



# Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

6687 Arapahoe Road, Boulder CO 80303-1453, USA  
(303) 447-2828 • FAX (303) 447-8122  
www.LECglobal.com

HITACHI INDUSTRIES CO. LTD. BUSINESS PARTNER

## Miglioramento della Protezione Scariche Atmosferiche dei Serbatoi di Stoccaggio

Joseph A. LANZONI - Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

Boulder, Colorado USA - Ottobre 2009

### Argomento

Gli incendi che coinvolgono i Serbatoi di stoccaggio non sono rari ed un terzo di questi sono da attribuire alla fulminazione. In particolare i Serbatoi Tetto Galleggiante, di seguito **STG**, sono più vulnerabile agli effetti delle scariche atmosferiche.

L'American Petroleum Institute, di seguito **API**, ha formato un comitato tecnico per studiare il fenomeno e trovare le soluzioni atte a contrastarne gli effetti. Il risultato di questo lavoro è la pubblicazione del documento **API RP 545** intitolato: *Raccomandazioni per la protezione dai fulmini dei Serbatoi Aerei di Stoccaggio per Liquidi infiammabili o Combustibili [Recommended Practice for Lightning Protection of Above Ground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids]*. E' auspicabile che questa raccomandazione diventi a breve uno standard tecnico.

Il comitato **API** ha investito le proprie risorse nello studio diretto del fenomeno e nei test di verifica. Due dei principali rilievi emersi durante il programma di prove sono:

1. quando la corrente del fulmine passa tra gli SHUNTS ed il Mantello del Serbatoio, si verifica sempre un Arco Elettrico.
2. sono i componenti lenti della scarica che innescano i vapori di prodotto.

Infatti quando i componenti lenti della scarica passano attraverso il collegamento tra Tetto Galleggiante e il Mantello del Serbatoio, se sono presenti vapori infiammabili, questi verranno probabilmente innescati. Come risultato del lavoro della commissione la raccomandazione **API RP 545** indica **3** principali modifiche da apportare ai **STG**:

1. Installare SHUNTS di tipo "sommerso" tra il Tetto Galleggiante e il Mantello ogni **3** metri lungo tutta la circonferenza del Tetto Galleggiante e rimuovere tutti quelli esistenti al di sopra del Sistema di Tenuta.
2. Isolare elettricamente 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.
3. Installare dei conduttori di collegamento tra il Tetto Galleggiante ed il Mantello ogni **30** metri, lungo tutta la circonferenza del Tetto Galleggiante. Questi conduttori devono essere più corti possibile e spazati regolarmente lungo la circonferenza del Tetto Galleggiante.

Entrambe le modifiche **#1** e **#2** richiedono una sostanziale riprogettazione del sistema esistente ed un aggiornamento oneroso per la modifica del Serbatoio. Le modifiche **#1** and **#3** sono entrambi metodi per mettere a terra tra Mantello e Tetto Galleggiante del Serbatoio. La modifica **#3**, che consiste nella installazione di conduttori di collegamento, si rivela relativamente semplice e poco costosa, comparata alle altre modifiche oltre a poter essere messa in servizio immediatamente.

Per soddisfare i requisiti di collegamento, i proprietari dei Serbatoi possono scegliere tra i conduttori tradizionali (cavi continui) oppure utilizzare conduttori regolabili montati su Arrotolatori a Molla. Un Serbatoio a Tetto Galleggiante è maggiormente esposto a rischio quando il Tetto Galleggiante è in posizione alta. I conduttori regolabili sono sempre mantenuti dall'Arrotolatore più corti possibile e offrono in sostanza la minore impedenza quando il Tetto Galleggiante è in posizione alta.

**Lightning Eliminators & Consultants, Inc.** ha brevettato un Arrotolatore con conduttore di continuità elettrica per Serbatoi a Tetto Galleggiante chiamato **RGA**. Per ridurre in maniera sostanziale il rischio legato alla fulminazione in un Serbatoio a Tetto Galleggiante gli **RGA** possono essere installati immediatamente senza necessità di mettere il Serbatoio fuori servizio, come richiesto dagli altri tipi di intervento a protezione del Serbatoio.

Dal momento che sono i componenti lenti della scarica atmosferica quelli che innescano i vapori infiammabili di prodotto e bay-passando i conduttori tradizionali (SHUNTS) è necessario porre rimedio adottando un adeguato drenaggio di tali componenti lente (installazione di conduttori di bypass. ). Installando gli Arrotolatori **RGA** sui Serbatoi a Tetto Galleggiante si reduce drasticamente fino ad eliminare il rischio di innesco dell'incendio del Serbatoio in caso di fulminazione.

### **Background**

La fulminazione quale causa dell'incendio di Serbatoi di stoccaggio di prodotti infiammabili è più comune di quanto si possa pensare. Con riferimento alla verifica sugli incendi riguardanti Serbatoi nel periodo che va dal 1951 al 2003, si sono rilevati una media di **15-20** incendi per anno. Il tipo di incendio varia considerevolmente, passando dal singolo interessamento dello Spazio Anulare, all'incendio contemporaneo di più Serbatoi.

Dei **480** incendi rilevati, circa **1/3** sono attribuibili alla fulminazione [Rif. 1]. Un'altra indagine commissionata da 16 industrie petrolifere, ha evidenziato che ben **52** dei **55** incendi, sviluppatasi nello Spazio Anulare, sono stati originati dalla scarica atmosferica, tanto da concludere che la fulminazione è la causa più comune di innesco d'incendio [Rif. 2].

Due recenti incendi negli Stati Uniti hanno attirato l'attenzione dei media. Nell'estate 2008 un Serbatoio a Kansas City si è incendiato ed ha continuato a bruciare per due giorni.

Durante l'estate 2007 un Serbatoio a Tetto Galleggiante a Wynnewood, Oklahoma, era stato colpito ed incendiato. In entrambi i casi, oltre al considerevole costo del prodotto perso, vanno aggiunti altri elevati costi difficilmente valutabili, incluso il danneggiamento dei materiali dell'impianto, l'interruzione del servizio legato al Serbatoio, l'impatto ambientale, l'utilizzo dell'antincendio, i costi di recupero e riparazione, i costi di ri-certificazione ( EPA OSHA ecc.), la perdita di immagine presso la popolazione del territorio ecc..

### **Serbatoi a Tetto Galleggiante e Sistemi di Tenuta**

I prodotti petroliferi, quali Benzine e Gasoli grezzi, sono normalmente stoccati in Serbatoi a Tetto Galleggiante (di seguito **STG**).

**STG** è un tipo di Serbatoio dove il Tetto Galleggiante galleggia sul prodotto staccato. Il Tetto Galleggiante è costruito in acciaio e a seconda che il Serbatoio venga riempito o svuotato, si posiziona in alto o in basso all'interno del Mantello del Serbatoio.

Sulla circonferenza del Tetto Galleggiante è installato un Sistema di Tenuta per prevenire l'uscita dei vapori verso l'atmosfera. Questi Sistemi di Tenuta possono essere costituiti da materiali non conduttivi o scarsamente conduttivi quali: Gomme Neopreniche e/o Poliuretaniche.

Esistono diversi tipi di Sistema di Tenuta. Quello tipico è descritto alla fig.1, dove due guarnizioni (definite guarnizione Primaria e Secondaria) sono installate nello Spazio Anulare tra Mantello e Tetto Galleggiante. Il materiale delle guarnizioni può essere non conduttivo, isolando così il Tetto Galleggiante dal Mantello, impedendo quindi il collegamento equipotenziale di terra.

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.

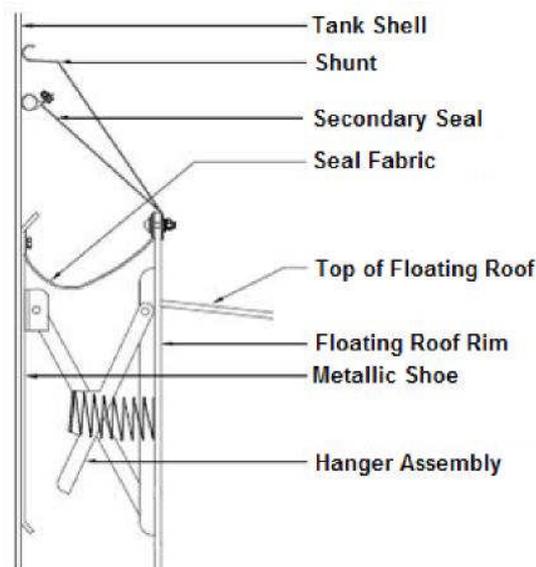


Figura 1: Spaccato interfacciamento tra Tetto Galleggiante e Mantello Serbatoio

In caso di imperfetto contatto del Sistema di Tenuta tra il Mantello e il Tetto Galleggiante, i vapori del prodotto petrolifero possono fuoriuscire in parte e miscelarsi in atmosfera creando una miscela di vapore infiammabile. Pertanto la classificazione di quest'area è: **Zona 1 Divisione 1** che si estende dal Tetto Galleggiante alla sommità del Mantello del Serbatoio.

