

# Sicurezza dei serbatoi atmosferici di idrocarburi Impatto sull'ambiente anche in riferimento ad eventi significativi di rilevanza internazionale

## 3° modulo formativo – 8 luglio 2025 ore 10.00 (webinar)

### 10:00 - 10:10 Introduzione e saluti iniziali

*Ing. Fabio Ferranti – Responsabile Servizio per i Rischi e la Sostenibilità Ambientale delle Tecnologie, delle Sostanze Chimiche, dei Cicli Produttivi e dei Servizi Idrici e per le Attività Ispettive (VAL-RTEC)*

### 10:10 – 11:00 Premessa: analisi e valutazione dei possibili rischi e relative misure di sicurezza

*Ing. Romualdo Marrazzo – Responsabile della Sezione Analisi Integrata dei Rischi Industriali (IND)*

### 11:00 – 12:00 Casi studio di incidenti

- caso 1: perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda**
- caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per  
rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio**
- caso 3 (Belgio): rilascio su suolo di grezzo per deformazione  
mantello/basamento di serbatoio stoccaggio**

*Ing. Fausta Delli Quadri (VAL-RTEC-IND)*

### 12.00 – 12.10 Conclusioni e dibattito

## Caso 1

**Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda**

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Dinamica evento*

- Scatto allarme di livello serbatoio greggio a TG per variazione >5 cm in sala controllo, dovuta a fuoriuscita di greggio nella parte inferiore mantello
- Rilevata grossa lesione localizzata in prossimità della base, con sversamento in bacino di contenimento non impermeabilizzato ( $130\text{m} \times 108\text{m} = 14,042 \text{ m}^2$ ) con capacità volumetrica equivalente a quella del serbatoio
- 30.000 m<sup>3</sup> di greggio (circa 26.000 t) rilasciati nel bacino; incidente 'rilevante' in ragione della quantità di prodotto rilasciato >5% limite colonna 3 parte 1 allegato 1 del D.Lgs. 105/15

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Dinamica evento*

- Attivato PEI in area di stoccaggio dell'impianto. Serbatoio isolato, trasferimento del prodotto residuo nei serbatoi vicini con pompe fisse, e di quello sversato nel bacino sotto costante controllo dei VVF
- Difficoltà di trasferimento, poiché la velocità di rilascio del prodotto era molto superiore alla portata delle pompe, e il livello all'interno del bacino aumentava con conseguente rischio di tracimazione fuori dal bacino
- Intervento squadra antincendio e VVF per evitare incendio, spruzzando agente schiumogeno all'interno del bacino in modo da coprire costantemente la superficie del prodotto sversato; difficoltà a mantenere la superficie del greggio coperta di schiuma all'interno del bacino, a causa del vento

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Dinamica evento*

- Difficile mantenere livello costante di schiuma sul prodotto fuoriuscito, al fine di evitare la formazione di miscele esplosive/infiammabili aria/prodotto, a causa di: superficie bacino molto ampia, liquido fuoriuscito in forte turbolenza da vento. Si temeva che il prodotto potesse traboccare dal bacino
- Utilizzate due autocisterne e 8 rimorchi di schiuma ad alta e media espansione, intervenuti VVF provinciali (con 4 veicoli e 26 uomini)
- Monitoraggio continuo concentrazioni vapori infiammabili sulla sommità del bacino, durante il trasferimento del greggio fuoriuscito
- Linee ferroviarie limitrofe chiuse a scopo precauzionale, strada statale SS chiusa e pattugliata dalle forze dell'ordine nel tratto adiacente al serbatoio

## Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda



# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda



# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Apparecchiatura origine*

- Serbatoio ubicato in parco stoccaggio di raffineria, fisicamente separato dagli impianti di processo da strada statale; impianti di processo non interessati dall'evento, hanno continuato a funzionare
- Serbatoio in acciaio a TG, fondo singolo, capacità geometrica 57.390 m<sup>3</sup>, diametro 61 m<sup>3</sup>, altezza 19,65 m, non riscaldato, anno di costruzione 1965
- Bacino di contenimento di 14.040 m<sup>2</sup> costituito da terreno naturale ricoperto da sabbia e materiali inerti; all'interno sistema di drenaggio di acqua piovana e altri liquidi
- Fondazione del serbatoio costituita da diversi strati compattati con diversa granulometria e da una copertura in bitume

