

COMUNE DI BRINDISI (Provincia di Brindisi)

Oggetto:

PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN DEPOSITO COSTIERO DI IDROCARBURI - GASOLIO E BENZINA - CON ANNESSO TERMINALE DI CARICO SITO NELL'AREA PROSPICIENTE LA BANCHINA COSTA MORENA RIVA DEL PORTO DI BRINDISI



PROGETTO DEFINITIVO

Elaborato:

RELAZIONE DI CALCOLO SERBATOI

Tav:

RD.3.1

Data:

Rif.Doc.: BRUND_PD_RD3.1_001

scala:

Approvazioni:

Rev.	Data	Redazione	Verifica	Approvazione
00		PR	SZ	SZ

Committente :

BRUNDISUM S.p.a.

Sede Legale
Via Ettore Maiorana 6/A
Zona Industriale
72100 -Brindisi (BR)
Tel. 0831-571149

I progettisti:

Ing. Salvatore Zaccaro (Capogruppo G.d.L.)

Ing. Giuseppe Morganti

Arch. Alessia Scimone

Geom. Rossella Venuti

Ing. Antonino Restuccia

Ing. Marco Calogero

Giovani professionisti:

Ing. Anna Tripodi

Ing. Eleonora Viglianisi

COMUNE DI BRINDISI (BR)

**PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DI UN DEPOSITO COSTIERO DI IDROCARBURI -
GASOLIO E BENZINA – CON ANNESSO TERMINALE DI CARICO SITO NELL’AREA
PROSPICIENTE LA BANCHINA COSTA MORENA RIVA DEL PORTO DI BRINDISI**

Sommarìo

1. PREMESSA.....	2
2. Normative di riferimento.....	2
3. Indagini geognostiche	5
4. descrizione sintetica degli interventi.....	6
5. caratteristiche generali serbatoi.....	7
5.1 MATERIALI.....	7
5.2 GEOMETRIA	8
5.3 TETTO GALLEGGIANTE.....	9
5.4 BACINO DI CONTENIMENTO	13
5.5 ACCESSORI	14
6 DIMENSIONAMENTO geometrico SERBATOI.....	15
6.1 CALCOLO SPESSORE VIROLE.....	15
6.2 DIMENSIONAMENTO FONDO SERBATOIO	16
6.3 DIMENSIONAMENTO ALTEZZA VIROLE – VERIFICA PER CARICO IDROSTATICO.....	18
6.4 PROGETTAZIONE SISMICA SERBATOI.....	22
ENTITÀ AZIONE SISMICA.....	22
DETERMINAZIONE AZIONI	25
VERIFICHE MANTELLO.....	29
7 FONDAZIONI.....	30
8 MONITORAGGIO PERDITE DI OLIO SOTTO I SERBATOI	30

1. PREMESSA

La presente relazione, afferente al “**Progetto per la realizzazione di un deposito costiero di idrocarburi - gasolio e benzina – con annesso terminale di carico sito nell’area prospiciente la banchina costa Morena Riva del porto di Brindisi**” tratta il dimensionamento dei serbatoi atti allo stoccaggio di benzina e gasolio ed aventi una capacità effettiva rispettivamente pari a 3000 mc e 6000 mc.

La Figura a seguire individua il sito di ubicazione del deposito.

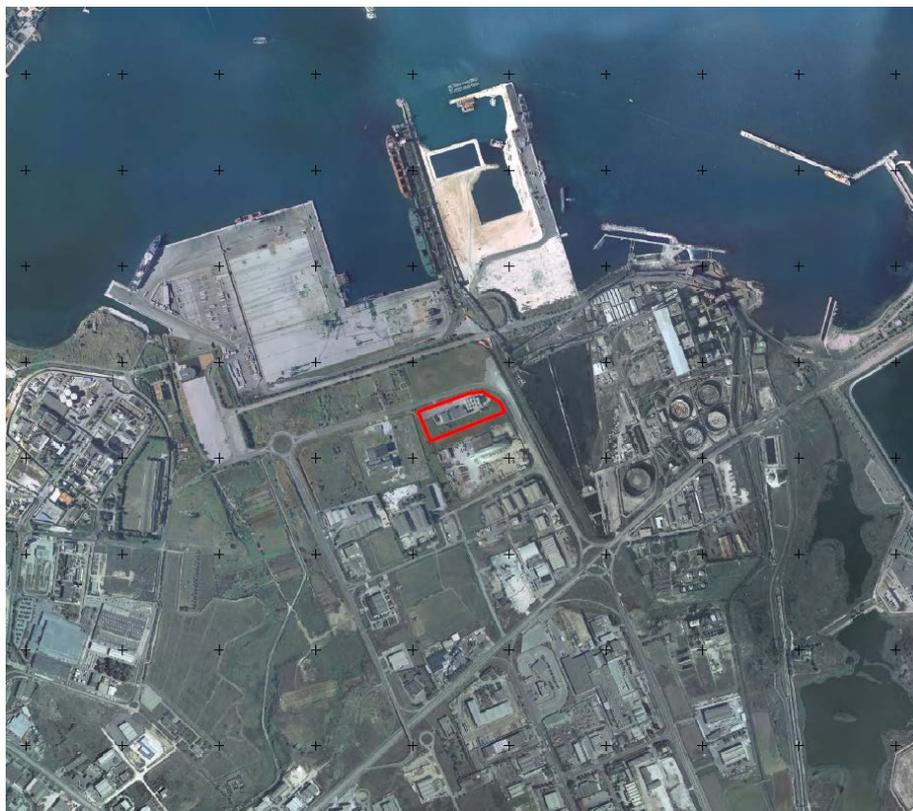


FIGURA 1 - STRALCIO ORTOFOTO LOCALIZZAZIONE DEL SITO

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

A seguire si riporta la lista dei principali riferimenti normativi, specifiche, standard e codici di progettazione applicati per redigere il presente progetto:

CODICI E REGOLAMENTI:

- ❖ Decreto Legislativo 3 Aprile 2006, n. 152 e s.m.i.; “Norme in materia ambientale”;
- ❖ Decreto Legislativo 12 aprile 2006, n. 163; “Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE”;
- ❖ Decreto del Presidente della Repubblica 05 ottobre 2010, n. 207; “Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE».
- ❖ Decreto Legislativo 09 aprile 2008 n. 81: “Attuazione dell’articolo 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro” (GU n. 101 del

30-4-2008 - Suppl. Ordinario n.108), così come modificato dal Decreto Legislativo 03 agosto 2009 n. 106 recante *“Disposizioni integrative e correttive del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, in materia di tutela della salute e della sicurezza nei luoghi di lavoro”*;

NORMATIVE:

- ❖ 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 stessi.
- ❖ Circolare Del Ministero Dell'interno 22 Dicembre 1962, N.132 – Depositi ed impianti di olii minerali. Norme di sicurezza integrative di quelle stabilite nel Decreto ministeriale 31 luglio 1934.
- ❖ Decreto 21 gennaio 2000, n.107 - Regolamento recante norme tecniche per l'adeguamento degli impianti di deposito di benzina ai fini del controllo delle emissioni dei vapori.
- ❖ Direttiva 94/63/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 20 dicembre 1994, sul controllo delle emissioni di composti organici volatili (COV) derivanti dal deposito della benzina e dalla sua distribuzione dai terminali agli impianti di distribuzione dei carburanti.
- ❖ ATEX: Direttiva 94/9/CE
- ❖ D.P.R. 23/03/1998, n. 126 – Attuazione della Direttiva 94/9/CE ATEX in materia di Apparecchiature e sistemi di protezione destinati ad essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva.
- ❖ Direttiva Macchine 2006/42/CE.
- ❖ D.LGS. 17 del 27/01/10 – Attuazione della Direttiva 2006/42/CE relativa alle macchine.
- ❖ D. Lgs. 25 Febbraio 2000, n° 93, “Attuazione della Direttiva 97/23/CE in materia di attrezzature a pressione” – (PED).
- ❖ Decreto 1° Dicembre 2004, n° 329, Regolamento recante norme per la messa in servizio ed utilizzazione delle attrezzature a pressione e degli insiemi di cui all'articolo legislativo 25 Febbraio 2000, n° 93. (Art. 14 Riparazione e Modifiche).
- ❖ NTC 2008 – D.M. del 14.01.2008.
- ❖ Circolare n°617 del 02.02.09 Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”.
- ❖ Legge n°1086 del 05.11.71 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
- ❖ Legge n°64 del 02.02.74 Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- ❖ Circolare n°11951 del 14.02.74 - Applicazione delle norme sul cemento armato
- ❖ D.M. n°40 del 03.03.75 - Disposizioni concernenti l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- ❖ Prescrizioni del comando V.V.F.F. territorialmente competente.
- ❖ DM n° 37 del 22/01/2008 - Norme per la sicurezza degli impianti.
- ❖ Legge 791/77 - Direttive CEE per materiale elettrico.

- ❖ Legge 186/68 - Esecuzione Impianti Elettrici.
- ❖ D.lgs 334 del 17/8/1999 - Accoglimento della direttiva comunitaria 96/82/CE (Seveso II).

CODICI E STANDARDS:

- ❖ API STD 650 - Welded Tanks for Oil Storage.