### **Incendio da fulminazione**

I fulmini sono caratterizzati da una intensa scarica di corrente in un tempo estremamente breve. Ad esempio, un fulmine di media intensità scarica **30.000** Ampere di corrente nel terreno in pochi millisecondi. Questa corrente scorre dal terreno alla cella temporalesca annullando il differenziale elettrico. La corrente scorre in tutte le direzioni sebbene la sua quantità può variare nei punti a minore impedenza. Alcuni parametri base delle scariche atmosferiche sono riportate nella Appendice 1 del presente documento.

I punti di contatto più frequenti dove si scarica un fulmine sul **STG** sono: la parte più alta dello Spazio Anulare e i Pali Guida del Tetto Galleggiante. In particolare il fulmine potrebbe colpire: il Tetto Galleggiante, il Mantello, le parti staccate dal Tetto Galleggiante/Mantello (es. Pali Guida), la struttura di Messa Terra oppure il terreno circostante.

Se una di queste posizioni viene colpita, una parte della corrente scorre lungo l'interfaccia Mantello/Tetto Galleggiante, come raffigurato nella figura.2.

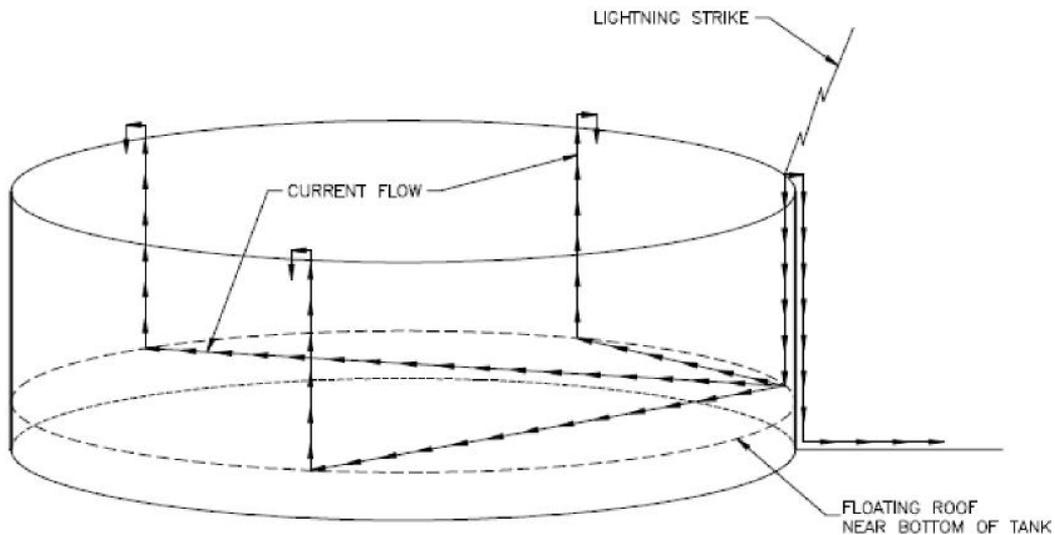


Figura 2: Flusso di corrente generato dal fulmine che colpisce il Mantello del Serbatoio.  
(N.B. La corrente fluisce attraverso l'interfaccia Tetto Galleggiante/Mantello in numerosi punti)

Se il fulmine colpisce un punto vicino al **STG**; sia esso il terreno oppure la struttura di Messa Terra (vedi figura 3), flussi di corrente più modesti scorreranno lungo l'interfaccia Tetto Galleggiante/Mantello. In entrambi i casi, le correnti generate dal fulmine passeranno attraverso detta interfaccia, e se l'impedenza tra Mantello/Tetto Galleggiante è elevata, si genererà un Arco Elettrico che attraverserà il Sistema di Tenuta.

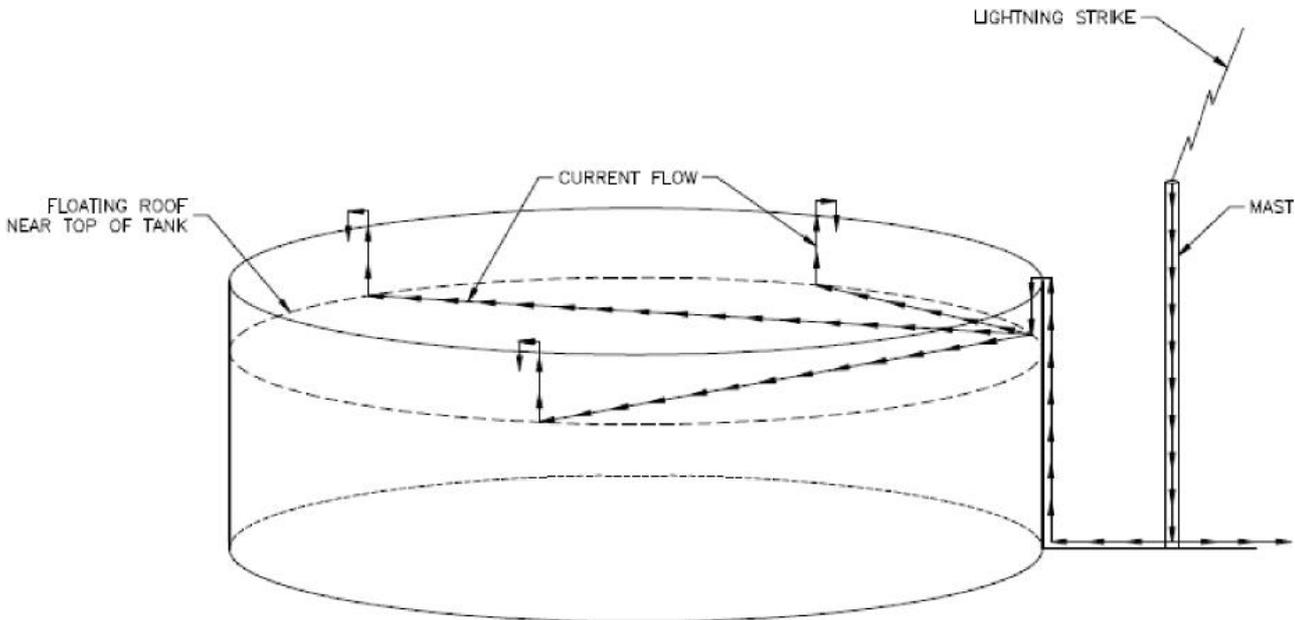


Figura 3: Flusso di corrente risultante dalla fulminazione nella zona circostante il Serbatoio  
(N.B. la corrente scorre attraverso l'interfaccia Tetto Galleggiante/Mantello in diversi punti della circonferenza)

La scarica atmosferica contiene numerosi componenti (vedere Figura 4) che sono definiti nella Tabella 1. La componente più breve, o prima scarica (A), è estremamente rapida e contiene il picco più elevato di corrente. La componente lunga (C) contiene meno corrente di (A), ma dura nel tempo molto di più rispetto le altre componenti e quindi contiene più energia. La componente (C) può durare  $500 \div 2.000$  volte più a lungo della componente (A).

Fra le componenti (A) e (C) c'è una componente transitoria di media durata (B). Dopo la (C) si manifesta un successivo ritorno di corrente (D) che continua a fluire fino a esaurimento di tutta la sua energia.