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Apparecchiatura origine*

Principali interventi di manutenzione sul serbatoio:

- 1984: ispezione interna programmata per i 20 anni, ha mostrato la riduzione di spessore delle piastre di fondo, il 60% delle piastre di fondo è stato sostituito
- 1985: ispezione esterna del mantello ha mostrato perdite di grezzo in corrispondenza di uno dei miscelatori, conseguente arresto per manutenzione con controlli sulla saldatura interna del fondo (tecnica sotto vuoto) che non hanno evidenziato anomalie; a scopo precauzionale, il fondo le piastre inferiori del mantello sono stati sabbiati e verniciati con vernice protettiva
- Successive ispezioni esterne (1994, 1997, 2001) hanno mostrato buono stato generale

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Apparecchiatura origine*

- 2003: installata guarnizione secondaria del tetto
- 2004: risultati di test EA hanno suggerito la necessità di ripetere il test dopo 2 anni
- 2005: ispezione esterna ha mostrato ossidazione sulla superficie del mantello esterno, lievi danni alla vernice protettiva del cordolo superiore, presenza di acqua e deterioramento della vernice protettiva sui pannelli del tetto
- Prevista la sostituzione dei pannelli del tetto galleggiante e l'installazione di doppio fondo nel periodo maggio 2007 - marzo 2008
- Al momento del rilascio, il serbatoio conteneva 44.573 t di greggio

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## Cause

- Fuoriuscita di grezzo dovuta a formazione di ampia fessura nella parte inferiore del mantello. Possibile cedimento strutturale della base, sebbene un'ispezione della verticalità del mantello non abbia evidenziato alcuna irregolarità



# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Conseguenze ambientali*

- Danno ambientale: contaminazione del suolo in corrispondenza del bacino. Le sonde di campionamento hanno mostrato principalmente concentrazioni di idrocarburi pesanti ( $C>12$ ) e in misura minore concentrazioni di idrocarburi leggeri e composti aromatici ( $C<12$ ) superiori ai limiti di soglia di contaminazione a una profondità massima di 2 m (falda superficiale)
- La stratigrafia del suolo nel bacino ha mostrato che a circa 3 m di profondità si trova uno strato argilloso che raggiunge gli 80 m di profondità (dati tratti dalla carta geologica regionale) e che presenta una bassa permeabilità, isolando così la falda profonda da quella superficiale
- Analisi di Rischio Ambientale e Sanitario ha evidenziato la necessità di misure di bonifica

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Conseguenze materiali - costi*

- Azione di risposta di emergenza (noleggio di pompe motorizzate, agente schiumogeno a media e alta espansione e altri materiali di consumo)
- Riparazione temporanea del serbatoio mediante la costruzione di un muro di contenimento di circa 2 m di cemento armato in corrispondenza del punto di perdita
- Analisi del terreno contaminato e Analisi dei rischi specifica per l'evento
- Costi per pulizia del serbatoio, apertura, riparazione e adeguamento (installazione di un doppio fondo)
- Bonifica del terreno contaminato all'interno del bacino di contenimento

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## *Misure adottate nel medio e/o lungo termine*

- Installato un sistema di monitoraggio piezometrico permanente del bacino idrico attraverso una serie di pozzi posizionati idrogeologicamente a monte ed a valle del serbatoio
- Il progetto di bonifica del bacino idrico dell'intera raffineria, autorizzato 2 anni prima, prevedeva la costruzione di una barriera idraulica in corrispondenza del serbatoio, che è stata poi realizzata. La barriera idraulica consiste in una serie di pozzi di emungimento (pozzi di iniezione) dai quali è possibile pompare l'acqua del bacino idrico superficiale per il trattamento
- Operazioni di bonifica comprendenti l'apertura, l'ispezione, la riparazione e il ripristino del serbatoio (doppio fondo), e bonifica del terreno contaminato nel bacino di contenimento