BIBLIOGRAFIA:

- ❖ Lenzi. M., Campana, P., Annotazioni sulla progettazione sismica dei serbatoi non ancorati, www.acmar.it/pubblicazioni, ACMAR, Ravenna, 2008.

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche di dettaglio relative all'area oggetto di studio sono state desunte dall'analisi delle carote di perforazione dei sondaggi terebrati durante la fase di caratterizzazione del sito effettuata nel 2008 a cura della società Geologica Energia Ambiente s.r.l. corrente in Matera.

Precisamente sono stati eseguiti due sondaggi s1 ed s2 spinti rispettivamente fino alle profondità di -10 m e - 30 m nei quali sono state individuate le seguenti stratigrafie:

Sondaggio S1

- Da 0.00 m a -1.60 m dal p.c. - Terreno vegetale di natura limoso-sabbiosa di colore marrone scuro;
- Da -1.60 m a -3.20 m dal p.c. - Sabbia a grana da grossolana a finissima di colore beige alternata a livelli calcarenitici;
- Da -3.20 m a -9.00 m da p.c. - Sabbia a grana da media a molto fine debolmente limosa di colore giallastro alternata a livelli a consistenza litoide e a livelli ciottolosi;
- Da -9.00 m a -10.00 m (fondo foro) da p.c. - Argilla sabbiosa di colore giallastro.

Sondaggio S2

- Da 0.00 m a -0.40 m dal p.c. - Terreno vegetale di natura sabbioso-limosa di colore marrone scuro;
- Da -0.40 m a -3.40 m dal p.c. Sabbia a grana da grossolana a finissima di colore beige con ciottoli calcarenitici;
 - Da -3.40 m a -8.80 m dal p.c. - Sabbia a grana da fine a media di colore giallastro alternata a livelli a consistenza litoide e a livelli ciottolosi;
 - Da -8.80 m a -10.20 m dal p.c. - Argilla sabbiosa giallastra;
 - Da -10.20 m a -30.00 m (fondo foro) da p.c.- Argilla sabbiosa di colore grigioazzurro con fossili marini interi e in frammenti.

I parametri di input da utilizzare per i calcoli geotecnici individuati sono:

Per la sabbia ghiaiosa:

- peso di volume naturale $\gamma = 1.98 \text{ g/cm}^3$
- angolo d'attrito $\phi = 35 \text{ gradi}$
- coesione $c = 0,00 \text{ Kg/cm}^2$

Per il limo sabbioso-argilloso:

- peso di volume naturale $\gamma = 2.02 \text{ g/cm}^3$
- angolo d'attrito $\phi = 25 \text{ gradi}$
- coesione $c = 0.15 \text{ Kg/cm}^2$

4. DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI

Come accennato in premessa, il progetto riguarda le opere per la realizzazione di un terminale per l'adduzione e lo scarico di benzina e gasolio nell'area prospiciente il molo Costa Morena del porto di Brindisi; tale progetto prevede l'ubicazione di n. 8 serbatoi cilindrici a tetto galleggiante collocati fuori terra, di cui quattro della capacità utile di 6.000 m³ e raggio di 11,90 m (gasolio), ed uno di capacità utile di 3.000 m³ e raggio 8,40 m (benzina); l'altezza del mantello dei serbatoi sarà di 15,40 m.

Secondo la normativa vigente, il D.M. 31 luglio 1934, così come modificato ed integrato dal D.M. 17 giugno 1987 n.280 "Modificazioni al decreto ministeriale 31 luglio 1934 recante norme di sicurezza per la lavorazione, l'immagazzinamento, l'impiego e la vendita di oli minerali e per il trasporto degli oli stessi", nonché alla Circolare del Ministero degli Interni del 19 marzo 2009, prot. 756, la categoria dei liquidi stoccati è:

Benzina: Categoria A – Liquidi i cui vapori possono dare luogo a scoppio;

Gasolio: Categoria B – Liquidi infiammabili in riferimento alla definizione di liquido infiammabile introdotta dall'European Regulation (EC) No. 1272/2008;

La classe del deposito invece è:

- **Classe 1^a c** - Depositi con serbatoi fuori terra (o interrati), capacità totale superiore a 3.500 m³, con grado di sicurezza 2.

Secondo la normativa vigente, valgono, inoltre, le seguenti assunzioni di base:

Tipologia deposito:

- **Costiero;**
- **Misto.**

Capacità equivalente¹:

- **Benzina:** 12.000 m³;
- **Gasolio:** 24.000 m³;

Sicurezza deposito:

Grado 2^a.

La distanza relativa tra i serbatoi sarà pari alla metà della zona di protezione prevista dal decreto del 1934, il quale al punto 48 recita: "Di norma, in uno stesso impianto, i liquidi delle singole categorie devono essere depositati e travasati in locali distinti, per categoria. I detti locali devono essere separati fra loro: o da una distanza uguale alla metà della zona di protezione prescritta dal n. 39, 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".

Nel caso specifico è prevista una distanza relativa tra i serbatoi di stoccaggio di benzina e tra i serbatoi di stoccaggio gasolio pari rispettivamente a 11 metri e 12 metri; la distanza che intercorrerà tra le due file di serbatoi sarà pari a 12 metri come riportato nel layout di progetto riportato a seguire:

¹ La capacità effettiva si ottiene dalla capacità geometrica dei serbatoi defalcando il 10 per cento per i serbatoi fuori terra

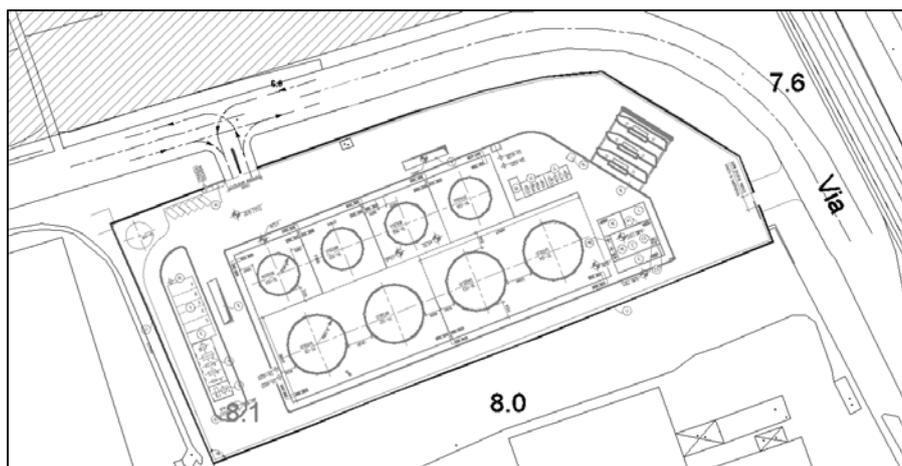


FIGURA 2 - LAYOUT DI PROGETTO

queste soluzioni rispettano il limite della zona di protezione prima richiamata e il cui valore è riportato nella tabella a seguire, riportata al punto 46 del su citato decreto:

Classe del deposito	Caratteristiche degli impianti	Categorie degli impianti	Zona di protezione (metri)	Distanza di rispetto tra i fabbricati esterni e	
				il perimetro dei serbatoi (metri)	il perimetro dei magazzini, locali e dei locali di travaso (metri)
1	2	3	4	5	6
1 ^a	a) Depositi con serbatoi fuori terra; ordinari	A	20	75	25
	B	10	50	15	
	b) Depositi con serbatoi fuori terra; sicurezza di 2° grado	A	10	50	25
	B	5	25	15	
2 ^a	c) Depositi con serbatoi fuori terra, oppure interrati; sicurezza di 2° grado	A	10	37,50	25
	B	5	25	15	
	d) Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1° grado	A	5	25	25
	B	5	15	15	
3 ^a	a) Depositi con serbatoi fuori terra; ordinari	A	15	80	25
	B	5	40	15	
	b) Depositi con serbatoi fuori terra; sicurezza di 2° grado	A	10	37,50	25
	B	5	25	15	
4 ^a	c) Depositi con serbatoi fuori terra, oppure interrati; sicurezza di 2° grado	A	10	25	25
	B	5	15	15	
	d) Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1° grado	A	5	15	25
	B	5	10	15	
5 ^a	a) Depositi con serbatoi fuori terra; ordinari	A	10	50	15
	B	5	25	10	
	b) Depositi con serbatoi fuori terra; sicurezza di 2° grado	A	6	15	16
	B	5	10	10	
6 ^a	c) Depositi con serbatoi fuori terra, oppure interrati; sicurezza di 2° grado	A	5	10	15
	B	5	7	10	
	d) Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1° grado	A	3	5	15
	B	3	4	10	
4 ^a	Depositi con serbatoi interrati; sicurezza di 1° grado (1)	A e B	2	3	5 (2)
5 ^a	Depositi di merce imballata; sicurezza di 2° grado (5)	A e B	5	(Non esistono serbatoi)	15 (2)
6 ^a	Serbatoi interrati per distributori di benzina e miscele; sicurezza di 1° grado (4)	A	--	--	(Non esistono né magazzini, né locali di travaso)
7 ^a	Depositi di merce imballata; sicurezza di 2° grado (5)	A e B	--	(Non esistono serbatoi)	5 (3)
8 ^a	Depositi con serbatoi fuori terra, o interrati, oppure magazzini di merce imballata (6)	C	3	4	5
9 ^a	Depositi con serbatoi fuori terra o interrati, oppure magazzini di merce imballata (6)	C	1,50	2	3
10 ^a	Serbatoi interrati per distributori di residui distillati	C	--	--	(Non esistono né magazzini, né locali di travaso)

FIGURA 3 - TABELLA ZONA DI PROTEZIONE

5. CARATTERISTICHE GENERALI SERBATOI

5.1 MATERIALI

I serbatoi per lo stoccaggio saranno realizzati in lamiera di acciaio di idoneo spessore a tenuta stagna; la superficie esterna sarà trattata con sostanze antiossidanti e non solubili nell'acqua.

