da tubazioni o accessori, soprattutto attacchi flangiati e valvole. Un'altra causa può essere l'esplosione del serbatoio, dovuta a sovrappressione, innesco di una miscela infiammabile, sviluppo di gas per effetto di una reazione dovuta alla presenza di impurezze o altro, oppure una reazione "fuggitiva".

Durante il funzionamento, la causa più frequente di fuoriuscite di prodotto è il sovrariempimento del serbatoio, dovuta ad errori operativi o guasti della strumentazione. Altri problemi possono presentarsi durante le manutenzioni, ad esempio se viene inviato fluido in sistemi non isolati.

Eventi accidentali, come la caduta di carichi, impatti con attrezzature pesanti (gru, veicoli), come pure frammenti scagliati da un'esplosione di recipienti vicini, possono pure causare danni ai serbatoi. Altri eventi pericolosi sono i terremoti, le inondazioni, le tempeste di vento, ecc.

Rischio negli stoccaggi

Il rischio nell'industria di processo deriva da stoccaggi, unità operative e trasporto, ed i dati storici, come visto nel capitolo precedente, mostrano che il contributo delle aree di stoccaggio è assai consistente. In generale, nonostante i quantitativi di materiale coinvolti siano maggiori nel caso degli stoccaggi, sono le aree operative ad avere le condizioni più critiche, e quindi a dare origine ad incidenti più gravi.

Stoccaggio di prodotti petroliferi

Si utilizzano principalmente serbatoi atmosferici, pressurizzati e refrigerati.

I serbatoi atmosferici sono cilindrici, ad asse orizzontale o verticale: i primi hanno capacità modeste, mentre gli altri raggiungono dimensioni rilevanti. I serbatoi verticali a tetto fisso o galleggiante arrivano a 75 m di diametro e 20 m di altezza. Serbatoi fino a circa 55 m³ di volume si possono costruire in officina, mentre quelli più grandi sono costruiti sul posto saldando virole di acciaio.

Nei serbatoi atmosferici si assicura che la pressione sia pari a quella ambiente realizzando un condotto che metta in contatto la zona vapore al di sopra del liquido con l'atmosfera (opportunamente piegato per evitare l'ingresso di acqua piovana) o provvedendo il serbatoio di una valvola di respirazione. In quest'ultimo caso la valvola consente l'oscillazione della pressione tra un massimo pari a circa 50 mm di colonna d'acqua (0.005 atm) in caso di sovrappressione ed un minimo, che è generalmente inferiore a detto valore, in caso di depressione.

Per stoccaggi pressurizzati si usano serbatoi cilindrici ad asse orizzontale, con fondi

curvilinei, o serbatoi sferici, per stoccaggi di dimensioni maggiori. I serbatoi refrigerati sono cilindrici ad asse verticale, con tetto a duomo e fondo piano.

Layout dell'area stoccaggi

Il primo aspetto relativo alla sicurezza nell'area stoccaggi è la segregazione e la separazione dei prodotti. Una distinzione importante riguarda il punto di infiammabilità dei liquidi immagazzinati. È conveniente separare tra loro i prodotti che necessitano di un bacino di contenimento da quelli che non lo richiedono. In generale, i bacini sono previsti per i serbatoi atmosferici e per quelli refrigerati, mentre possono mancare nel caso di serbatoi pressurizzati.

Anche se non è presente un vero e proprio bacino di contenimento, ci può essere un muretto che protegga il serbatoio dagli urti con veicoli. È pure possibile utilizzare un solo bacino di contenimento per più serbatoi, seppure con limiti per la capacità complessiva dei serbatoi che utilizzano il medesimo bacino: 120 000 m³ per gruppi di serbatoi a tetto galleggiante, 60 000 m³ per gruppi di serbatoi a tetto fisso, ecc. La capacità del bacino deve essere tale da contenere il liquido fuoriuscito dal serbatoio più grande presente nel gruppo. L'altezza del bacino di contenimento non deve di norma superare 1.5 m per assicurare una buona ventilazione, l'accesso in caso di incendio e non essere di ostacolo in caso di fuga. Ci può essere un drenaggio per allontanare dal bacino l'acqua piovana.