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

## Prescrizioni CTR

- Il Comitato Tecnico Regionale (CTR) ha concluso la sua valutazione del rapporto di sicurezza prescrivendo le seguenti azioni:
  - Installazione di comandi a distanza sulle pompe e sulle valvole di radice dei serbatoi di categoria A (per liquidi con punto di infiammabilità <21 °C)
  - Installazione di spruzzatori fissi di schiuma estinguente in prossimità dei bacini di contenimento dei serbatoi di categoria A
  - Per i serbatoi a TG, installazione di valvole di sfialto ridondanti
  - Installazione di valvole all'estremità delle tubazioni di scarico delle acque pluviali nei TG dei serbatoi di categoria A

# Caso 1: Perdita di grezzo da mantello serbatoio TG con impatto su falda

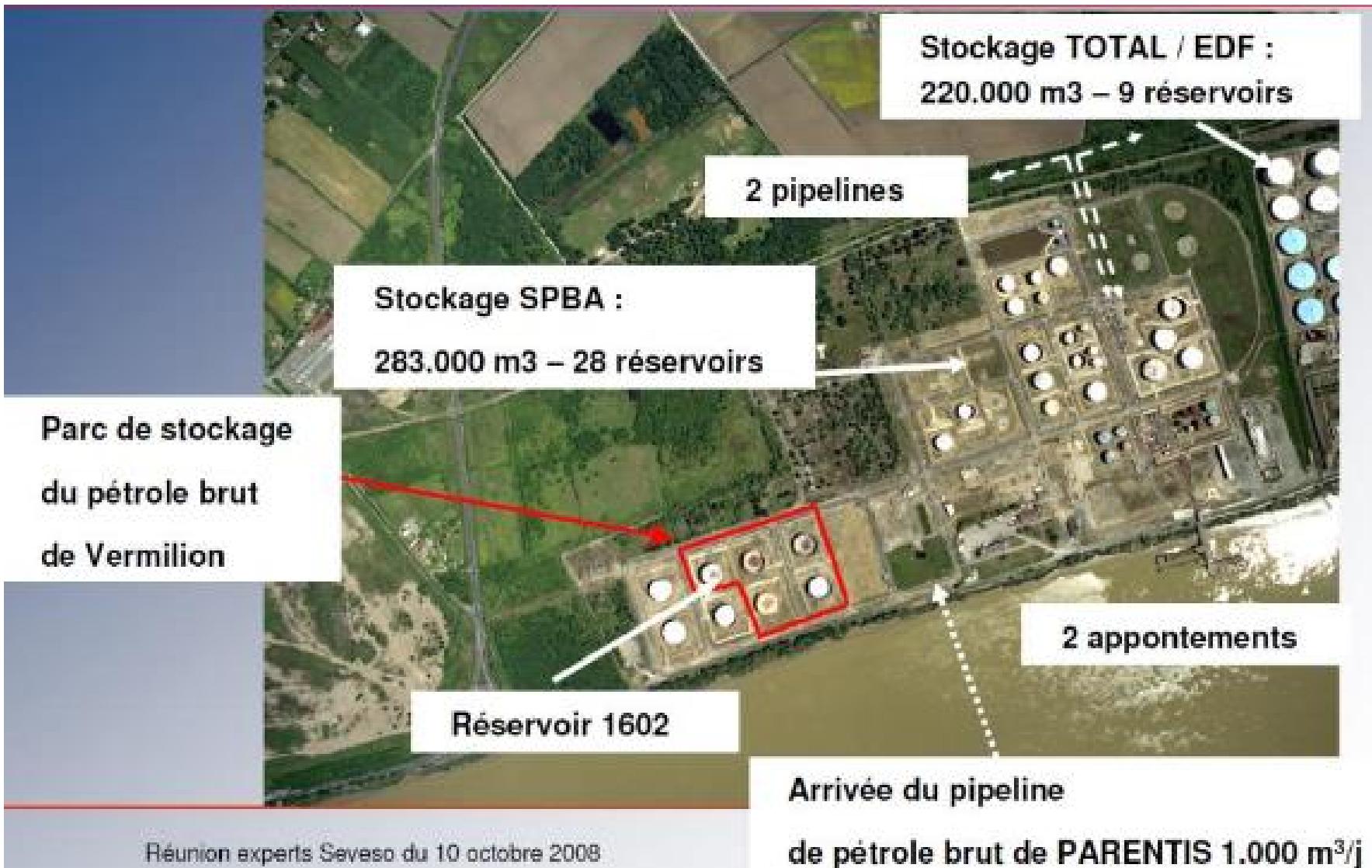
## *Lezioni apprese*

- Al momento dell'incidente, la società aveva già programmato l'installazione di doppi fondi in tutti i serbatoi di categoria A e nei serbatoi per lo stoccaggio di gasolio, in conformità allo standard API 650 e alle migliori tecnologie disponibili (BAT) del settore
- A seguito dell'incidente, la società ha intensificato il controllo sull'avanzamento dei lavori nel programma di sostituzione del fondo dei serbatoi in modo da garantire il rispetto delle tempistiche definite. La società ha valutato la possibilità di installare doppi fondi anche nei serbatoi di olio combustibile
- A seguito dell'incidente, sono state testate le condizioni strutturali di 29 serbatoi con emissioni acustiche

## Caso 2 (Francia)

**Sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio**

## Il sito



# Il sito



## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### *Dinamica evento*

- Stoccaggio di grezzo sito in area fluviale di Ambès (Francia)
- Rottura catastrofica del fondo di serbatoio di stoccaggio, con rilascio immediato dell'intero contenuto del serbatoio (13.500 m<sup>3</sup>)
- Effetto-onda con trabocco di circa 2.000 m<sup>3</sup> di grezzo dal bacino di contenimento; gran parte del grezzo traboccato confluì verso il sistema di drenaggio, per poi proseguire verso la vasca di raccolta acque (settler)
- Parte del grezzo non viene bloccato dalla vasca di raccolta acque e fuoriesce dal deposito, interessando per c.a. 2 km paludi e canali, penetrando nel terreno e raggiungendo la falda (lato est)

## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio



## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

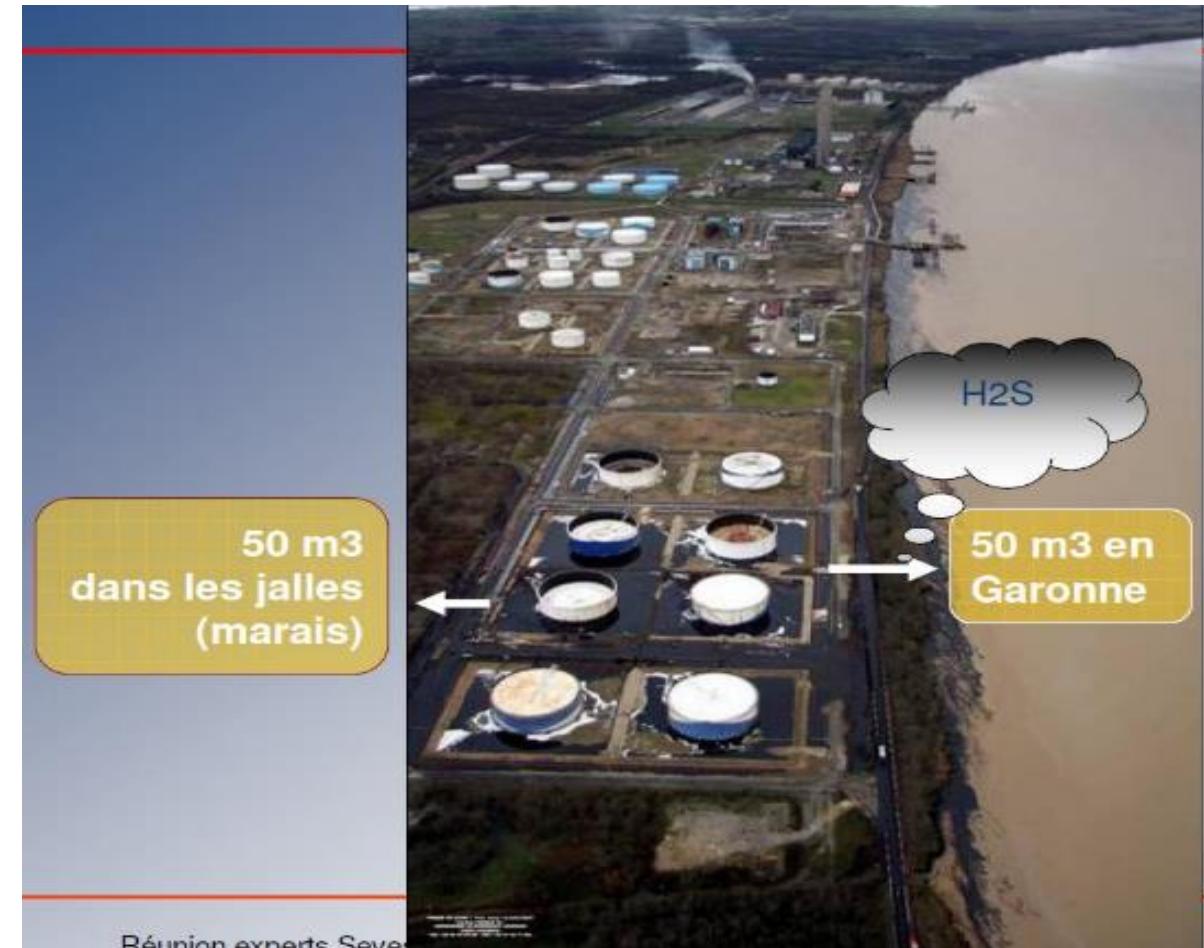
### *Dinamica evento – impatto ambientale progressivo*

- Su lato ovest la contaminazione raggiunse una strada principale dove gran parte del grezzo fu contenuto da un argine lungo il fiume Garonne. Una quantità limitata comunque traboccò dall'argine e contaminò lievemente la parte superiore della sponda del fiume
- Circa 50 m<sup>3</sup> di grezzo fluirono nel fiume appena la marea iniziò a salire. La macchia rimase principalmente contenuta lungo la sponda destra del fiume, ma si spostò appena la marea salì. La macchia si osservava fino a circa 12km a monte del fiume rispetto al deposito. Quando la marea cambiò, la macchia cominciò ad ammucchiarsi a valle, per raggiungere il “Bec d'Ambès”, dove i fiumi Garonne e Dordogne si incontrano

## **Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio**

## *Dinamica evento – impatto ambientale progressivo*

- Il giorno dopo l'evento, tracce di inquinante si videro oltre 20km a valle del deposito così come nel fiume Dordogne. Le successive maree causarono dunque la contaminazione totale di 40 km di argini dei fiumi Garonne, Dordogne e Gironde. I 10 km maggiormente colpiti dall'inquinamento furono le sponde destre del Garonne e del Gironde.



## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### *Dinamica evento – impatto ambientale progressivo*

- Rinvenuti alcuni uccelli investiti dal grezzo durante le prime ispezioni nel fiume, ma non fu dichiarato un impatto particolare sulla fauna aviaria dall'ente locale (Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO))
- Rinvenute alcune esemplari di specie aviaria (coypu) morti
- Nei canali palustri tracce indicarono che cinghiali selvaggi avevano camminato a stento attraverso il grezzo, spargendolo nei loro movimenti

## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### *Misure di emergenza*

- messa in sicurezza di personale e impianti, VVF immediatamente allertati, PEI attivato
- Immediato e continuativo versamento di tappeto di schiumogeno in bacino, per limitare la formazione di pozze infiammabili (vapori di HC) e di nubi tossiche (H2S)
- personale del sito evacuato, blocco del traffico marittimo, ferroviario, stradale, informazione all'autorità portuale
- Giornalmente ispezioni aeree, navali e del terreno per i primi 5 giorni, per valutare l'estensione dell'inquinamento e stabilire le strategie di risposta
- Attività di campionamento inquinanti in aria (H2S e BTEX-COV)

## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

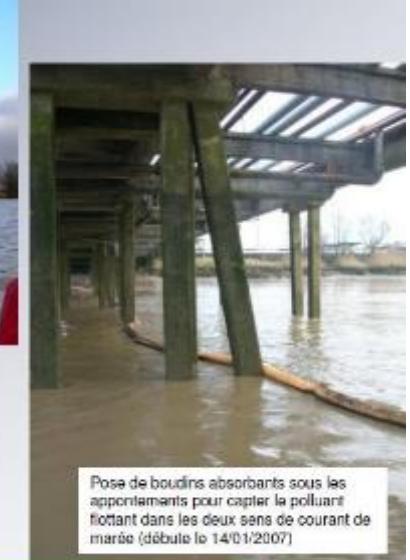
### *Misure di contenimento a terra e in acqua (canali e fiume)*

- Misure di mitigazione/controllo inquinante: pannelli assorbenti e sigillanti furono disposti sulla superficie dei fiumi contaminati. Barriere furono costruite in tutti i punti di drenaggio. Reti dinamiche furono trainate per recuperare tracce dell'inquinante e detriti galleggianti
- Tentativi di scrematura con uso di schiuma da sbarramento furono tuttavia ostacolati dalle forti correnti e dalla vasta diffusione dell'inquinante nei fiumi
- Operazioni di pompaggio furono inoltre condotte nella vicina strada
- 4 mesi dopo l'evento, le rive del fiume erano completamente auto-pulite
- 80 persone impegnate h24 nelle operazioni di recupero e bonifica

# Misure di contenimento a terra e in acqua (canali e fiume)



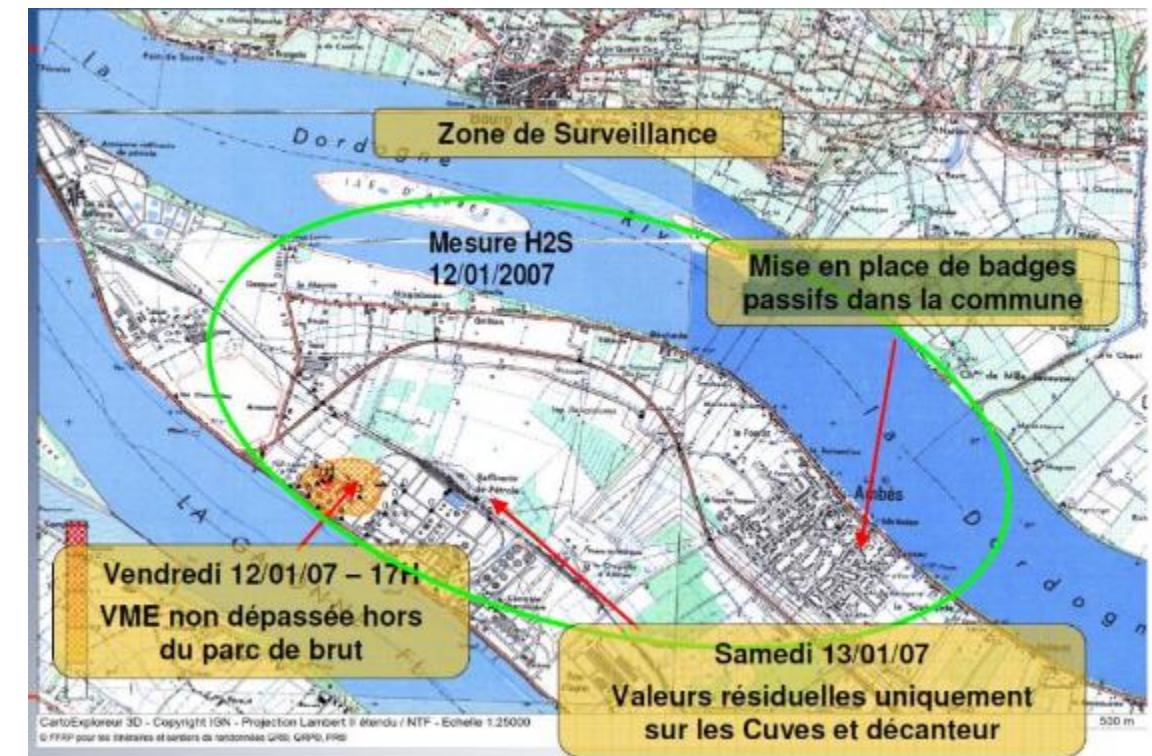
- Lamaneurs
  - FOST
  - CEDRE
  - Port de Bordeaux
  - POMPIERS