Il trattamento anticorrosivo esterno consisterà in una sabbiatura e:

1. N°1 strato di zincante inorganico da 75 µm;

- N°1 strato di vernice intermedia epossidica da 125 μm ;
- N°1 strato di vernice esterna poliuretanica da 40 μm .

Le pareti esterne dei serbatoi saranno rivestite con lamine sottilissime di alluminio perfettamente aderenti.

La superficie esterna del fondo sarà opportunamente protetta con sostanze atte ad impedirne l'ossidazione.

5.2 GEOMETRIA



I serbatoi di progetto saranno fuori terra, cilindrici e ad asse verticale.

Nello specifico il parco serbatoi benzina sarà composto da n° 4 serbatoi (TK-201 ÷ TK-204), ognuno con volume utile pari a 3.000 mc, per un totale di 12.000 mc di prodotto stoccabile (il volume totale è pari a 13.300 mc circa) aventi diametro pari a 16,80 m ed altezza pari a 15,40 m.

Il parco serbatoi gasolio di progetto, invece, sarà composto da n° 4 serbatoi (TK-101 ÷ TK-104), ognuno con volume utile pari a 6.000 mc, per un totale di 24.000 mc di prodotto stoccabile (il volume totale è pari a 26.600 mc circa) aventi diametro pari a 23,80 m ed altezza pari 15,40 m.

Costruttivamente il mantello dei serbatoi per lo stoccaggio di benzina sarà realizzato con 8 virole a spessore variabile (decrescente con l'altezza) rispettivamente pari (dal basso verso l'alto) a 14, 12, 10, 10, 8, 6, 6, 6 mm; il trincarino ed il fondo invece avranno spessore rispettivamente pari a 15 e 9 mm.

Il mantello dei serbatoi per lo stoccaggio di gasolio invece sarà realizzato con 8 virole a spessore variabile (decrescente con l'altezza) rispettivamente pari (dal basso verso l'alto) a 18, 16, 14, 12, 10, 8, 6, 6 mm; il trincarino ed il fondo degli stessi avranno spessore rispettivamente pari a 15 e 9 mm.

Il fondo dei serbatoi poggerà direttamente sopra fondazione di resistenza adeguata al carico da sopportare, costituita mediante conglomerato di cemento avente superiormente un cuscinetto di sabbia di spessore pari almeno a 30 cm. La superficie esterna del fondo dovrà essere protetta con sostanze atte ad impedirne l'ossidazione; al fine di regimentare le acque lo stesso fondo sarà modellato settorializzandolo con adeguate pendenze e si collocherà un canaletto perimetrale al fondo bacino per la raccolta e smaltimento delle acque piovane, il quale farà capo a due pozzetti di raccolta collegati, mediante tubazione, alla vasca di prima pioggia per il trattamento di dissabbiatura e disoleatura.

Il tetto sarà di tipo galleggiante (grado di sicurezza 2) in modo da diminuire la superficie libera del liquido infiammabile a contatto dell'aria (con diminuzione delle perdite per evaporazione, nonché del pericolo d'incendio e di scoppio).

Tale tetto avrà una struttura leggera a tenuta di vapori; sarà costituito da un lamiera formante tetto circolare di appoggio sul liquido, purché completato, nella parte periferica, da una cassa a corona circolare ed a struttura cellulare, rigidamente connessa al tetto, del quale assicura la galleggiabilità, e da un anello di tenuta, flessibile ed elastico, premuto da appositi pattini di scorrimento, spinti da molle, contro la superficie interna del serbatoio sui cui giunti e chiodature l'anello stesso deve scorrere a leggerissimo attrito.

5.3 TETTO GALLEGGIANTE

I serbatoi di progetto saranno dotati di tetto galleggiante costituito da una struttura cava in acciaio tale da assicurare il galleggiamento e irrigidito internamente da setti radiali e circonferenziali.

Sulla circonferenza del tetto galleggiante sarà installato un sistema di tenuta per prevenire l'uscita dei vapori verso l'atmosfera. Questo sistema di tenuta sarà costituito da materiali non conduttivi o scarsamente conduttivi quali gomme neopreniche e/o poliuretaniche.

Nello specifico il sistema utilizzato è descritto alla fig. 4, dove due guarnizioni (definite guarnizione Primaria e Secondaria) saranno installate nello spazio anulare tra mantello e tetto galleggiante. Il materiale delle guarnizioni non conduttivo isolerà così il tetto galleggiante dal mantello, impedendo quindi il collegamento equipotenziale di terra.

Tale sistema dovrà essere oggetto di manutenzione in quanto, col passare del tempo, i sistemi di tenuta si deteriorano e invecchiano, il mantello del serbatoio diventa irregolare perdendo la cilindricità a causa dei ripetuti cicli di riempimento/svuotamento e delle variazioni termiche, mentre le pareti interne del serbatoio vengono interessate da fenomeni di ossidazione o di deposito di paraffine e sporcizie.

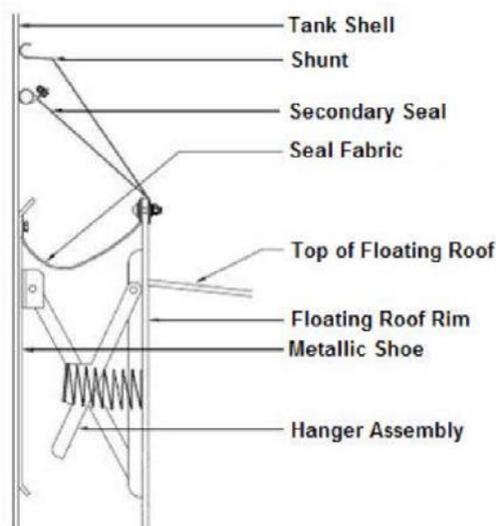


FIGURA 4 - SPACCATO INTERFACCIAZIONE TRA TETTO GALLEGGIANTE E MANTELLO SERBATOIO

In caso di imperfetto contatto del sistema di tenuta tra il mantello e il tetto galleggiante, inoltre, i vapori del prodotto petrolifero possono fuoriuscire in parte e miscelarsi in atmosfera creando una miscela di vapore infiammabile.

Il tetto galleggiante dovrà essere collegato elettricamente al mantello del serbatoio per potere mantenere inalterata l'equipotenzialità. Se il tetto galleggiante e il mantello non hanno il medesimo potenziale e se la differenza di tensione tra i due diventa abbastanza grande, infatti, si può manifestare un arco elettrico tra le due superfici. Questa è la peggior situazione possibile dal momento che i vapori infiammabili, che non vengono trattenuti dal sistema di tenuta, potrebbero innescare un grave incendio.

Per mantenere l'equipotenzialità fra tetto e mantello, saranno installati dispositivi chiamati “shunts”, fatti in acciaio per molle. Gli shunts saranno collegati al tetto in modo tale da garantire un costante contatto con il

mantello indipendentemente dalla posizione del tetto galleggiante. La resistenza di contatto dipenderà dalle caratteristiche del materiale che costituisce lo shunts e dalla sua pressione contro la parete del serbatoio.

Come previsto da NFPA 780, lo Standard che regola l'installazione dei Sistemi Protezione Fulmini, gli shunts saranno distanziati non più di **3 m** l'uno dall'altro lungo tutta la circonferenza del serbatoio, la loro larghezza sarà di **50 mm** con uno spessore di **0.4 mm** e saranno costruiti in Acciaio **AISI 302**. Gli SHUNTS verranno imbullonati sul bordo del tetto galleggiante e piegati in modo da premere contro la parete del Mantello (vedere Figura 5).



FIGURA 5 - SEZIONE DI SERBATOIO A TETTO GALLEGGIANTE CON SHUNT SOPRA LA TENUTA

Nello specifico relativamente al serbatoio di stoccaggio di benzina sulla circonferenza e sopra il sistema di tenuta saranno installati un numero pari a 18 shunts mentre relativamente al serbatoio di stoccaggio di gasolio ne verranno installati 24.

I suddetti shunts verranno installati esclusivamente sopra il sistema di tenuta e non verranno disposti shunts sommersi i quali, anche se in grado di garantire una maggiore sicurezza nei confronti dell'eventuale innesco di un incendio (data l'assenza di ossigeno), necessitano però di una maggiore manutenzione.

I serbatoi saranno inoltre dotati di **conduttori by – pass**, utilizzati per drenare le componenti a media-lunga durata della corrente di fulminazione. Quest'ultime troveranno minor resistenza passando attraverso i conduttori by-pass rispetto agli shunts.