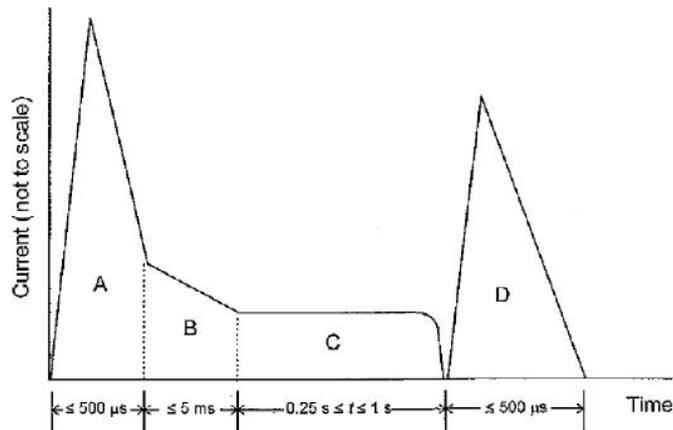


Figura 4: Componenti Corrente Fulminazione

	Ampiezza	Trasferimento di Carica	Durata
Componenti Corrente Fulminazione	Kilo-Ampere	Coulomb	Millisecondi
<b>A</b> (Breve, prima scarica)	200 (+10%) picco	NA	$\leq 0,5$
<b>B</b> (Media)	2 ( $\pm 20\%$ ) media	10 ( $\pm 20\%$ ) max	$\leq 5$
<b>C</b> (Lunga)	0,2 $\div$ 0,8	200 ( $\pm 20\%$ )	250 $\div$ 1000
<b>D</b> (Breve, scarica di ritorno)	100 ( $\pm 10\%$ ) picco	NA	$\leq 0,5$

Tabella 1: Parametri dei componenti del Fulmine [Rif. 3]

### Interfaccia Tetto Galleggiante/Mantello

E' imperativo che il Tetto Galleggiante sia 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, 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 trattiene dal Sistema di Tenuta, potrebbero innescare un grave incendio.

## **Tre sistemi tradizionali per stabilire l'Equipotenzialità fra Tetto Galleggiante e Mantello Serbatoio**

### **1. Shunts**

Per mantenere l'Equipotenzialità fra Tetto e Mantello, i costruttori di **STG** installano dispositivi chiamati SHUNTS che sono fatti in Acciaio per Molle. Gli SHUNTS sono collegati al Tetto in modo tale da garantire un costante contatto con il Mantello indipendentemente dalla posizione del Tetto Galleggiante. La resistenza di contatto dipende dalle caratteristiche del materiale che costituisce lo SHUNT e dalla sua pressione contro la parete del Serbatoio.

**NFPA 780**, lo Standard che regola l'installazione dei Sistemi Protezione Fulmini, richiede che gli SHUNTS siano distanziati non più di **3 m** l'uno dall'altro lungo tutta la circonferenza del Serbatoio, che la loro larghezza sia di **50 mm** con uno spessore di **0.4 mm** e che siano costruiti in Acciaio **AISI 302** [Rif. 4]. Gli SHUNTS sono imbullonati sul bordo del Tetto Galleggiante e piegati in modo da premere contro la parete del Mantello (vedere Figura 5).

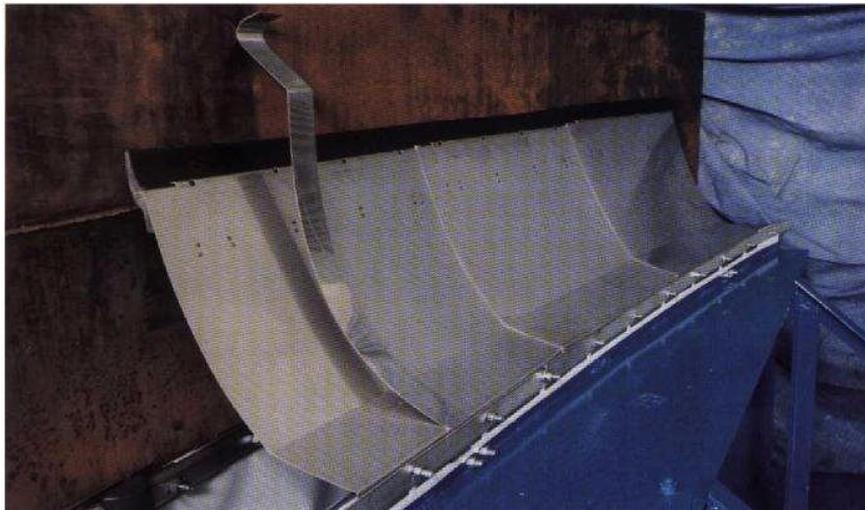


Figura 5: Sezione di STG con SHUNT sopra la Tenuta

Gli SHUNTS non sono sempre in grado di garantire un contatto a Bassa Impedenza per i seguenti motivi:

1. Presenza di componenti degli Oli pesanti quali: Cere, Paraffine, ecc. che tendono a spalmarsi sulla superficie interna del Mantello formando una barriera resistiva al contatto con gli SHUNTS.
2. Corrosione interna sulla parete del Mantello che aumenta la resistenza di contatto fra SHUNT e Mantello.
3. Dal **10-25%** degli **STG** sono protetti all'interno con vernice epossidica. Indipendentemente dal fatto che la protezione ha lo scopo di prevenire la corrosione del Mantello, la vernice che copre la sua parete interna funge da isolante.

4. Serbatoi di grosso diametro possono essere facilmente fuori rotondità di parecchi pollici. Se per qualche ragione il Serbatoio dovesse subire degli allungamenti, gli SHUNTS perderanno il contatto con il Mantello (vedere Figura 6).

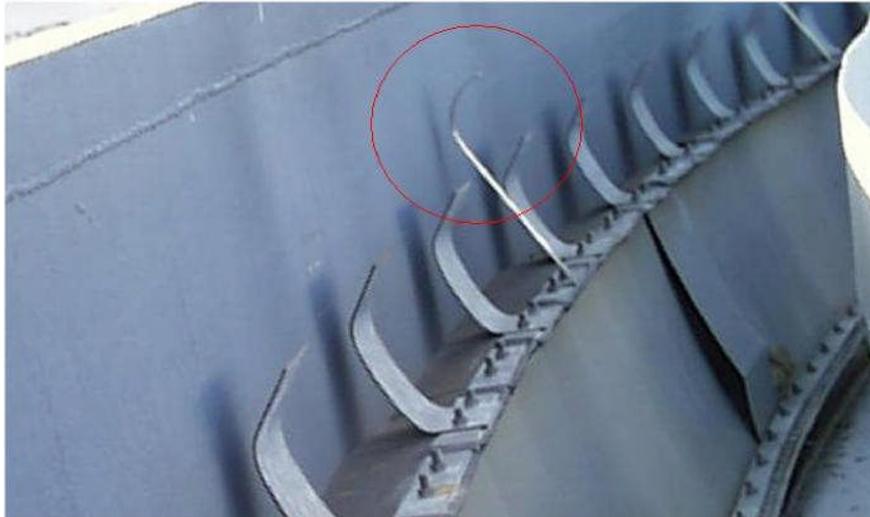


Figura 6: Shunt non a contatto con il Mantello su Serbatoi Eccentrici.

Test effettuati in Inghilterra da Terze Parti in collaborazione con API e ENERGY INSTITUTTE, hanno chiaramente dimostrato che l'Arco Elettrico può scoccare fra SHUNT e Mantello indipendentemente dal fatto che gli SHUNTS siano puliti o sporchi, nuovi o vecchi; trascurati o mantenuti. E non importa neppure se la superficie interna del Mantello è pulita, corrosa, pitturata o rivestita. L'Arco Elettrico può essere innescato in tutte queste situazioni (vedere Figura 7).

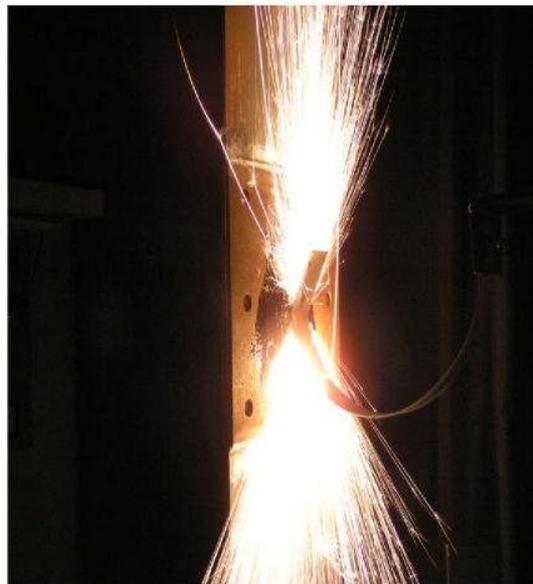


Figura 7: Simulazione di Arco Elettrico fra SHUNT e Mantello.