Per quanto riguarda il distanziamento tra i serbatoi esso dipende dalle dimensioni e dal tipo dei serbatoi e dalle caratteristiche dei prodotti. Esistono tabelle, come quelle seguenti, che forniscono delle indicazioni sulle distanze da adottare [5].

Serbatoi a tetto fisso

Fattore	Distanza minima di separazione (m)
Tra gruppi di piccoli serbatoi*	15
Tra un gruppo di piccoli serbatoi e qualsiasi altro serbatoio non appartenente al gruppo	15
Tra serbatoi che non fanno parte di un gruppo di piccoli serbatoi	La minima distanza tra: metà del diametro del serbatoio più grande, oppure il diametro del serbatoio più piccolo, oppure 15 m, ma mai meno di 10 m
Tra un serbatoio e un punto di riempimento, o edificio, non contenente fonti di innesco	15
Tra un serbatoio ed i confini esterni dell'installazione, o qualsiasi area non pericolosa o qualsiasi fonte di innesco fissa	15

* un gruppo di piccoli serbatoi, del diametro di 10 o meno, possono essere considerati come un unico serbatoio. Questi piccoli serbatoi possono essere posti in gruppi, di capacità non eccedente 8000 m³. La distanza tra i singoli serbatoi del gruppo dipende da esigenze costruttive e operative, ma non deve essere inferiore a 2 m.

Serbatoi a tetto galleggiante

Fattore	Distanza minima di separazione (m)
Tra due serbatoi a tetto galleggiante	10 m per serbatoi fino a 45 m di diametro, 15 m per serbatoi con diametro superiore a 45 m. Va considerata la dimensione del serbatoio più grande.
Tra un serbatoio a tetto galleggiante ed uno a tetto fisso	La minima distanza tra: metà del diametro del serbatoio più grande, oppure il diametro del serbatoio più piccolo, oppure 15 m, ma mai meno di 10 m
Tra un serbatoio a tetto galleggiante e un punto di riempimento, o edificio, non contenente fonti di innesco	10
Tra un serbatoio a tetto galleggiante ed i confini esterni dell'installazione, o qualsiasi area non pericolosa o qualsiasi fonte di innesco fissa	15

Serbatoi atmosferici per prodotti petroliferi liquidi.

I serbatoi atmosferici a tetto fisso sono collegati all'atmosfera da qualche forma di condotto o da una valvola di respirazione: dato che questi serbatoi non sono in grado di resistere alla pressione, occorre far sì che il condotto che mette in contatto con l'atmosfera, o la valvola di respirazione, non si ostruiscano accidentalmente a causa di sporcizia, formazione di ghiaccio, reazioni di polimerizzazione con formazione di prodotti solidi, ecc. Occorre anche che la sezione del condotto sia sufficiente ad evitare pressurizzazioni o depressurizzazioni eccessive in fase di carico/scarico.

In caso di serbatoi atmosferici per liquidi infiammabili, per evitare problemi di innesco attraverso il condotto con cui il serbatoio è mantenuto a contatto con l'atmosfera, si installano arrestatori di fiamma. L'utilizzo di serbatoi a tetto galleggiante riduce il problema della formazione di miscele infiammabili, ma non lo elimina totalmente.

Prevenzione e protezione

I serbatoi a tetto fisso vanno protetti dall'effetto degli incendi all'esterno del serbatoio, che, riscaldando il liquido, ne aumentano la vaporizzazione e ne innalzano la pressione interna. Per evitare problemi in tal senso si possono installare delle valvole di respirazione aggiuntive, che assicurino un'ampia sezione di sfogo in caso di incendio, provvedere il recipiente con passi d'uomo con i portelli che si sollevino se la pressione supera un certo valore o realizzare di proposito una connessione debole tra tetto e serbatoio. Se si adotta quest'ultimo accorgimento, in caso di pressurizzazione, la giunzione si rompe, scopperchiando il serbatoio, le cui pareti non subiscono danni.