Nello specifico saranno installati conduttori by- pass a lunghezza variabile con arrotolatore, i quali consentiranno la connessione ideale fra tetto e mantello del serbatoio garantendo una bassa impedenza alle varie frequenze. Saranno semplici da installare e facili da ispezionare, mantenere ed eventualmente sostituire.

Saranno dotati di meccanismo retrattile dotato di una molla precaricata che si fissa fra il tetto e il mantello. La custodia del cavo è di acciaio inossidabile per garantire la massima protezione anticorrosione, mentre il conduttore di messa a terra è costituito da un conduttore stagnato con sezione da **20÷250 mm²**. Il cavo sarà collegato al bordo di attacco del serbatoio vicino alla scala oscillante, tenuto sospeso lungo tutta la passerella e collegato al centro del tetto. La sua lunghezza deve permettere al tetto di posizionarsi al livello più basso senza che il cavo di messa a terra si debba strappare.

Per i serbatoi oggetto di studio aventi un'altezza di 15,4 metri la lunghezza del suddetto cavo dovrà essere almeno pari a **23,8 metri** (per il serbatoio di stoccaggio benzina) e pari a **27,3 metri** (per il serbatoio di stoccaggio gasolio).

Sebbene il cavo abbia una bassa Impedenza a **50 Hz**, quando è soggetto alla più alta frequenza della corrente di fulminazione, aumenterà di molto la sua impedenza.

La molla precaricata permette la retrazione automatica del conduttore nell'arrotolatore quando non è sotto tensione meccanica. Questo sistema, quindi, permette di mantenere al minimo la lunghezza del conduttore, indipendentemente dalla posizione del tetto (fig. 6)

Poiché la custodia dell'arrotolatore è attaccata al bordo superiore del mantello mentre il cavo è collegato al tetto, tale sistema è sempre in grado di garantire l'equipotenzialità fra tetto e mantello, anche in mancanza degli shunts sommersi, qualunque siano le condizioni delle pareti del mantello.

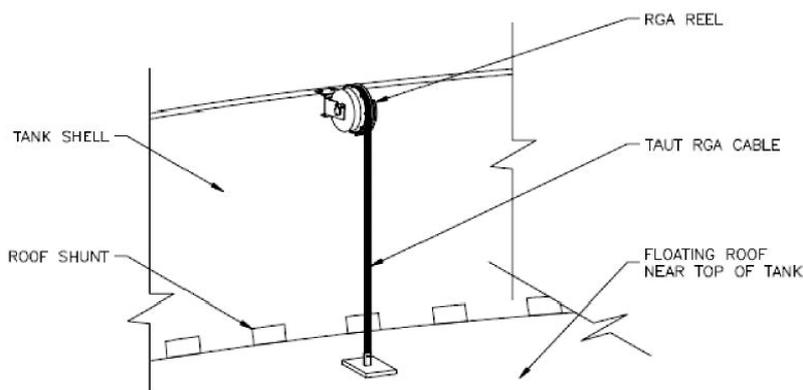
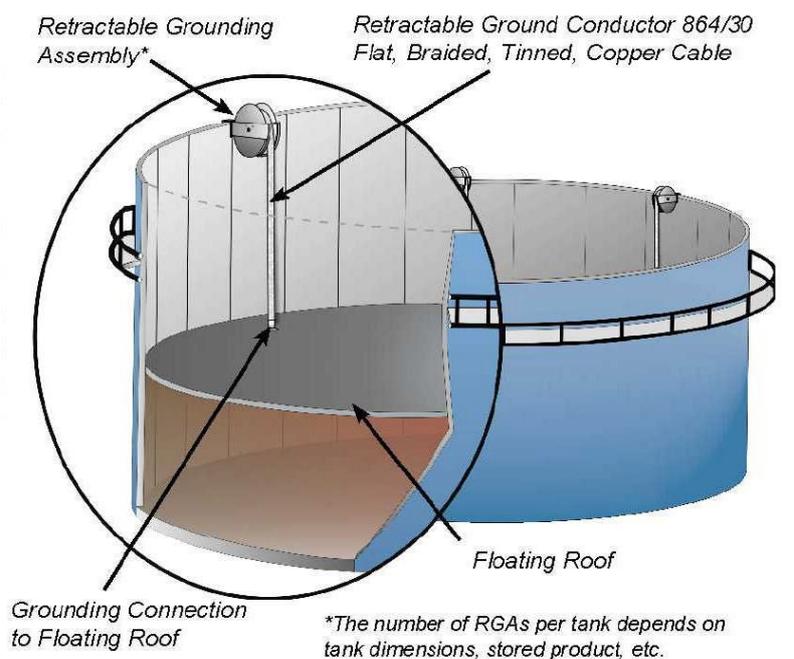


FIGURA 6 - SISTEMA DI MESSA A TERRA MEDIANTE CAVO RETRATTILE

I rischi e i danni generati dalla fulminazione diretta sul serbatoio aumentano notevolmente quando il tetto è in posizione alta. In queste circostanze e cioè quando il serbatoio è pieno o quasi pieno, la corrente di fulminazione si scarica direttamente sugli shunts in corrispondenza del punto in cui è caduto il fulmine con un'intensità elevata (fig. 7).

E' quindi importante che proprio per questa condizione il cavo abbia una lunghezza limitata tale da consentire una impedenza più bassa e da permettere così alla corrente di fulminazione di fluire il più velocemente possibile scaricandosi verso terra.

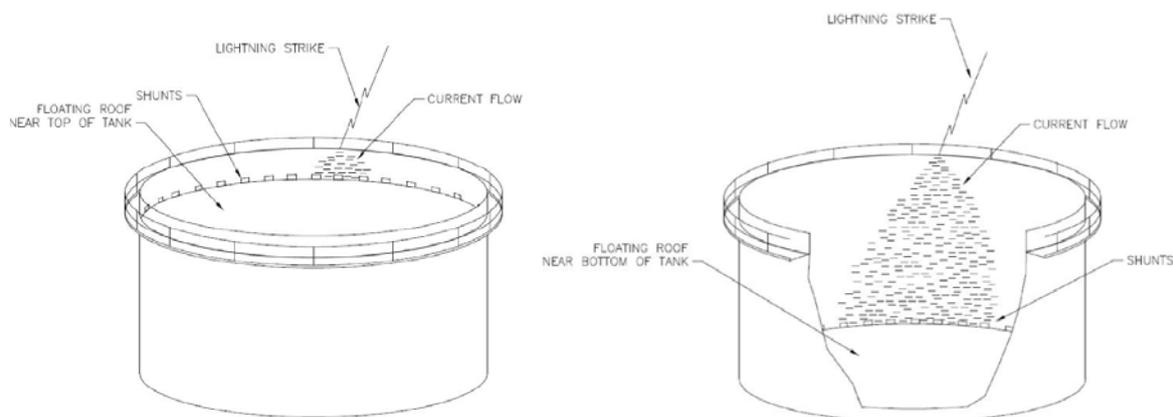


FIGURA 7 - PROPAGAZIONE DEI FULMINI SUL SERBATOIO IN BASE ALLA POSIZIONE DEL TETTO GALLEGGIANTE

Per il caso in esame si prevedono 2 conduttori per il serbatoio di stoccaggio benzina e 3 conduttori per il serbatoio di stoccaggio gasolio.

I serbatoi saranno dotati di una scala oscillante con la parte superiore agganciata al bordo di attacco del serbatoio e la parte inferiore che scorre su una rotaia montata sul tetto (vedere Figura 8). All'alzarsi del tetto galleggiante la scala oscillante scorrerà radialmente sulla rotaia per compensare la variazione di altezza del tetto.



FIGURA 8 - SCALA OSCILLANTE

I serbatoi a tetto galleggiante saranno inoltre dotati di valvole di depressione, che entrano in funzione quando il tetto va in appoggio sul fondo, e di tubo snodato metallico, per il drenaggio dell'acqua che si accumula sul tetto in caso di pioggia.

Tale tubo sarà costituito da tubazioni rigide collegate da giunti, come indicato nella figura sottostante.

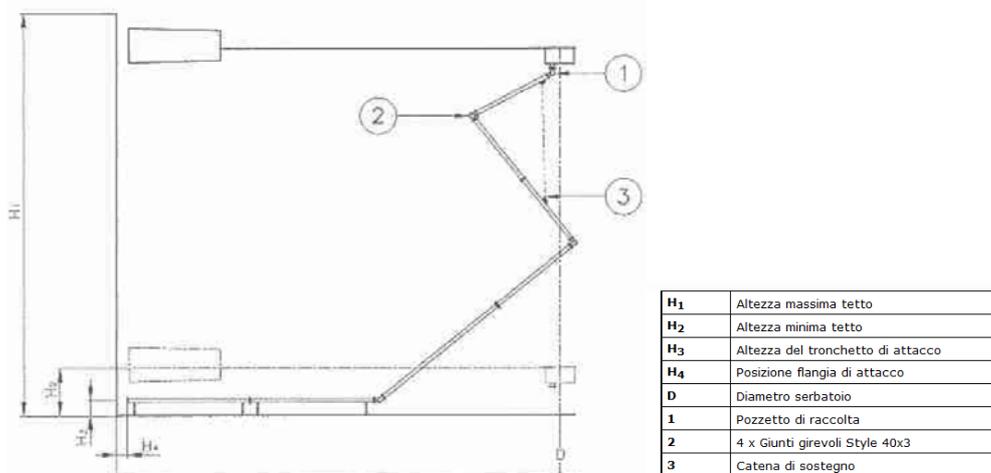


FIGURA 9 - TUBI DI DRENAGGIO TETTO GALLEGGIANTE

Sul tetto saranno predisposti portelli per regolare la ventilazione e delle valvole di sfogo, che si aprono in caso di sovrappressione.