Ci possiamo aspettare l'innesco dell'Arco Elettrico fra SHUNT e Mantello in qualunque momento, sia che lo SHUNT sia sopra il Tetto oppure immerso nel prodotto. Se lo SHUNT è sopra il Tetto, il punto di innesco dell'Arco Elettrico è il peggiore possibile per effetto della maggiore concentrazione di Vapori Aria/Prodotto (Classe I, Divisione I).

## 2. Scala Oscillante

Un altro sistema utilizzato per stabilire l'Equipotenzialità fra Tetto e Mantello è costituito dalla Scala Oscillante. Tutti i **STG** hanno 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 scorre radialmente sulla rotaia per compensare la variazione di altezza del Tetto.

La qualità della conduttività della Scala Oscillante è molto discutibile. La parte superiore della Passerella è incemierata e la giunzione può facilmente allentarsi, può corrodersi e quindi essere soggetta a soventi verniciature (isolamento elettrico). La conduttività elettrica della parte inferiore invece dipende dalla pressione esercitata sulle ruote che scorrono lungo la rotaia. Da notare che molto spesso le Passerelle sono soggette a verniciature per ovviare a problemi di corrosione.



Figura 8: Scala Oscillante

## 3. Cavo Messa Terra Tetto-Mantello

Il terzo sistema per stabile l'Equipotenzialità fra Tetto e Mantello è quello di installare un Cavo Messa Terra fra la parte superiore del Mantello e il centro del Tetto Galleggiante. Questo Cavo è tipicamente un conduttore con sezione da  $20 \div 250 \text{ mm}^2$ . Il Cavo è generalmente collegato al il Bordo di Attacco del Serbatoio vicino alla Scala Oscillante , è 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 Messa Terra si debba strappare.

Ad esempio, per un Serbatoio di  $\varnothing 60$  metri con altezza **15** metri, occorre una Cavo Messa Terra lungo almeno **35** metri per raggiungere il centro del Tetto quando il Serbatoio è vuoto. Sebbene il Cavo abbia un bassa Impedenza a **50** Hz, quando è soggetto alla più alta frequenza della corrente di fulminazione, aumenterà di molto la sua Impedenza. Pertanto in caso di scarica atmosferica, quando migliaia di Ampere fluiscono lungo tutto il Serbatoio, l'Impedenza del Cavo Messa Terra sarà insufficiente per prevenire l'Arco Elettrico fra SHUNT e Mantello.

### Standard API

A causa dell'alto rischio di incendio dei Serbatoi dovuto alle fulminazioni, **API** ha formato un Comitato Tecnico per indagare sulle cause di questi incendi, valutare i criteri di progettazione dei Serbatoi e definire uno Standard per regolamentare le procedure di stoccaggio al fine di diminuire o eliminare il rischio di incendio dei Serbatoi.

Il Comitato Tecnico ha esaminato tutte le variabili che possono causare l'incendio dei Serbatoi a partire da: Sistema Protezione Fulminazione, Sistema Messa Terra, ecc. Il Comitato Tecnico ha anche commissionato ad una Società di Sperimentazione (Culham Electromagnetics and Lightning Ltd., of Oxfordshire, United Kingdom) una ricerca mirata sui **STG (Serbatoi Tetto Galleggiante)**. La ricerca sponsorizzata da **API** ha evidenziato che gli SHUNTS sono sempre le sorgenti di innesco degli Archi Elettrici, indipendentemente dalle loro condizioni di esercizio, pulizia, sporcizia, corrosione, buona o cattiva manutenzione ed ha portato alle seguenti raccomandazioni [Rif. 5]:

Secondo **NFPA 780**, occorre installare gli SHUNTS sui **STG** almeno ogni **3 m** al di sopra della Guarnizione di Tenuta, spaziate lungo tutta la circonferenza del Serbatoio. Lo scopo degli SHUNT è quello di creare un percorso conduttivo preferenziale fra il Tetto e il Mantello per stabilire l'Equipotenzialità.

Da alcune prove condotte dal gruppo di ricerca incaricato da **API RP 545**, è stato dimostrato che gli SHUNTS possono generare piogge di scintille durante fenomeni di fulminazione diretta. Se nello Spazio Anulare sono presenti miscele di vapori infiammabili, in caso di scarica atmosferica le probabilità che si manifesti un incendio del Serbatoio sono molto elevate.

Le prove condotte hanno altresì evidenziato che :

1. E' la componente lunga del Fulmine a causare l'incendio dei vapori infiammabili e non la componente veloce [Rif. 6], poiché quest'ultima ha una durata troppo rapida ed insufficiente energia per innescare l'incendio.
2. I Connettori di Bypass conducono sia le Componenti Intermedie che quelle Lunghie della Scarica Atmosferica [Rif. 7]. Se queste componenti continuano a fluire attraverso gli SHUNTS, si manifesteranno potenti Archi Elettrici che innescheranno le miscele di vapore infiammabile presente..

### Raccomandazioni API RP 545

Dopo molti anni di prove e deliberazioni, a Ottobre 2009 **API** ha pubblicato un documento che discuteva queste preoccupazioni. Questo documento, per altro destinato a diventare un Standard, si chiama **API RP 545** ed è intitolato: *Suggerimenti pratici per la protezione dai fulmini dei Serbatoi di Stoccaggio per Liquidi infiammabili o Combustibili [Recommended Practice for Lightning Protection of Above Ground Storage Tanks for Flammable or Combustible Liquids]*.

**API RP 545** introduce le seguenti **3** raccomandazioni chiave per migliorare la sicurezza della Protezione Antifulmine dei **STG** adibiti allo stoccaggio dei prodotti petroliferi:

1. Installare SHUNTS di tipo "sommerso" tra il Tetto Galleggiante e il Mantello ogni **3** metri lungo tutta la circonferenza del Tetto Galleggiante avendo cura di immergerli per almeno **0.3** metri. Rimuovere tutti gli SHUNTS esistenti al di sopra del Sistema di Tenuta.
2. Isolare elettricamente 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. Il livello di isolamento deve essere => **1KV**.
3. Installare dei conduttori di collegamento tra il Tetto Galleggiante e il Mantello ogni **30** metri, lungo tutta la circonferenza del Tetto Galleggiante. Questi conduttori devono essere più corti possibile e spaziate regolarmente lungo la circonferenza del Tetto Galleggiante. Devono avere una resistenza massima di **0.03** Ohm ed una lunghezza tale da permettere il totale movimento del Tetto Galleggiante.

**Valutazione Raccomandazioni API RP 545**

1. **SHUNT Sommersi**: Sono utilizzati per condurre le Componenti di Breve-Intermedia durata della corrente di fulminazione.  
API conferma che l'Arco Elettrico si manifesta fra lo SHUNT e il Mantello durante le scariche atmosferiche. Tuttavia l'Arco Elettrico è considerato pericoloso solo in presenza di vapori infiammabili. Se gli SHUNTS sono "sommersi", in teoria l'Arco Elettrico si manifesta in assenza di Ossigeno il che dovrebbe scongiurare l'innescò dell'incendio.
2. **Isolamento Sistema Tenuta/Pali Guida**: Isolando questi componenti, si indirizzano le correnti di fulminazione verso percorsi preferenziali (SHUNT e Conduttori By-Pass) scongiurando così la formazione di Archi Elettrici fra Tetto e Mantello. In altre parole, si limitano i possibili percorsi di corrente a quelli preferenziali fra Tetto e Mantello (SHUNT e Conduttori By-Pass).  
Tuttavia è piuttosto discutibile se il livello di isolamento di **1 KV** sia ritenuto sufficiente per ottenere il risultato desiderato. La relazione tecnica raccomanda specificatamente un livello di isolamento di "**decine di KV**" ed una distanza di fine scarica [flashover] di almeno **75 mm** [Rif. 8]. Come riferimento, l'aria ha un dielettrico di **3 KV/mm**.
3. **Conduttori By-Pass**: Sono utilizzati per drenare le componenti a media-lunga durata della corrente di fulminazione. Una delle osservazione emerse durante la sperimentazione ha evidenziato che l'innescò dei vapori infiammabili è causato dalla componente lunga della corrente di fulminazione e non da quella breve.  
Utilizzando gli SHUNT tradizionali, l'Arco Elettrico dura abbastanza per innescare i vapori infiammabili. Poiché i conduttori di By-Pass favoriscono il fluire delle cariche elettriche, essi sono in grado di offrire un miglior collegamento a bassa impedenza fra Tetto e Mantello. Pertanto le componenti lunghe della corrente di fulminazione troveranno minor resistenza passando attraverso i conduttori di By-Pass rispetto agli SHUNT