La prevenzione degli incendi in questi stoccaggi si ottiene principalmente attraverso l'inertizzazione, ossia inviando un gas inerte sul pelo libero. La protezione antincendio passa invece attraverso l'utilizzo di un sistema fisso di spray d'acqua o di schiuma, eventualmente coadiuvato da una protezione isolante. Il sistema fisso di spray d'acqua raffredda rapidamente le pareti esposte alla fiamma, evitando che si surriscaldino e cedano per effetto della minore resistenza meccanica del metallo ad alta temperatura. Il loro utilizzo è particolarmente indicato nei casi in cui il personale sia poco e non possa intervenire con sistemi antincendio mobili, quali, ad esempio, cortine d'acqua da interporre tra incendio e serbatoio. Se la superficie metallica non è direttamente lambita dal fuoco, si può utilizzare una portata d'acqua di raffreddamento di 10 litri/m² min.

La schiuma si utilizza di solito per spegnere gli incendi e non per raffreddare: si utilizzano sistemi fissi a schiuma per indirizzare schiuma lungo le pareti interne del serbatoio facendola fluire al di sopra della superficie del liquido. L'estinzione di un incendio mediante schiuma richiede generalmente circa 4.5 litri/m² min.

Occorre tenere presente che un incendio può danneggiare rapidamente le tubazioni di collegamento, che possono cedere anche in 10 minuti. Le tubazioni vanno quindi protette con un isolante a prova di incendio e occorre fare attenzione alla posizione delle giunzioni, per evitare che in caso di perdita si inneschino dei jet fire diretti verso il serbatoio.

Incidenti in stoccaggi atmosferici per prodotti petroliferi liquidi

Le cause di incidenti verificatisi in passato sono state numerose e vanno dal collasso del recipiente dovuto a sovrappressione, depressurizzazione o incendio, ad alcuni casi di fuoriuscita di prodotto dal recipiente. A titolo di esempio, in un incidente occorso nel 1983 su un serbatoio a tetto galleggiante nella raffineria di Milford Haven (USA) contenente 47 000 tonnellate di greggio petrolio, ci furono delle fessurazioni sul tetto

galleggiante da cui fuoriuscì del petrolio. Queste perdite trovarono un innesco, probabilmente nelle ceneri calde provenienti dalla torcia, e ci fu un grave incendio, con tre successive fuoriuscite di petrolio in fiamme, che durò oltre 2 giorni.

Stoccaggi per GPL

Il GPL (gas di petrolio liquefatto) è una miscela di idrocarburi a 3 e 4 atomi di carbonio: il punto di ebollizione della miscela è compreso tra quelli del propano puro (-42°C) e del n-butano (0°C). Ad una temperatura di 38°C, la tensione di vapore varia tra 4.83 e 14.5 atm effettive (sovrapressione rispetto all'atmosfera). Il serbatoio va provvisto di un drenaggio per rimuovere l'acqua che si potrebbe eventualmente accumulare sul fondo.

È prevista l'installazione di strumentazione che non solo protegga l'apparecchio contro la sovrapressione, ma consenta anche di rilevare il livello, per evitare problemi legati a sovrariempimento, e la temperatura, per prevenire valori eccessivamente alti o bassi. Infatti, in caso di bassa temperatura, il recipiente può portarsi sotto vuoto: per evitare questo problema si possono ricircolare vapori caldi di GPL o pressurizzare il recipiente utilizzando bombole.

Stoccaggi pressurizzati

Gli stoccaggi pressurizzati di GPL sono effettuati in serbatoi cilindrici orizzontali o sferici: questi ultimi sono preferiti per quantitativi maggiori. Di solito non si adotta un bacino di contenimento di volume pari a quello del serbatoio, in quanto gran parte del liquido fuoriuscito vaporizza portandosi alla pressione atmosferica, trascinando inoltre altro liquido in forma di aerosol. Generalmente si prevede un muretto di contenimento, alto non più di 0.5 m e posto ad almeno 3 m dal serbatoio, al di là del quale si pongono i giunti e le valvole della tubazione, come mostra la figura 33.