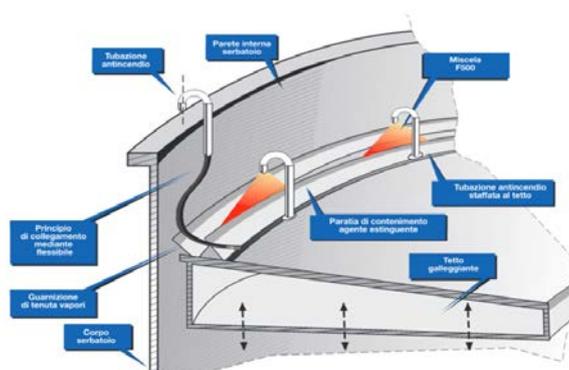


FIGURA 10 - SPACCATO SERBATOIO A TETTO GALLEGGIANTE

Tutti i componenti il sistema di tenuta (incluse molle, scudi, guarnizioni di tenuta, ecc.) e tutti i tubi di campionamento e pali guida dal tetto galleggiante dovranno essere isolati elettricamente.

Si raccomanda specificatamente un livello di isolamento di "decine di KV" ed una distanza di fine scarica [flashover] di almeno 75 mm.

Isolando questi componenti, infatti, si indirizzano le correnti di fulminazione verso percorsi preferenziali (shunts e conduttori by-pass) scongiurando così la formazione di archi elettrici fra tetto e mantello.

5.4 BACINO DI CONTENIMENTO

Per ottemperare a quanto disposto dall'art. 15 del D.M. 31 luglio 1934 e s.m.i., i serbatoi di stoccaggio della benzina saranno alloggiati ciascuno entro un bacino di contenimento tale da contenere, per motivi di sicurezza, la totalità del volume effettivo di liquido stoccato (6000 mc); i serbatoi per lo stoccaggio del gasolio, disposti tra

loro ad una distanza di 10,0 m, saranno contenuti a coppia entro un bacino avente capacità pari alla terza parte di quella complessiva effettiva dei liquidi stoccati (1/3 di 12000 mc).

I bacini di contenimento saranno provvisti di sistema di drenaggio verso pozzetti interni e a tenuta per la raccolta delle acque piovane e degli eventuali ed accidentali sversamenti.

Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato RD – 3.2

5.5 ACCESSORI

Nella parte bassa del fasciame cilindrico del serbatoio saranno disposti due **passi d'uomo** di diametro pari a **24"**, diametralmente opposti, per l'accesso all'interno e per l'aereazione.

Il tetto galleggiante presenterà anch'esso due **passi d'uomo** diametralmente opposti da **24"** per la sola aereazione e dovrà avere alcuni sfiatatoi con rete metallica o altro dispositivo conveniente, per l'equilibrio delle tensioni e per opporsi alla retroversione delle fiamme.

I serbatoi saranno provvisti di **indicatori di livello**, di vetro retinato (o di resistenza equivalente), ognuno dei quali dovrà avere rubinetti o valvole di intercettazione.

Saranno disposti inoltre una scala metallica in acciaio con corrimano $h=1,10$ m e passerella alla sommità e le prese per il riempimento e il vuotamento del serbatoio di diametro pari a **6"**.

Per la benzina è consigliata 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 acque piovane saranno opportunamente filtrate in impianto dedicato, e dopo la separazione le acque oleose saranno temporaneamente stoccate nel serbatoio *slop*, mentre le acque pulite saranno riutilizzate per i servizi dell'impianto.

Le pompe asservite ai serbatoi di stoccaggio saranno ubicate in apposite piazzuole impermeabili ed adeguatamente cordolate ai fine di contenere eventuali spandimenti.

All'interno del bacino saranno garantiti i percorsi sia per l'accessibilità, per il normale esercizio e per le situazioni di emergenza.

L'area in questione verrà attrezzata con un edificio destinato a locali uffici e servizi per l'attività amministrativa dell'azienda.

I serbatoi, i percorsi di carico e scarico, le trincee e l'area pompe, saranno servite da impianto antincendio autonomo, con alimentazione idrica da vasca di accumulo.

Il deposito verrà collegato attraverso una condotta di adduzione alla banchina di riva del porto di Brindisi ove potranno attraccare le navi cisterna da circa 20.000 tonnellate di prodotto, di cui il 70% gasolio (14.000 t) e 30% benzine (6.000 t). Tale condotta, realizzata con tubi a doppia parete, e monitoraggio in continuo delle eventuali perdite, si svilupperà per circa ml 450,00 di cui ml 180,00 all'interno dell'area portuale.

Sotto lo spigolo perimetrale del fondo dovrà disporsi una soletta, con pendenza e canaletta per la raccolta e smaltimento delle acque piovane e di quelle di irrorazione, il quale faccia capo a due pozzetti di scarico, raccordati con una vasca a trappola, collegata, mediante tubazione allo scarico più idoneo.

Nella parte superiore il passo d'uomo sarà del tipo "Pesante-Flangiato" fornito di guarnizione in gomma sintetica antibenzina e bulloni a martello zincati. Sulla flangia di chiusura del passo d'uomo saranno flangiate le tubazioni di aspirazione che dai serbatoi raggiungeranno la baia di carico e i tubi di equilibrio di adatto diametro colleganti i serbatoi agli sfiati. Questi ultimi saranno posti all'esterno in un'adeguata zona del piazzale, realizzati con tubazioni elevate a 3 m di altezza dal suolo e dotati di terminali tagliafiamma; tubi di carico che rimarranno a 20/25 cm dalla superficie interna del chiusino sovrastante il serbatoio ed a 15 cm dal fondo interno del serbatoio, attraverso tale tubazione all'interno del pozzetto passo d'uomo sarà anche possibile effettuare le misurazioni del livello del carburante all'interno del serbatoio mediante l'asta metrica.

Così come indicato nella "Planimetria generale" (EG.4) andrà predisposta altresì una barriera arborea di mascheramento lungo tutto il lato fronte mare del bacino di contenimento.

6 DIMENSIONAMENTO GEOMETRICO SERBATOI

6.1 CALCOLO SPESSORE VIROLE

I serbatoi saranno caratterizzati da un mantello composto da più corsi di lamiera (virole) aventi spessori decrescenti lungo l'elevazione come mostrato nello schema a seguire

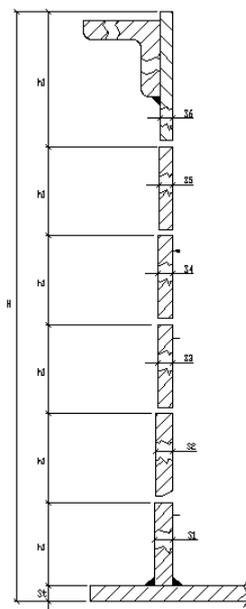


FIGURA 11 - SEZIONE TIPO MANTELLO

Per il dimensionamento degli spessori delle virole è stato fatto riferimento alla normativa americana API 650 e precisamente al punto 5.6.3 e all'appendice A.

A tal proposito, la normativa su menzionata prevede il calcolo dei serbatoi caratterizzati da un diametro inferiore ai 61 metri, secondo il "1-foot method".

Secondo quest'ultimo lo spessore minimo richiesto nel punto di calcolo posto a 30 cm dalla base della virola in considerazione dev'essere pari a :

$$t = \frac{4,9 * D(H - 0,3) * G}{(E) * 145} + CA$$

Dove

D rappresenta il diametro del serbatoio

H rappresenta l'altezza misurata dalla base della virola considerata al pelo libero del liquido

G rappresenta il peso specifico del liquido contenuto

CA rappresenta la tolleranza alla corrosione pari a 1 mm

E rappresenta l'efficienza dei nodi pari a 0,7

Per il caso in esame, ipotizzando che il numero di virole sia pari ad 8 per un'altezza di 2 m circa ciascuna si è ottenuto:

serbatoio benzina	
Spessori virole	
Virola 1	14 mm
Virola 2	12 mm
Virola 3	10 mm
Virola 4	10 mm
Virola 5	8 mm
Virola 6	6 mm
Virola 7	6 mm
Virola 8	6 mm

serbatoio gasolio	
Spessori virole	
Virola 1	18 mm
Virola 2	16 mm
Virola 3	14 mm
Virola 4	12 mm
Virola 5	10 mm
Virola 6	8 mm
Virola 7	6 mm
Virola 8	6 mm

6.2 DIMENSIONAMENTO FONDO SERBATOIO

La piastra di fondo sarà composta da più lamiere, ed avrà uno spessore uniforme su tutta la sua superficie (9 mm) tranne che nel trincarino, la zona in corrispondenza del mantello, che presenterà uno spessore maggiore pari a

15 mm, per irrigidire la zona di base che eventualmente si solleverà durante il sisma (Rif par. 6.4) La zona di collegamento con il mantello si differenzia dalla porzione centrale quindi sia per la forma e la disposizione delle lamiera con cui è formata sia per il collegamento scelto tra una componente e l'altra (fig. 12).