**Impatto Raccomandazioni API RP 545**

1. **SHUNT Sommersi**: premesso che gli SHUNT sommersi richiedono una modifica della progettazione del Serbatoio rispetto agli Standard esistenti, la sostituzione degli SHUNT tradizionali con quelli sommersi sui Serbatoi in servizio comporterà elevati costi in quanto occorre svuotare e bonificare il Serbatoio per consentire al personale di entrare all'interno e accedere sopra e sotto il Tetto per parecchio tempo onde effettuare le modifiche necessarie. In aggiunta, siccome gli SHUNT sono sommersi, questi saranno molto difficili da ispezionare e manutentionare.
2. **Isolamento Sistema Tenuta/Pali Guida**: similmente al punto 1, occorre una variazione della progettazione del Serbatoio che comporta costose operazioni di ispezione e manutentione.
3. **Conduttori By-Pass**: delle **3** raccomandazioni **API**, l'istallazione di Conduttori By-Pass è senza dubbio la meno onerosa e più facile da effettuare anche sui Serbatoi in esercizio in quanto i Conduttori By-Pass possono essere montati sul Serbatoio senza che questo sia messo Fuori Servizio ed indipendentemente dalla posizione del Tetto Galleggiante. Poiché essi sono montati all'esterno, i Conduttori di By-Pass sono molto facili da ispezionare e manutentionare.

### **Conduttori By-Pass [Tipologia]**

In tutta risposta alle raccomandazioni **API**, sono stati sviluppati due tipi diversi di Conduttori By-Pass:

1. a lunghezza fissa e convenzionale
2. a lunghezza variabile con Arrotolatore

La connessione ideale fra Tetto e Mantello del **STG** dovrebbe garantire una bassa Impedenza alle varie Frequenze. Dovrebbe altresì essere semplice da installare sia su Serbatoi nuovi che su quelli già in esercizio, senza trascurare la facilità di ispezione, manutenzione ed eventuale sostituzione.

**LEC** ha sviluppato **RGA** (Retractable Grounding Assembly), un meccanismo retrattile, per garantire l'Equipotenzialità fra la struttura fissa e mobile del **STG**, che risponde a tutte queste esigenze. **RGA** offre la più bassa impedenza possibile fra Tetto e Mantello, si installa semplicemente su Serbatoi vecchi e nuovi, è facile da ispezionare e da manutenzionare. **RGA** è stato brevettato da **LEC** per il suo utilizzo sui **STG** (vedere Figura 9).



Figura 9: RGA per **STG**

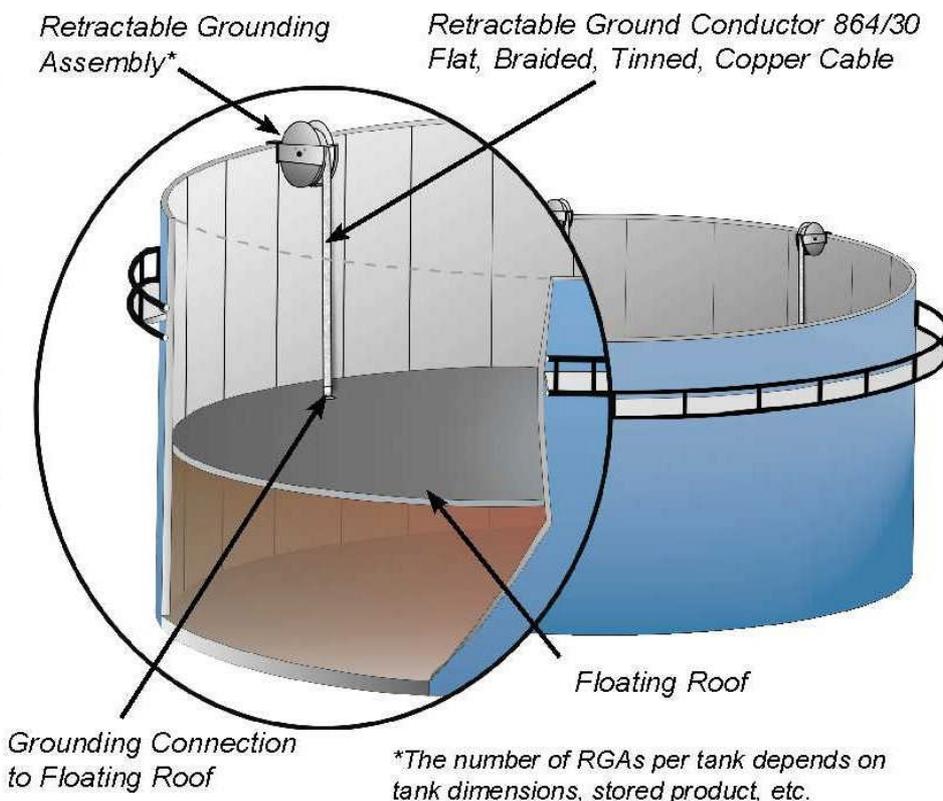
**RGA** è un Arrotolatore di Cavo con molla precaricata che si fissa fra il Tetto e il Mantello del **STG**. La custodia di **RGA** è di Acciaio Inossidabile per garantire la massima protezione anticorrosione, mentre il Conduttore di Messa Terra è una Piattina costituita da **864** Trefoli di Rame di sezione **0,05** mm<sup>2</sup>, intrecciati fra loro fino a formare una cinghia larga **41** mm con uno spessore di **2,8** mm. Il Conduttore è stagnato per ulteriore protezione anticorrosione.

La Molla Precaricata di **RGA** permette la retrazione automatica del Conduttore nell'Arrotolatore quando non è sotto tensione meccanica. Questo sistema permette di **mantenere al minimo la lunghezza del Conduttore**, indipendentemente dalla posizione del Tetto.

Poiché la Custodia dell'Arrotolatore è attaccata al bordo superiore del Mantello mentre il Cavo è collegato al Tetto, **RGA** è sempre in grado di garantire l'Equipotenzialità fra Tetto e Mantello, anche in mancanza degli SHUNTS, qualunque siano le condizioni delle pareti del Mantello.

Poichè i **STG** sono di grandi diametri, al fine di ridurre al minimo l'Impedenza fra Tetto e Mantello, la quantità di RGA è proporzionale al Diametro del Serbatoio (vedere Tabella 3).

Circonferenza Serbatoio (m)	Diametro Serbatoio (m)	Quantità RGA
≤ 60	≤ 19.10	2
≤ 90	≤ 28.65	3
≤ 120	≤ 38.20	4
≤ 150	≤ 47.75	5
≤ 180	≤ 57.30	6
≤ 210	≤ 66.84	7
≤ 240	≤ 76.39	8
≤ 270	≤ 85.94	9
≤ 300	≤ 95.49	10
≤ 330	≤ 105.04	11
≤ 360	≤ 114.59	12
≤ 390	≤ 124.14	13
≤ 420	≤ 133.69	14
≤ 450	≤ 143.24	15
≤ 480	≤ 152.79	16
≤ 510	≤ 162.34	17
≤ 540	≤ 171.89	18
≤ 570	≤ 181.44	19
≤ 600	≤ 190.99	20



**Conduttori By-Pass Convenzionali/Retraibili**

I rischi e i danni generati dalla Fulminazione diretta sul **STG** aumentano notevolmente quando il **TG** è in **posizione alta** [Rif. 9]. In queste circostanze e cioè quando il **STG** è pieno o quasi pieno, la corrente di fulminazione si scarica direttamente sugli SHUNTS in corrispondenza del punto i cui è caduto il fulmine (vedere Figura 10).

Ad esempio: se una scarica di **30KA** colpisce **1 SHUNT** con il **TG** in **posizione alta**, circa **11KA** della corrente di fulminazione fluirà attraverso quel unico SHUNT. Se invece la scarica colpisce **2 SHUNTS**, sempre con **TG** in **posizione alta**, circa **7KA** fluiranno attraverso ciascuno SHUNT. Ecco quindi che se il **TG** è in **posizione bassa** e viene colpito da una scarica atmosferica, la corrente di fulminazione, per effetto della sua distribuzione sulla parete e i suoi conduttori, giungerà sugli SHUNT con intensità molto minore.