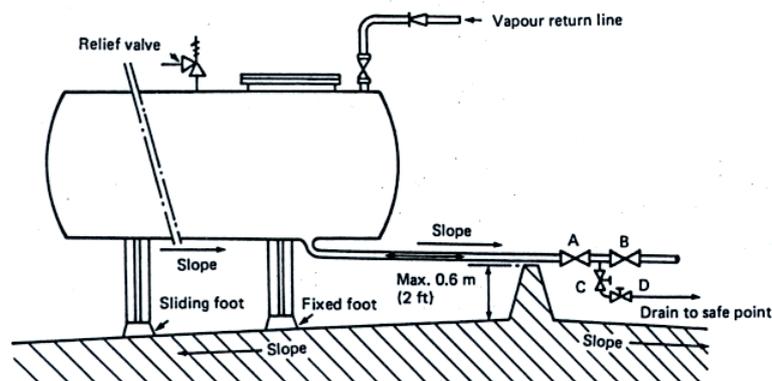


Figura 33 [5]

Si possono prevedere cortine di vapore per evitare il contatto delle perdite con fonti di innesco, pareti a prova di fuoco per proteggere le aree vicine, e cortine d'acqua. Le tubazioni sono preferenzialmente saldate e dotate di valvole a sfera: le valvole di intercettazione devono essere facilmente accessibili e dovrebbero essere provviste di comando remoto in posizione sicura. Solo la tubazione principale di carico/scarico va posta al di sotto del livello del liquido: nel caso di serbatoi orizzontali questa tubazione va collocata all'estremità opposta del serbatoio rispetto allo sfiato. Apparecchiature accessorie, come le pompe, non devono essere poste direttamente sotto al serbatoio.

Per il distanziamento tra i serbatoi si può fare riferimento alle indicazioni della tabella seguente [5].

Tipo di stoccaggio di GPL*	Distanza da serbatoi contenenti infiammabili (m)	Distanza con il perimetro del bacino di contenimento intorno a serbatoi contenenti liquidi infiammabili (m)
Bombole di GPL (capacità > 50 kg)	3 (3)	3 (0)
Serbatoi per GPL	6 (6)	6 (3)

*I valori tra parentesi vanno utilizzati in caso di liquidi con flash point maggiore di 32°C

Prevenzione e protezione

La protezione in caso di incendio comprende una valvola di sicurezza dimensionata a carico di incendio, ossia in grado di smaltire la portata di vapore che si sviluppa in caso di incendio. Si può utilizzare un'unica valvola di sicurezza per provvedere allo sfiato, tanto in caso di problemi operativi che di incendio, o due valvole che, combinate tra loro, smaltiscano la massima portata di vapore prevista. In caso di problemi operativi, lo sfiato della valvola va convogliato in un sistema chiuso, in grado di trattare la portata liquida massima effluente dalla valvola. Per la valvola di sicurezza installata come protezione in caso di incendio è pure preferibile lo scarico in un sistema chiuso, ma se esso non risulta possibile, il prodotto va comunque sfiato tramite un condotto verticale, in grado di assicurare una velocità di uscita del vapore non inferiore a 150 m/s, la cui estremità deve essere almeno 1.8 m al di sopra del serbatoio e a 3 m dal suolo. Per quanto riguarda la protezione antincendio del serbatoio, oltre alla valvola di sicurezza, si adottano le stesse tecniche previste per i serbatoi atmosferici, come spray d'acqua e isolante a prova di incendio. Per prevenire accumuli di liquido occorre provvedere una certa pendenza al di sotto del serbatoio e si può prevedere una valvola di depressurizzazione comandata in postazione remota.