Il trincarino, cioè l'anello più esterno della piastra di base su cui si imposta le pareti del serbatoio, sarà collegato al mantello e alla lamiera di fondo nel seguente modo:

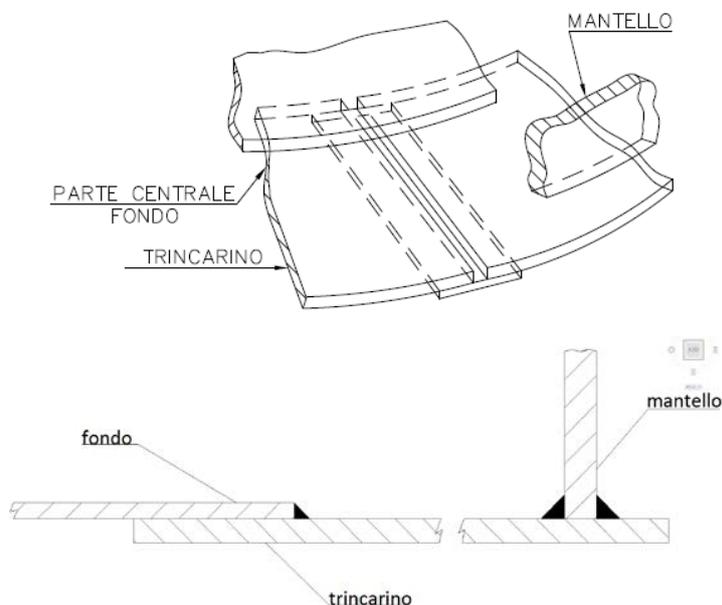


FIGURA 12 - SCHEMA TIPO COLLEGAMENTI MANTELLO - TRINCARINO - FONDO

Le lamiera di fondo saranno saldate l'una con l'altra e ogni elemento sarà leggermente sovrapposto agli adiacenti per consentire una saldatura a cordoni d'angolo. In particolare questa sovrapposizione deve essere pare almeno a 25 mm.

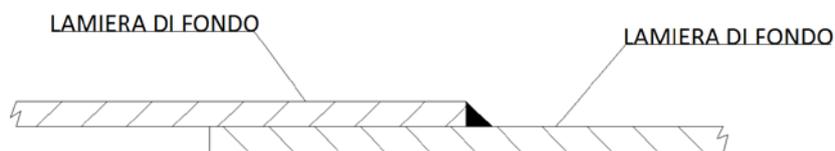


FIGURA 13 - SEZIONE TIPO COLLEGAMENTO LAMIERA DI FONDO - LAMIERA DI FONDO

Le varie piastre che compongono il trincarino saranno collegate fra loro con una saldatura di testa; il collegamento sarà irrigidito da una ulteriore piastra sottostante, saldata ad angolo con i due elementi da collegare (fig.14).

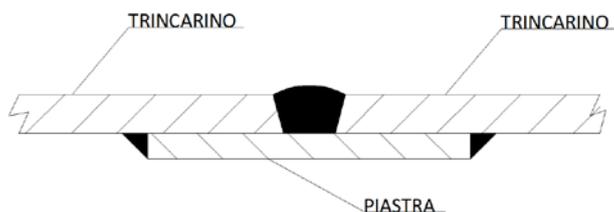


FIGURA 14 - SEZIONE TIPO COLLEGAMENTO PORZIONI TRINCARINO

Per quanto riguarda il mantello, come già detto, questo risulterà composto, da otto livelli di differenti spessori, uno sovrapposto all'altro. Il livello più basso sarà saldato al trincarino sottostante, attraverso due saldature al angolo, mentre al livello più alto, saranno saldati dei profili al L di contenimento della struttura dei quali il più basso fungerà da corrente di irrigidimento per far fronte alle azioni orizzontali.

Tali angolari avranno dimensioni 50x50x6 mm per il serbatoio di stoccaggio benzina e 75x75x10 per il serbatoio di stoccaggio gasolio, come indicato al punto 5.1.5.9 della normativa API 650

6.3 DIMENSIONAMENTO ALTEZZA VIROLE – VERIFICA PER CARICO IDROSTATICO

Il dimensionamento dell'altezza delle virole è strettamente connesso alla verifica che il comportamento del serbatoio sia assimilabile a quello di un serbatoio semi illimitato.

Se questo comportamento è verificato per carichi di tipo assialsimmetrico, come ad esempio il carico idrostatico, il calcolo può essere condotto seguendo l'analogia della botte a doghe (meridiani) cerchiata da anelli metallici (paralleli).

In questo modo è immediato valutare la ripartizione dei carichi, poiché questi possono essere pensati applicati ai meridiani, trattenuti dai paralleli.

A tale riguardo si nota come gli sforzi di meridiano coinvolgano zone ben distinte, come la sezione di base e le interfacce fra le virole a spessore diverso, per ripristinare localmente le condizioni di congruenza.

Allontanandosi da questi punti di discontinuità le tensioni passano dai meridiani ai paralleli.

All'interno della parete si sovrappongono quindi due regimi statici:

- Il primo è un regime di membrana e coinvolge le strisce anulari che assorbono interamente il carico idrostatico ad esse applicate nel caso di cilindro libero da vincoli.
- Il secondo rappresenta il regime flessionale delle strisce di meridiano che, nell'intorno dei punti di discontinuità, si instaura per ripristinare la congruenza; tale effetto viene smorzato dall'azione cerchiante dei paralleli allontanandosi dalle estremità.

Nello specifico, affinché questo comportamento sia soddisfatto deve essere verificato che:

$$\lambda < h \text{ virola}$$

Dove λ individua la lunghezza d'onda a cui risulta correlata la capacità smorzante dei paralleli. Le strisce anulari infatti, oltre ad equilibrare una quota parte del carico esterno, oppongono con la loro rigidità estensionale anche un contrasto agli spostamenti radiali indotti lungo la parete dalle azioni che nascono ai bordi per ripristinare le condizioni locali di congruenza o di equilibrio ed i cui effetti si estinguono in una distanza pari appunto alla lunghezza d'onda.

Per il serbatoio di stoccaggio benzina è stato ottenuto quanto segue:

RIGIDENZE ANULARI (DI PARALLELO)		
K1	40159,2	KN/mc
K2	34422,17	KN/mc

K3	28685,14	KN/mc
K4	28685,14	KN/mc
K5	22948,12	KN/mc
K6	17211,09	KN/mc
K7	17211,09	KN/mc
K8	17211,09	KN/mc

PARAMETRO GEOMETRICO b	
b1	3,83
b2	4,14
b3	4,53
b4	4,53
b5	5,07
b6	5,85
b7	5,85
b8	5,85

RIGIDENZE DI MERIDIANO		
EJ1	48,396	KN m/m
EJ2	30,477	KN m/m
EJ3	17,637	KN m/m
EJ4	17,637	KN m/m
EJ5	9,030	KN m/m
EJ6	3,810	KN m/m
EJ7	3,810	KN m/m
EJ8	3,810	KN m/m

Lc	
Lc1	0,260997
Lc2	0,241637
Lc3	0,220583
Lc4	0,220583
Lc5	0,197295
Lc6	0,170863
Lc7	0,170863
Lc8	0,170863

λ	
λ_1	1,6398942
λ_2	1,518247
λ_3	1,3859636
λ_4	1,3859636
λ_5	1,2396435
λ_6	1,0735628
λ_7	1,0735628
λ_8	1,0735628

Per il serbatoio di stoccaggio gasolio è stato ottenuto invece:

RIGIDENZE ANULARI (DI PARALLELO)		
K1	51633,26	KN/mc
K2	45896,23	KN/mc
K3	40159,2	KN/mc
K4	34422,17	KN/mc
K5	28685,14	KN/mc
K6	22948,12	KN/mc
K7	17211,09	KN/mc
K8	17211,09	KN/mc

PARAMETRO GEOMETRICO b	
b1	3,38
b2	3,58
b3	3,83
b4	4,14
b5	4,53
b6	5,07
b7	5,85
b8	5,85

RIGIDENZE DI MERIDIANO	
EJ1	102,860

EJ2	72,242
EJ3	48,396
EJ4	30,477
EJ5	17,637
EJ6	9,030
EJ7	3,810
EJ8	3,810

Lc	
Lc1	0,295943
Lc2	0,279018
Lc3	0,260997
Lc4	0,241637
Lc5	0,220583
Lc6	0,197295
Lc7	0,170863
Lc8	0,170863

λ	
λ_1	1,8594652
λ_2	1,7531206
λ_3	1,6398942
λ_4	1,518247
λ_5	1,3859636
λ_6	1,2396435
λ_7	1,0735628
λ_8	1,0735628

Per le due differenti geometrie di serbatoio è verificato che $\lambda < h$ virola, quindi le altezze delle singole virole sono state fissate pari a:

virola	H (m)
1	2
2	2
3	2
4	2
5	2

6	2
7	2
8	1,4

6.4 PROGETTAZIONE SISMICA SERBATOI

La progettazione sismica dei serbatoi è trattata dalla stessa norma americana API 650 all'appendice E.