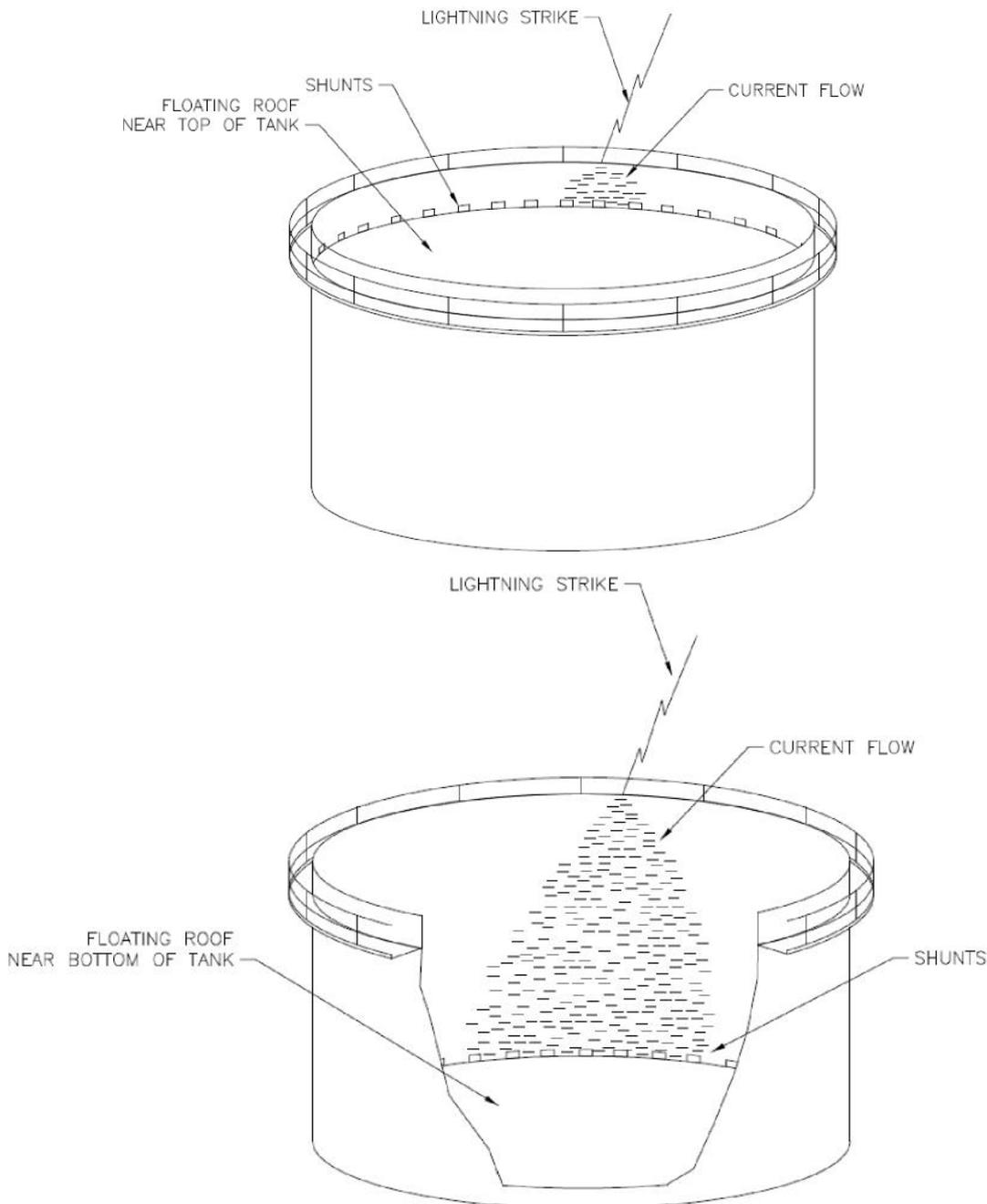


Figure 10-11: Concentrazione Corrente Fulminazione con **TG** in Posizione **Alta-Bassa**

Confrontiamo ora l'Impedenza generata dai due tipi di Conduttori By-Pass, convenzionale e retrattile (**RGA**), quando il **TG** si trova in **posizione alta** e quindi nella condizione più critica per il Serbatoio.

**By-Pass Convenzionale:** il Conduttore è adagiato sul Tetto Galleggiante per tutta la sua lunghezza formando delle spirali di forma variabile (vedere Figura 12). Per effetto della sua disposizione casuale, si possono manifestare forti attriti fra le spire del conduttore che potrebbero usurare il suo Isolamento causando delle scintille accidentale.

**By-Pass Retrattile (RGA):** Il Conduttore, grazie all'effetto dell'Arrotolatore, si troverà sempre alla lunghezza di minima estensione (vedere Figura 13), generando così **1/6 dell'Impedenza** sviluppata da un Conduttore Convenzionale, ottemperando pertanto al requisito **API RP 545** che recita "i Conduttori By-Pass devono essere della lunghezza minima necessaria..." [Rif. 12] Concludendo, è proprio quando il Serbatoio è a maggior rischio che **RGA** genera l'Impedenza più bassa permettendo così alla Corrente di Fulminazione di fluire il più velocemente possibile scaricandosi verso terra.

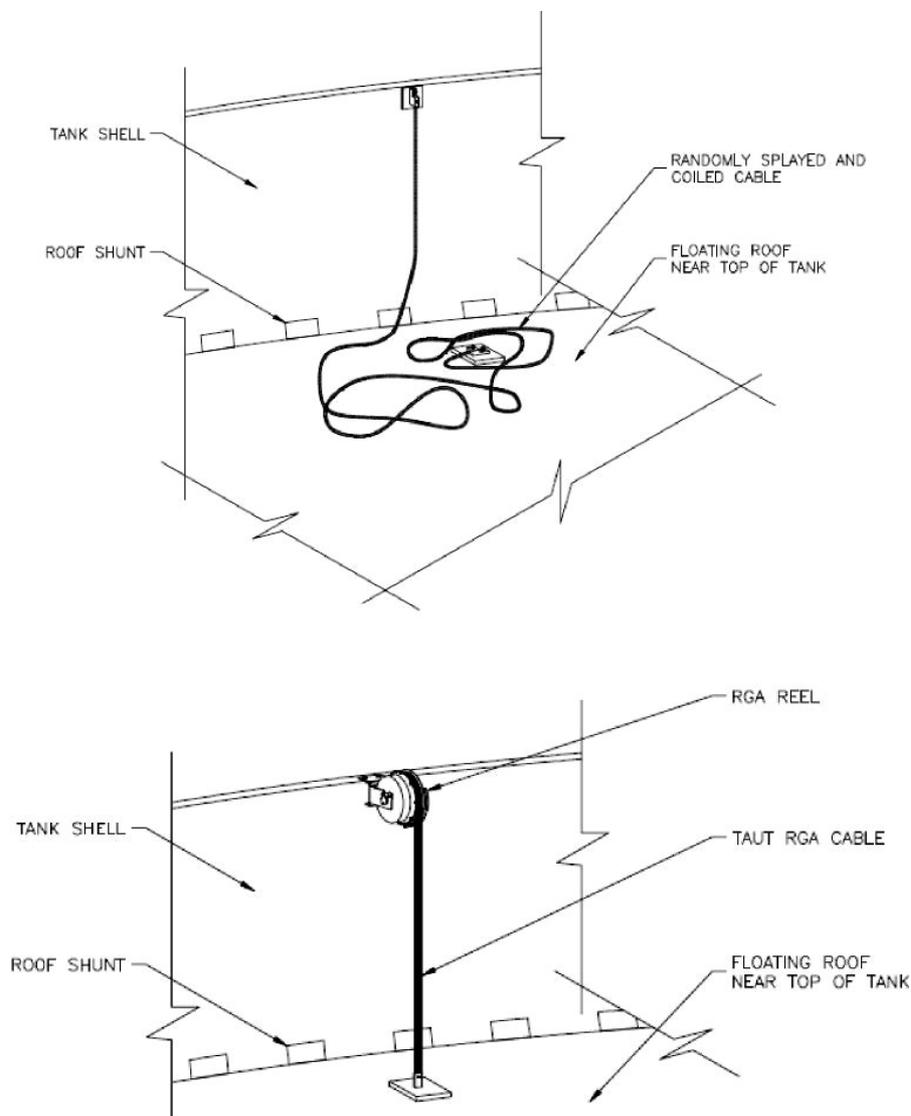


Figura 12-13: Confronto fra Conduttore By-Pass Convenzionale ed **RGA**

**APPENDICE UNO  
Parametri Fulminazione**

[Rif. 13-14]