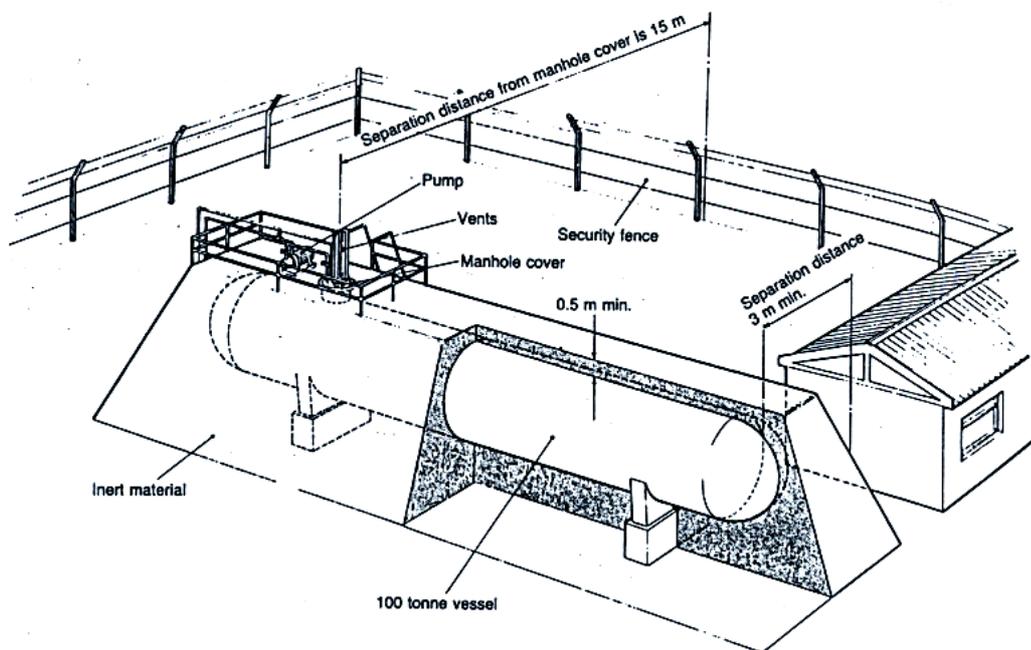


Figura 34 [5]

Il GPL può anche essere stoccato in recipienti "tumulati" ossia ricoperti da terreno, come mostra la figura 34, per uno spessore minimo di 0.5 m. I recipienti devono essere posti su una fondazione e fissati in modo da evitare il loro spostamento in caso di inondazione. La superficie esterna del recipiente deve essere provvista di un

rivestimento che impedisca la corrosione e sono previste ispezioni periodiche.

I serbatoi tumulati sono protetti dallo strato di terreno sia dalla radiazione termica in caso di incendio nelle vicinanze, sia dagli effetti di impatti (veicoli, ecc.) e di esplosioni esterne: per questa ragione le distanze di sicurezza si riducono considerevolmente e risulta possibile realizzare serbatoi più grandi, che possono arrivare a fino 3 500 m³ in un singolo serbatoio ad asse orizzontale.