Ai fini dell'analisi sismica è stato necessario valutare lo spessore uniforme equivalente del mantello calcolato attraverso una media pesata, usando come pesi le distanze del punto medio delle singole virole dal pelo libero del fluido.

Lo spessore equivalente uniforme del mantello calcolato è risultato essere pari a

$t_u=10,94$ mm per il serbatoio di stoccaggio benzina

$t_u=14,20$ mm per il serbatoio di stoccaggio gasolio

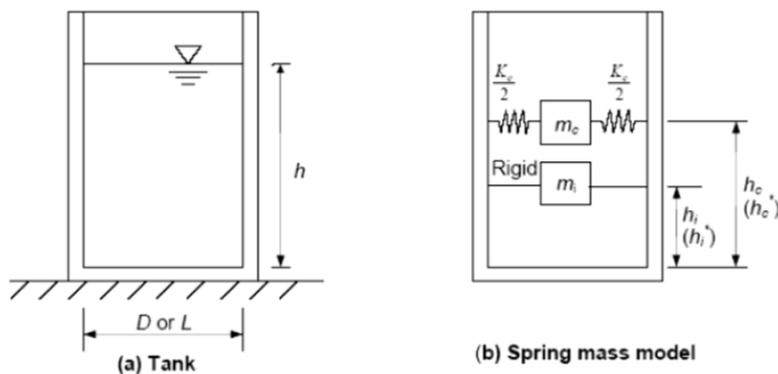
L'altezza del liquido stoccato, a vantaggio di sicurezza, è sempre stata considerata pari all'altezza del mantello ($H=15,4$ m)

ENTITÀ AZIONE SISMICA

Per il calcolo dell'azione sismica sul serbatoio si fa riferimento alla semplificazione comune a tutti i codici di calcolo, che scompone l'azione sismica in:

- Azione Impulsiva: data dalla massa di liquido inferiore che si muove con frequenza alta seguendo il movimento del mantello, presenta uno smorzamento del 5%.
- Azione Convettiva (sloshing): data dal moto ondoso della porzione superficiale del liquido; interessa una profondità di liquido tanto più elevata quanto più grande è il raggio del serbatoio. Lo smorzamento in questo caso è più ridotto, pari allo 0,5%, mentre il periodo è più elevato.

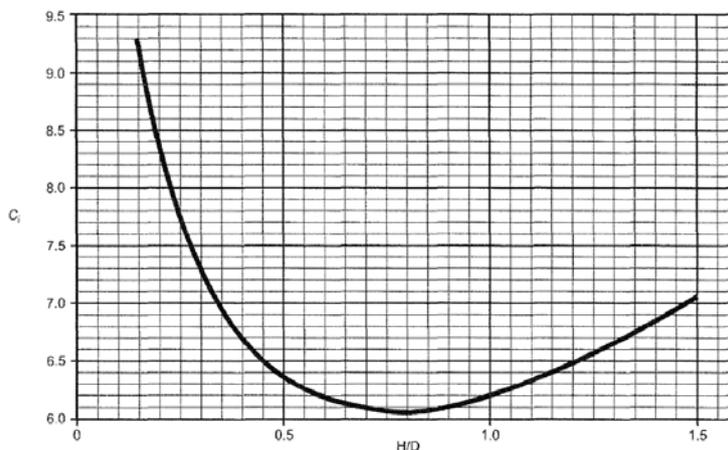
Nella figura a seguire si riporta lo schema adottato:



Per la determinazione dei periodi di vibrazione della struttura considerata sottoposta all'azione impulsiva e convettiva sono state adottate le formule di seguito riportate (punto E.4.5.1 ed E.4.5.2 dell'appendice E della normativa API 650)

$$T_i = \left(\frac{1}{\sqrt{2000}} \right) \left(\frac{C_i H}{\sqrt{\frac{t_u}{D}}} \right) \left(\frac{\sqrt{\rho}}{\sqrt{E}} \right)$$

Dove il coefficiente C_i , noto il rapporto H/D , è determinato mediante il grafico seguente:



$$T_c = K_s \sqrt{D}$$

$$K_s = \frac{0,578}{\sqrt{\tanh\left(\frac{3,68H}{D}\right)}}$$

Dove

K_s rappresenta un coefficiente specifico relativo al periodo legato all'azione di sloshing.

Per il serbatoio di stoccaggio di benzina si è ottenuto:

$$k_s = 0,578$$

Per il serbatoio di stoccaggio di gasolio si è ottenuto:

$$k_s = 0,581$$

Noti i periodi di vibrazione propri delle strutture analizzate e note le coordinate del sito su cui sorgerà il deposito previsto in progetto è stato possibile, facendo riferimento a quanto prescritto dalle NTC08, definire lo spettro di risposta elastico per il sito su cui insisterà il deposito in progetto applicando le formule di seguito riportate (par. 3.2.3.2.1 delle NTC08)

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
 T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Dove

$$\begin{aligned}
 S &= S_s \cdot S_T \\
 \eta &= \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)}} \geq 0,55 \\
 T_C &= C_c \cdot T_c^* \\
 T_B &= \frac{T_C}{3} \\
 T_D &= 4 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6
 \end{aligned}$$

Gli spettri di risposta sono stati ricavati considerando prima uno smorzamento pari al 5% (assegnabile alla struttura ed alla parte impulsiva del liquido) e successivamente pari allo 0,5% (riferibile invece alla porzione convettiva del fluido).

Noto lo spettro elastico è stato possibile ricavare lo spettro di progetto come:

$$S_d = S_e / q$$

Dove q è il fattore di struttura che consente di fare affidamento sulle risorse plastiche del materiale.

La normativa API 650 std. a tale proposito definisce un fattore di struttura per ogni componente dell'azione sismica, e nello specifico:

- Azione impulsiva $q = 3,5$
- Azione convettiva $q = 2$

Di seguito si riportano i risultati ottenuti in termini di entità dell'azione sismica sia per i serbatoi di gasolio che di benzina:

SERBATOIO BENZINA	
Ti	0,017906498
ag/g	0,0443
F0	2,52
Tc*	0,44
Cc	1,376733613
TB	0,20192093
TC	0,60576279
TD	1,7772

Ss	1
St	1
S	1
z	5
h	1
1-T/Tb	0,911319259
1/h*F0	0,396825397
T/Tb	0,088680741
Sei(g)	0,050271406
qi	3,5
Sdi(g)	0,014363259

SERBATOIO GASOLIO	
Tc	4,25646
ag/g	0,0443
F0	2,52
Tc*	0,44
Cc	1,376734
TB	0,201921
TC	0,605763
TD	1,7772
Ss	1
St	1
S	1
z	0,5
h	1,3484
Sec(g)	0,008945
qc	2
Sdc(g)	0,004472
Sdc(g)	0,1

Per lo spettro di progetto relativo all'aliquota d'azione convettiva la normativa fissa però un valore minimo pari a 0,1g , pertanto verrà utilizzato tale valore (rif. Tabella sopra riportata).

DETERMINAZIONE AZIONI

L'azione tagliante è stata determinata secondo le relazioni

$$V = \sqrt{V_i^2 + V_c^2}$$

$$V_i = A_i(W_s + W_r + W_f + W_i)$$

$$V_c = A_c \cdot W_c$$

Dove

A_i rappresenta la componente d'accelerazione dello spettro di progetto

W_s , W_r , W_f , W_i rappresentano le masse partecipanti al moto della componente impulsiva relative rispettivamente al mantello (W_s), al tetto (W_r), al fondo (W_f) e al liquido (W_i)

W_c rappresenta la massa della porzione di liquido partecipante al moto della componente convettiva

Le masse partecipanti su menzionate vengono calcolate come

$$W_i = \frac{\tanh\left(0,866 \frac{D}{H}\right)}{0,866 \frac{D}{H}} W_p$$

Valida per $D/H > 1,333$

$$W_c = 0,230 \frac{D}{H} \tanh\left(\frac{3,67H}{D}\right) W_p$$

Dove W_p è la massa totale del liquido contenuto

Per la determinazione del momento sollecitante agente sul mantello sono stati calcolati i bracci dalla base

$$X_i = \left[0,5 - 0,094 \frac{D}{H}\right] H$$

Valida per $D/H > 1,333$

$$X_c = \left[1 - \frac{\cosh\left(\frac{3,67H}{D}\right) - 1}{\frac{3,67H}{D} \sinh\left(\frac{3,67H}{D}\right)}\right] H$$

Per il momento sollecitante agente sul fondo del serbatoio invece i bracci sono stati calcolati come:

$$X_{is} = 0,375 \left[1 + 1,333 \left(\frac{0,866 \frac{D}{H}}{\tanh\left(0,866 \frac{D}{H}\right)} - 1\right)\right] H$$

$$X_{is} = \left[0,5 + 0,06 \frac{D}{H} \right] H$$

Noti i bracci, quindi, il momento sollecitante agente sul mantello è stato ottenuto come:

$$M_{rw} = \sqrt{[A_i(W_i X_i + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_c)]^2}$$

Mentre quello agente sul fondo è stato ottenuto come:

$$M_s = \sqrt{[A_i(W_i X_{is} + W_s X_s + W_r X_r)]^2 + [A_c(W_c X_{cs})]^2}$$

Le sollecitazioni ottenute sono di seguito riportate:

Per il serbatoio di stoccaggio benzina:

AZIONE TAGLIANTE		
Vi	344114,931	N
Vci	746528,8429	N
V	822022,1403	N

bracci momento sollecitante mantello		
Xi	6,1302	m
Xc	11,14800151	m

MOMENTO SOLLECITANTE mantello		
M	8585494,577	N m

BRACCI momento sollecitante fondo		
Xi	8,702	m
Xc	11,43742358	m

MOMENTO SOLLECITANTE fondo serbatoio		
M'	9048240,889	N m

Per il serbatoio di stoccaggio gasolio:

AZIONE TAGLIANTE		
Vi	565338,0386	N

Vci	1838278,69	N
V	1923246,12	N

BRACCI momento sollecitante mantello		
Xi	5,5756	m
Xc	10,17554955	m

MOMENTO SOLLECITANTE mantello		
M	18969219,89	N m

BRACCI momento sollecitante fondo		
Xi	9,056	m
Xc	11,12848027	m

MOMENTO SOLLECITANTE fondo serbatoio		
M'	21088156,44	N m

Note le sollecitazioni è stato studiato il comportamento del serbatoio sotto l'azione delle stesse mediante la determinazione del rapporto di ancoraggio J.