Corrente di Picco, prima scarica negativa (50%)	30,000 Ampere
Corrente di Picco, prima scarica negativa (95%)	80,000 Ampere
Durata del Lampo, negativo (50%)	13 millisecondi
Durata del Lampo, negativo (95%)	1100 millisecondi
Numero di Scariche per Lampo	da 1 a 30
Media delle Scariche per Lampo	da 3 a 4
Temperatura di Picco	> 50,000° F

Parametri caratteristici delle Fulminazioni [Rif. 15]:

- Corrente (I) = 200,000 Ampere
- Totale Carica = 200 Coulomb
- Variazione Corrente (di/dt) = 140kA/ $\mu$ s
- Azione Integrale =  $2.25 \times 10^6$  A<sup>2</sup>s

**APPENDICE DUE****Confronto Impedenza fra Conduttore Convenzionale (Spirale) e Retrattile (Lineare)**

L'Impedenza (**Z**) di un **Conduttore Spirale** è data dall'equazione (1), la sua Reattanza Induttiva (**XL**) è data dall'equazione (2) mentre l'Induttanza (**L**) di un **Conduttore Lineare** (RGA) è data dall'equazione (3):

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 + X_C^2} \quad (1)$$

$$X_L = 2\pi f L_1 \quad (2)$$

$$L_2 = 2l \left[ 2.303 \log \left( \frac{4l}{d} \right) - 1 + \frac{\mu}{4} + \left( \frac{d}{2l} \right) \right] \quad (3)^*$$

dove **Z** = Impedenza (Ohm)

**R** = Resistenza (Ohm)

**XL** = Reattanza Induttiva (Ohm)

**XC** = Reattanza Capacitiva (Ohm)

**f** = Frequenza (hz)

**L<sub>1</sub>** = Induttanza (Henry)

**L<sub>2</sub>** = Induttanza (nano-Henry)

**l** = lunghezza conduttore (cm)

**d** = diametro conduttore (cm)

**μ** = permeabilità materiale (= 1.0 eccetto materiali ferromagnetici)

Applicando queste equazioni ad un Circuito di Fulminazione e tenendo conto che: la reattanza Capacitiva (**XC**) è essenzialmente nulla, la Resistenza di un conduttore corto di grande diametro è trascurabile quando lo si confronta con la sua Reattanza Induttiva, ne risulta che l'Impedenza di un conduttore, durante una scarica atmosferica (fulminazione) è essenzialmente equivalente alla sua Reattanza Induttiva.

Il rapporto fra le Impedenze di un Conduttore Spirale e un Conduttore Lineare eguaglia il rapporto delle loro Reattanze Induttive e cioè:

$$\frac{Z_{conventional}}{Z_{retractable}} \cong \frac{X_{Lconventional}}{X_{Lretractable}} = \frac{2\pi f L_{conventional}}{2\pi f L_{retractable}} = \frac{L_{conventional}}{L_{retractable}} \quad (4)$$

)

**Impedenza Conduttore Spirale e Lineare (Retrattile)**

L'impedenza di un Conduttore con sezione #1 AWG, per un Serbatoio alto **16m** è equivalente a **25.218** nanohenries, se il Conduttore è rettilineo. Quando il **TG** è in **posizione alta (13,5m)** e il Conduttore si adagia sul **TG** per tutta la sua lunghezza formando delle spirali di forma variabile che creano un incremento considerevole dell'Induttanza.

Nelle stesse condizioni di cui sopra, un Conduttore Retrattile avrebbe uno sviluppo lineare di soli **3,5m**, equivalenti ad una induttanza di appena **4.063** nanohenries, che risulta essere **6** volte più bassa del caso precedente.

.\* [Ref. 16]



# Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

6687 Arapahoe Road, Boulder CO 80303-1453, USA  
 (303) 447-2828 • FAX (303) 447-8122  
 www.LECglobal.com

Id	Client (Subcontractor)	Location	Q.ty
1	Advance Tank Construction	Colorado	2
2	Aibel (Ees Bristol Limited)	United Kingdom	4
3	American Tank & Vessel	Texas	1
4	Anadarko (Consolidated Fabrication & Co)	Oklahoma	2
5	Ashdod Oil Refinery	Israel	45
6	Atas Anadolu Tasfiyehanesi	Turkey	18
7	Athena S.A.	Greece	32
8	Bahamas Oil Refining Co.	Bahamas	128
9	Balass Brothers Ltd.	Israel	2
10	Bhp Billiton (Ansa Tech)	Trinidad	20
11	Boab Nigeria Limited	Nigeria	5
12	British Petroleum (Bulwar Island)	Australia	12
13	British Petroleum (Kwinana)	Australia	22
14	British Petroleum (Samko Muhendislik)	Turkey	67
15	Cargo Transfer Systems	Netherlands	10
16	Cbi Engineering	Denmark	6
17	Centurion Pipeline (Matrix Svc)	Texas	1
18	Cepsa Huelva (Iturri S.A.)	Spain	5
19	Chevron (Burnaby Refinery)	Canada	2
20	Chevron (Tanco Engineering Inc.)	Utah	28
21	Chevron Canada Ltd.	Canada	1
22	Chevron Texaco	Scotland	2
23	Chs Inc.	Montana	5
24	Clh (Iturri S.A.)	Spain	7
25	Colvi Com Sac	Peru	1
26	Conoco Phillips Co.	Oklahoma	5
27	Daewoo E&C Co. Ltd.	Nigeria	9
28	Ees (Bristol) Limited	United Kingdom	65
29	Engen Refinery	South Africa	1
30	Eog Resources Railyard	North Dakota	9
31	Esso Chad (Kelloq, Brown & Root)	Chad	13
32	ExxonMobil (Boab Nigeria Limited)	Nigeria	362
33	ExxonMobil (Cargo Transfer Systems)	Netherlands	4
34	Fluor Intercontinental Inc.	Texas	1
35	Haifa Oil Refinery (Balass)	Israel	5
36	Hamakua Energy Partners	Hawaii	4
37	HiteknoFal Solutions	Egypt	1
38	Hmt Inc.	Oklahoma	2
39	Ineos (EES Bristol Limited)	Scotland	15
40	Ineos (EES Bristol Limited)	United Kingdom	13
41	Innovene	United Kingdom	7
42	Irpc Public Company Limited	Thailand	210
43	Iturri S.A.	Spain	5
44	Kana Controls	Pakistan	1
45	Koch Pipeline (Tanco Engineering)	Texas	1
46	Kuwait Oil Co. (Hyundai)	Kuwait	170
47	Kuwait Oil Co. (Kana Controls)	Kuwait	2
48	Kuwait Oil Co. (Tekfen Insaat ve Tesisat A.S.)	Turkey	81
49	L-3 Communications	Virginia	1
50	Larco Equipment Petroliers	France	22
51	Lec Asia	Singapore	50
52	Lec Korea	Korea	18
53	Lec Venezuela	Venezuela	64
54	Luis Arqueros	Chile	1
55	Magellan Pipeline Co.	Kansas	9
56	Magellan Pipeline Co.	Oklahoma	6
57	Matrix Service	Louisiana	1
58	Matrix Service	Oklahoma	67
59	Matrix Service	Texas	2
60	Metro Water Reclamation (AC Lightning)	Illinois	43



## Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

6687 Arapahoe Road, Boulder CO 80303-1453, USA  
 (303) 447-2828 • FAX (303) 447-8122  
 www.LECglobal.com

Id	Client (Subcontractor)	Location	Q.ty
61	Metro Water Reclamation (Branscombe Cable)	Illinois	17
62	Mobil Nigeria Unltd. (Daewoo)	Nigeria	4
63	Mobil Oil Co. (Boab)	Nigeria	88
64	Murphy Oil USA Inc.	Louisiana	21
65	Neftegas Ltd (Poong Lim Ind.)	Russia	20
66	Oil Infrastructure & Energy (Balass)	Israel	10
67	Oil Refineries Ltd. (Balass)	Israel	13
68	Pasadena Tank Corporation	Texas	17
69	Pdvsa	Venezuela	137
70	Pecan Pipeline/Eq (Strobel Starostka)	Oklahoma	6
71	Petro Malaysia	Singapore	10
72	Petro Peru (Conchan Refinery)	Peru	1
73	Petro Peru (Eecol Electric)	Peru	12
74	Petro Peru (Talar Refinery)	Peru	16
75	Petrobras	Brazil	6
76	Petrochemical Corporation of Singapore	Singapore	5
77	Petrolera Ameriven Compleio	Venezuela	73
78	Petronas	Singapore	1
79	Petronor (Iturri)	Spain	8
80	Pi Gilot Fuel Depot (Balass)	Israel	10
81	Pro Services	Bolivia	3
82	ProTech Sales Inc.	Colorado	1
83	Raindeer Technology Inc.	Taiwan	1
84	Repsol (Iturri S.A.)	Spain	6
85	Saudi Aramco (Industrial Project Siemens)	Saudi Arabia	30
86	Savia Peru S.A.	Peru	13
87	Shell Oil (Hyundai)	Nigeria	122
88	Shell Refining Co.	Malaysia	2
89	Sinclair Casper Refining Co.	Wyoming	10
90	Singapore Refinery Co.	Singapore	21
91	Sinopec (Tech Union Development Int'l)	China	16
92	Sogara Petrochemical (Larco Equipment Petro)	Gabon	3
93	Sundance Sales & Service	Nigeria	1
94	Sunoco Logistics (HMT International)	Texas	18
95	Tanco Engineering Inc.	Colorado	3
96	Tecnorth Refinery	Kenya	6
97	Tepco (HMT Inc.)	Oklahoma	4
98	Texas Technical	Texas	1
99	Thai Petrochemical Ind.	Thailand	2
100	Thai Shell Oil Co.	Thailand	6
101	Total Oil (Larco Equipment Petroliers)	Equatorial Guinea	2
102	Total Oil (Larco Equipment Petroliers)	France	2
103	Total Oil (PT Dinamika Elektra Mandiri)	Indonesia	56
104	Tropical Cartage Enterprises	Florida	1
105	Tupras Izmir Refinery (Ordinat)	Turkey	36
106	Tupras Izmir Refinery (Tokar)	Turkey	20
107	Valero Port Arthur Refinery	Texas	16
108	Wynnewood Refining Company	Oklahoma	7
<b>Total</b>			<b>2.582</b>



# Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

6687 Arapahoe Road, Boulder CO 80303-1453, USA  
 (303) 447-2828 • FAX (303) 447-8122  
 www.LECglobal.com

Id	Location	Total	Client (Subcontractor)	Q.ty
1	Australia		British Petroleum (Bulwar Island)	12
		Total 34	British Petroleum (Kwinana)	22
2	Bahamas	128	Bahamas Oil Refining Co.	128
3	Bolivia	3	Pro Services	3
4	Brazil	6	Petrobras	6
5	Canada		Chevron (Burnaby Refinery)	2
		Total 3	Chevron Canada Ltd.	1
6	Chad	13	Esso Chad (Kellogg, Brown & Root)	13
7	Chile	1	Luis Argueros	1
8	China	16	Sinopec (Tech Union Development Int'l)	16
9	Colorado		Advance Tank Construction	2
			ProTech Sales Inc.	1
		Total 6	Tanco Engineering Inc.	3
10	Denmark	6	Cbi Engineering	6
11	Egypt	1	Hiteknofal Solutions	1
12	Equatorial Guinea	2	Total Oil (Larco Equipment Petroliers)	2
13	Florida		Tropical Cartage Enterprises	1
14	France		Larco Equipment Petroliers	22
		Total 24	Total Oil (Larco Equipment Petroliers)	2
15	Gabon	3	Sogara Petrochemical (Larco Equipment Petro)	3
16	Greece	32	Athena S.A.	32
17	Hawaii	4	Hamakua Energy Partners	4
18	Illinois		Metro Water Reclamation (AC Lightning)	43
		Total 60	Metro Water Reclamation (Branscombe Cable)	17
19	Indonesia		Total Oil (PT Dinamika Elektra Mandiri)	56
20	Israel		Ashdod Oil Refinery	45
			Balass Brothers Ltd.	2
			Haifa Oil Refinery (Balass)	5
			Oil Infrastructure & Energy (Balass)	10
			Oil Refineries Ltd. (Balass)	13
		Total 85	Pi Gilot Fuel Depot (Balass)	10
21	Kansas	9	Magellan Pipeline Co.	9
22	Kenya	6	Tecnorth Refinery	6
23	Korea	18	Lec Korea	18
24	Kuwait		Kuwait Oil Co. (Hyundai)	170
		Total 172	Kuwait Oil Co. (Kana Controls)	2
25	Louisiana		Matrix Service	1
		Total 22	Murphy Oil USA Inc.	21
26	Malaysia	2	Shell Refining Co.	2
27	Montana	5	Chs Inc.	5
28	Netherlands		Cargo Transfer Systems	10
		Total 14	ExxonMobil (Cargo Transfer Systems)	4
29	Nigeria		Boab Nigeria Limited	5
			Daewoo E&C Co. Ltd.	9
			ExxonMobil (Boab Nigeria Limited)	362
			Mobil Nigeria Unltd. (Daewoo)	4
			Mobil Oil Co. (Boab)	88
		Total 591	Shell Oil (Hyundai)	122
30	North Dakota	9	Sundance Sales & Service	1
31	North Dakota		Eqg Resources Railway	9
	Oklahoma		Anadarko (Consolidated Fabrication & Co)	2
			Conoco Phillips Co.	5
			Hmt Inc.	2
			Magellan Pipeline Co.	6
			Matrix Service	67
			Pecan Pipeline/Eqg (Strobel Starostka)	6
	Total 99	Tepco (HMT Inc.)	4	
		Wynnewood Refining Company	7	
32	Pakistan	1	Kana Controls	1
33	Peru		Colvi Com Sac	1



# Lightning Eliminators & Consultants, Inc.

6687 Arapahoe Road, Boulder CO 80303-1453, USA

(303) 447-2828 • FAX (303) 447-8122

www.LECglobal.com

Id	Location	Total	Client (Subcontractor)	Q.ty
			Petro Peru (Conchan Refinery)	1
			Petro Peru (Eecol Electric)	12
			Petro Peru (Talar Refinery)	16
		Total 43	Savia Peru S.A.	13
34	Russia	20	Neftegas Ltd (Poong Lim Ind.)	20
35	Saudi Arabia	30	Saudi Aramco (Industrial Project Siemens)	30
36	Scotland		Chevron Texaco	2
		Total 17	Ineos (EES Bristol Limited)	15
37	Singapore		Lec Asia	50
			Petro Malaysia	10
			Petrochemical Corporation of Singapore	5
			Petronas	1
		Total 87	Singapore Refinery Co.	21
38	South Africa	1	Engen Refinery	1
39	Spain		Cepsa Huelva (Iturri S.A.)	5
			Clh (Iturri S.A.)	7
			Iturri S.A.	5
			Petronor (Iturri)	8
		Total 31	Repsol (Iturri S.A.)	6
40	Taiwan	1	Raindeer Technology Inc.	1
41	Texas		American Tank & Vessel	1
			Centurion Pipeline (Matrix Svc)	1
			Fluor Intercontinental Inc.	1
			Koch Pipeline (Tanco Engineering)	1
			Matrix Service	2
			Pasadena Tank Corporation	17
			Sunoco Logistics (HMT International)	18
			Texas Technical	1
		Total 58	Valero Port Arthur Refinery	16
42	Thailand		Irpc Public Company Limited	210
			Thai Petrochemical Ind.	2
		Total 218	Thai Shell Oil Co.	6
43	Trinidad	20	Bhp Billiton (Ansa Tech)	20
44	Turkey		Atas Anadolu Tasfiyehanesi	18
			British Petroleum (Samko Muhendislik)	67
			Kuwait Oil Co. (Tekfen Insaat ve Tesisat A.S.)	81
			Tupras Izmir Refinery (Ordinat)	36
		Total 222	Tupras Izmir Refinery (Tokar)	20
45	United Kingdom		Aibel (Ees Bristol Limited)	4
			Ees (Bristol) Limited	65
			Ineos (EES Bristol Limited)	13
		Total 89	Innovene	7
46	Utah	28	Chevron (Tanco Engineering Inc.)	28
47	Venezuela		Lec Venezuela	64
			Pdvsa	137
		Total 274	Petrolera Ameriven Complejo	73
48	Virginia	1	L-3 Communications	1
49	Wyoming	10	Sinclair Casper Refining Co.	10
		<b>2.525</b>	<b>Total</b>	<b>2.582</b>