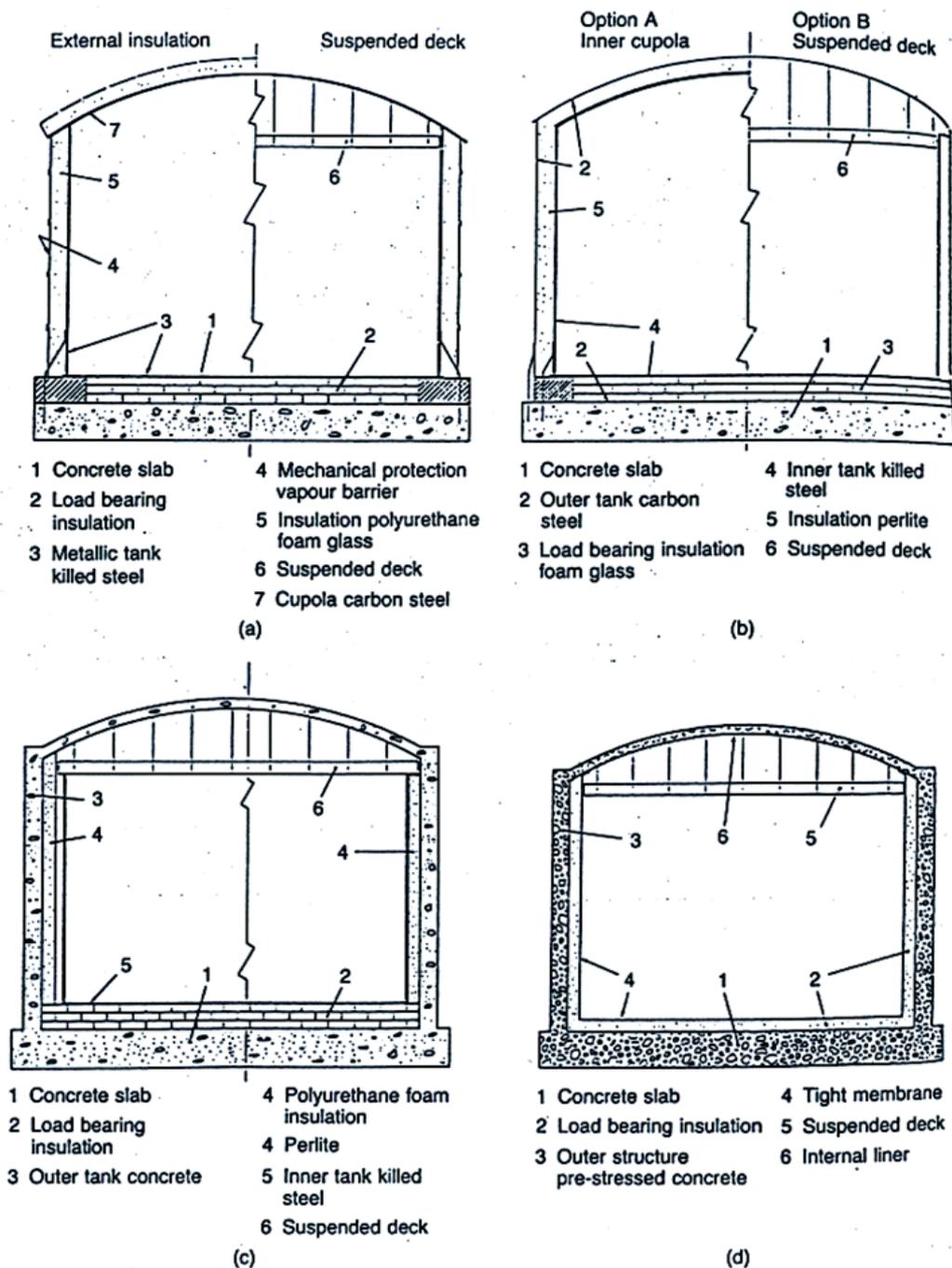


Figura 35 [5]

Stoccaggi refrigerati

Gli stoccaggi refrigerati per GPL e gas naturale liquefatto (GNL) comprendono i tipi a parete singola (a), a doppia parete (b), a doppia integrità (c) e a membrana (d), mostrati in figura 35.

Un recipiente a parete singola ha la parete in acciaio resistente alle basse temperature, coibentata esternamente con schiuma di poliuretano a tenuta di vapore.

I recipienti a doppia parete hanno solo la parete interna in acciaio speciale, mentre quella esterna non è in grado di resistere alle basse temperature: tra le due pareti è interposta perlite come isolante.

I recipienti a doppia integrità hanno invece entrambe le pareti in acciaio speciale: l'isolamento è realizzato con schiuma di poliuretano o perlite lungo le pareti e con schiuma di fibra di vetro resistente ai carichi tra il fondo del recipiente e la fondazione.

Il recipiente a membrana è costituito di una parete di contenimento di cemento precompresso, dotata di una membrana costituita da un foglio di alluminio.

La temperatura di progetto deve tenere conto del valore più basso che può essere raggiunto dal sistema di refrigerazione, comprese eventuali condizioni di malfunzionamento. Nel caso di stoccaggio refrigerato è sempre previsto un bacino di contenimento, con muri alti al massimo 2 m e lasciando uno spazio libero di 15 cm prima del bordo, in modo da poter stendere eventualmente della schiuma sul liquido.

Incidenti in stoccaggi per GPL

Numerosi incidenti hanno interessato gli stoccaggi di GPL, con conseguenze anche molto gravi.

A Feyzin nel 1966 ci fu una fuga di propano liquido mentre si stava drenando l'acqua dal fondo di un serbatoio sferico: la perdita fu innescata da un auto di passaggio su una strada limitrofa e ci furono una serie di esplosioni BLEVE che portarono alla distruzione di 5 serbatoi sferici da 1 200 e 2 000 m³, contenenti propano e butano, e alla morte di 18 persone.