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [w_t(1 - 0.4A_v) + w_a - 0.4w_{int}]}$$

Dove

$$w_t = \left[\frac{W_s}{\pi D} + w_{rs} \right]$$

Rappresenta il peso del mantello e della copertura distribuito sul perimetro del serbatoio

Mentre

$$w_a = 99t_a \sqrt{F_y H G_e} \leq 201.1 H D G_e$$

Rappresenta il peso della porzione di liquido che si oppone al sollevamento della base del serbatoio

Se la relazione sopra riportata non è verificata si assume $W_a = 201,1 H D G_e$

W_{int} rappresenta il carico dovuto al sollevamento

In base al valore del rapporto di ancoraggio J possono essere distinti tre comportamenti differenti e precisamente:

- $J < \frac{\pi}{4}$ il perimetro risulta ovunque compresso
- $\frac{\pi}{4} < J < \frac{\pi}{2}$ si verifica il sollevamento (uplifting)
- $J > \frac{\pi}{2}$ il serbatoio deve essere ancorato.

Per il progetto in esame è stato ottenuto un rapporto di ancoraggio pari a

$$J = 0,438$$

Per il serbatoio di stoccaggio gasolio

$$J = 0,452$$

Per il serbatoio di stoccaggio benzina

Il fenomeno del sollevamento è strettamente connesso alle dimensioni del trincarino di fondo.

Quest'ultimo deve avere una larghezza pari a

$$L = 0.01723 t_a \sqrt{\frac{F_y}{HG_e}}$$

La quale deve essere comunque inferiore a 0,035 D.

Nel caso in cui $W_a = 201,1 HDG_e$ sarà $L = 0,035D$.

Per il caso in esame si è ottenuto:

$$L = 0,58 \text{ m}$$

Per il serbatoio di stoccaggio gasolio

$$L = 0,79 \text{ m}$$

Per il serbatoio di stoccaggio benzina

VERIFICHE MANTELLO

La verifica è stata effettuata, secondo la normativa API 650, in 2 fasi:

- 1) Verifica che le tensioni di meridiano indotte dal sisma + il peso proprio siano inferiori ad un certo valore
- 2) Verifica che le tensioni di parallelo indotte da sisma + carico idrostatico non portino a snervamento della lamiera costituente il mantello

La normativa americana definisce, al paragrafo E.6.2.2.3., la tensione sismica ammissibile F_c :

$$\text{Se } \frac{GHD^2}{t^2} > 44$$

$$F_c = 83 \frac{t_s}{D}$$

$$\text{Se } \frac{GHD^2}{t^2} < 44$$

$$F_c = 83 \frac{t_s}{2,5D} + 7.5\sqrt{GH} < 0.5F_{ty}$$

al di sotto della quale deve stare la σ_c calcolata:

$$\sigma_c = \left(W_T (1 + 0.4 A_V) + \frac{1.273 M_{rw}}{D^2} \right) \frac{1}{1000 t_s}$$

Questa seconda verifica riguarda le tensioni di parallelo, calcolate come:

$$\sigma_t = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{N_h \pm \sqrt{N_t^2 + N_c^2 + (A_V N_h)^2}}{t}$$

queste devono risultare inferiori al minore dei seguenti valori:

- tensione ammissibile di progetto incrementata del 33% = $275/1,15 \times 1,33 = 318$ MPa
- il 90% della tensione a snervamento, ridotta del fattore di efficienza delle saldature E.

Assumendo un $E = 1$; $f_{yk} = 275$ MPa

Per i serbatoi oggetto d'esame sono state verificate le relazioni sopra riportate.

Serbatoio benzina

$$\sigma_c = 7,06 \text{ N/mm}^2 < F_c = 57,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i = 9,96 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{amm} + 33\% = 218,12 \text{ N/mm}^2$$

Serbatoio Gasolio

$$\sigma_c = 5,92 \text{ N/mm}^2 < F_c = 55,87 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_i = 11,02 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{amm} + 33\% = 218,12 \text{ N/mm}^2$$

In allegato si riportano i data – sheet dei serbatoi per i quali è stato effettuato il calcolo.

7 FONDAZIONI

Ai fini del calcolo delle fondazioni si è fatto riferimento alla normativa API 650.

Data la volontà di distribuire il carico su di un'area superiore all'impronta occupata dai serbatoi si prevede di progettare una fondazione a platea.

Per il calcolo relativo a quest'ultima si rimanda all'elaborato apposito RD.3.2 Relazione di calcolo bacini di contenimento.

8 MONITORAGGIO PERDITE DI OLIO SOTTO I SERBATOI

Al fine di monitorare eventuali perdite di oli alla base dei serbatoi si prevede che esse possano essere riscontrate direttamente lungo la base del perimetro del serbatoio facendo riferimento alle linee guida dettate dalla normativa API 650 all'appendice I.

Tale monitoraggio dev'essere garantito mediante utilizzo di apposita membrana avente permeabilità non superiore a 10^{-7} cm /sec.

Oltre a tale membrana di isolamento possono essere previsti pozzetti e tubi di drenaggio.

Per proteggere la membrana da eventuali punzonamenti anche durante la fase di costruzione dovrà essere disposto un cuscino di sabbia (almeno 10 cm di sabbia) al di sopra della summenzionata platea di fondazione.

I tubi di drenaggio delle eventuali perdite saranno almeno 4 per ciascun serbatoio.

Nelle figure a seguire si riportano gli schemi relativi a quanto sopra esplicitato in merito ai tubi di drenaggio ed al cuscino di sabbia al di sopra della platea di fondazione stralciate dalla stessa normativa americana API 650:

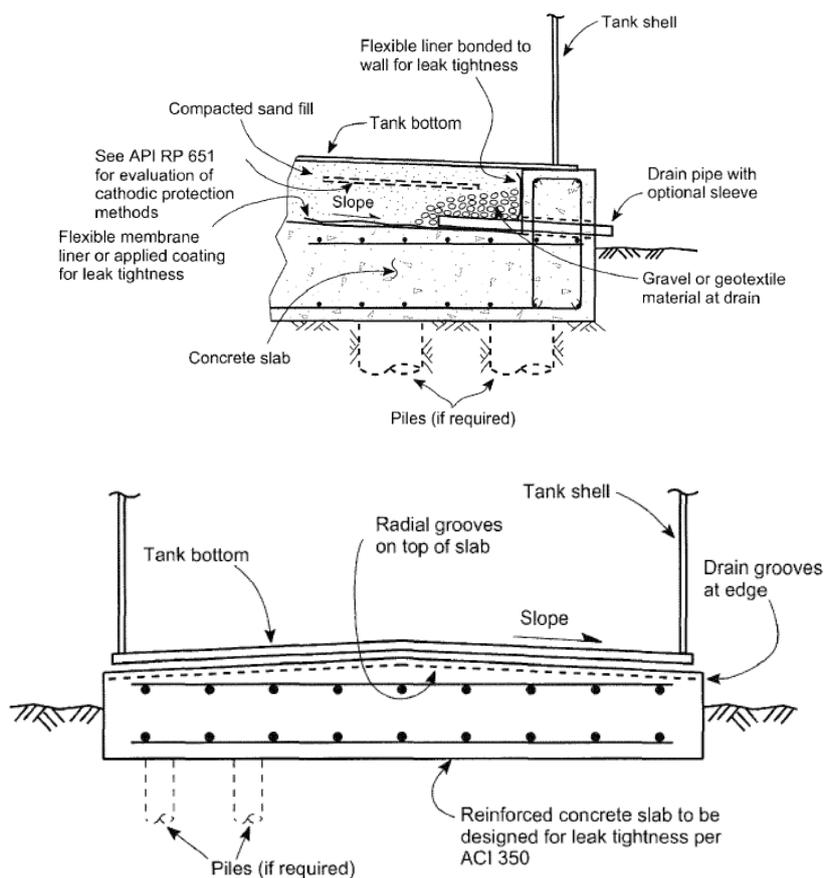


FIGURA 15 - SCHEMI INDICATIVI SISTEMI MONITORAGGIO PERDITE DI FONDO