A Mexico City, nel 1984, in un deposito si verificò una perdita di GPL da un serbatoio pressurizzato che formò una nube di vapori, innescata in un impianto vicino. Nell'esplosione vennero distrutti immediatamente uno, o forse due, recipienti sferici da 1 600 e 2 400 m³ causando successive esplosioni e incendi che uccisero circa 500 persone.

Stoccaggi per gas naturale liquefatto (GNL)

Il gas naturale è una miscela di diversi composti, essenzialmente idrocarburi come metano ed etano, con tracce di composti più pesanti con 3, 4 o più atomi di carbonio. Lo stoccaggio viene generalmente effettuato a -161°C e a pressione atmosferica: si utilizzano gli stessi tipi di serbatoi visti per il GPL refrigerato. Il recipiente è protetto nei confronti di eventuali pressurizzazioni mediante una valvola di sicurezza e contro le depressurizzazioni da valvole di respirazione.

Incidenti in stoccaggi per GNL

Nel 1944 a Cleveland si verificò la rottura di un serbatoio di stoccaggio, probabilmente dovuta all'uso di un acciaio inadatto a lavorare a bassa temperatura. Si formò una nube di GNL, che si innescò nell'impianto stesso, e una perdita di GNL liquido, che finì negli scarichi per l'acqua piovana, miscelandosi con aria e causando altre esplosioni: il bilancio finale fu di 128 morti.

A Staten Island nel 1973 si verificò invece l'innescò di vapori di GNL mentre si stavano eseguendo lavori in un serbatoio vuoto, e ci furono circa 40 morti nell'incendio risultante.

Stoccaggi per cloro

Il cloro viene generalmente stoccato come gas liquefatto in recipienti pressurizzati, ma può anche essere immagazzinato come liquido in recipienti refrigerati a -34°C e pressione atmosferica. Come materiale da costruzione, purché non siano presenti tracce di umidità, si usa acciaio al carbonio. Per gli stoccaggi pressurizzati si utilizzano recipienti cilindrici ad asse orizzontale, per piccole capacità, e sfere per capacità maggiori. La pressione di progetto è come minimo 12 atm effettive (al di sopra dell'atmosfera) e la temperatura di progetto è -35°C , in modo da non avere problemi legati ai materiali in caso di depressurizzazione accidentale. Le tubazioni di connessione devono essere ridotte al minimo e semplificate per quanto possibile.

La protezione del serbatoio contro la pressurizzazione prevede l'utilizzo di due sistemi di sfiato separati. Ognuno di essi deve prevedere due dischi di scoppio consecutivi, oppure un disco di scoppio seguito da una valvola di sicurezza, con interposto un indicatore di pressione, come mostra la figura 36. Non si può utilizzare unicamente una valvola di sicurezza per possibili problemi legati alla corrosione.

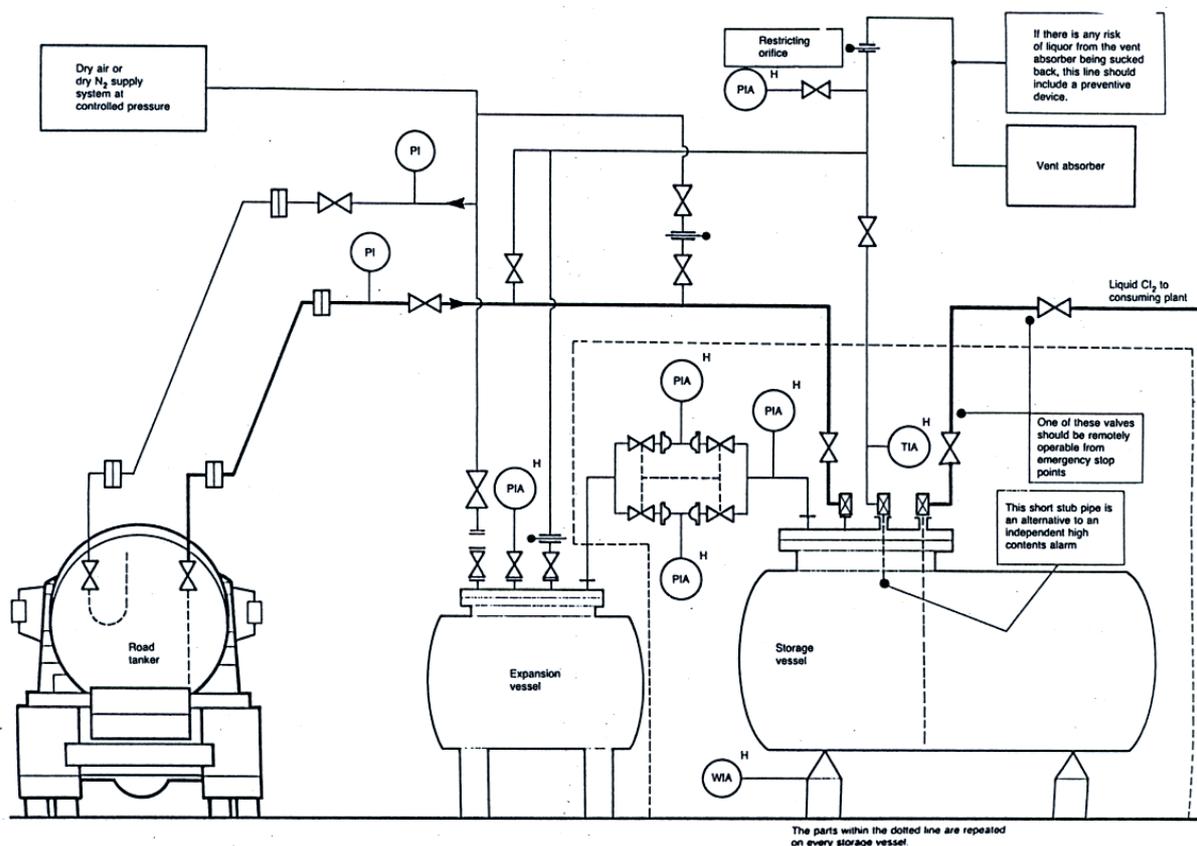


Figura 36 [5]

Lo sfiato è convogliato in un recipiente di espansione, progettato con gli stessi criteri di quello di stoccaggio, ed atto a contenere circa il 10% della capacità del recipiente di stoccaggio. Il cloro uscente dal serbatoio di espansione viene convogliato, come gas, ad un assorbitore con un liquido assorbente atto ad abbattere i vapori di cloro.

Il travaso del cloro può essere effettuato inviando un gas di pressurizzazione (ad esempio azoto o aria compressa ben secca) o travasando il liquido con una pompa: i primi due metodi sono quelli maggiormente utilizzati.

Stoccaggi per ammoniaca

L'ammoniaca viene stoccata come liquido in pressione, a circa 15.5 atm assolute, o in stoccaggi refrigerati a -33°C a pressione atmosferica. Anche in questo caso si usano serbatoi cilindrici ad asse orizzontale o sferici, questi ultimi con capacità da 500 a 3 000 tonnellate. I serbatoi refrigerati sono simili a quelli utilizzati per GPL refrigerato.

Il bacino di contenimento deve avere una capacità pari ad almeno il 20% del volume contenuto nel serbatoio. Sul recipiente vanno poste almeno due valvole di sicurezza indipendenti, ognuna delle quali provvista a monte di una valvola di intercettazione, in modo che, anche durante la manutenzione ci sia almeno una valvola di sicurezza attiva. Generalmente lo sfiato è direttamente in atmosfera, o viene effettuato convogliando i vapori in torcia.

Incidenti in stoccaggi per ammoniaca

Anche in questo caso gli incidenti verificatisi sono stati numerosi.

Nel 1973 si verificò il cedimento, per infragilimento, di un fondo di un serbatoio cilindrico orizzontale: si formò una densa nube di ammoniaca che si disperse sopra l'impianto e la cittadina vicina, uccidendo 18 persone.

Nel 1970 ci fu invece la fuoriuscita di prodotto per sovrariempimento di un serbatoio refrigerato di ammoniaca da 40 000 tonnellate: si formò una nube densa estesa circa 3 km che interessò però un'area scarsamente popolata senza creare vittime.