### Récupération dynamique puis manuelle de polluant flottant (débuté le 15/01/2007)



# La risposta all'emergenza



## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### Cause

- Il giorno precedente all'evento si riscontrò una piccola perdita di grezzo dal serbatoio; le misure conservative adottate furono: arresto della ricezione di grezzo, pompaggio e confinamento della perdita; sorveglianza del serbatoio per tutta la notte. Per non esporre il lavoratori a rischio, si decise di rimandare l'indomani lo svuotamento del serbatoio. Ma il giorno dopo si verificò la rottura brutale del fondo del serbatoio
- Diverse ipotesi esaminate dalle indagini giudiziarie:
  - problema di stabilità del suolo-terreno (presenza di nicchia che infragilisce il fondo del serbatoio)
  - problema meccanico (rottura di una saldatura/ corrosione)

## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### Cause

- Il travaso del prodotto in un altro serbatoio era stato rimandato per i rischi a cui sarebbero stati esposti i lavoratori e gli appaltatori bloccando il tetto galleggiante durante la notte
- Inoltre un report di ispezione dell'anno dell'incidente rivelò una corrosione nel fondo del serbatoio, con perdite di spessore fino all'80%. Furono messe appunto azioni correttive (interventi di riparazione) senza tuttavia agire a livello di sistema SGS, intervenendo su tipologie e frequenza di manutenzione, nonché su adeguamenti tecnici e gestionali per la riduzione del rischio
- Non fu messa a punto una specifica procedura, nell'ambito del SGS, per la gestione di una emergenza simile a quella occorsa

## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### Cause

- Il travaso del prodotto in un altro serbatoio era stato rimandato per i rischi a cui sarebbero stati esposti i lavoratori e gli appaltatori bloccando il tetto galleggiante durante la notte
- Inoltre un report di ispezione dell'anno dell'incidente rivelò una corrosione nel fondo del serbatoio, con perdite di spessore fino all'80%. Furono messe appunto azioni correttive (interventi di riparazione) senza tuttavia agire a livello di sistema SGS, intervenendo su tipologie e frequenza di manutenzione, nonché su adeguamenti tecnici e gestionali per la riduzione del rischio
- Non fu messa a punto una specifica procedura, nell'ambito del SGS, per la gestione di una emergenza simile a quella occorsa

# L'analisi delle cause



## Caso 2 (Francia): sversamento di grezzo nel fiume “Garonne” per rottura catastrofica fondo di serbatoio di stoccaggio

### *Lezioni apprese*

- Azioni preventive e lezioni apprese:
  - incrementare e migliorare gli standard tecnici in materia di fondi dei serbatoi
  - rinforzare i controlli sui serbatoi:
    - controlli qualitativi e quantitativi geometrici e metallurgici
    - verifiche di integrità dei fondi-serbatoi
    - Verifiche fondamenta dei serbatoi
    - Controlli visivi giornalieri dei serbatoi
    - ridurre il volume di stoccaggio di certi serbatoi

## Caso 3 (Belgio)

**Rilascio su suolo di grezzo per deformazione mantello/  
basamento di serbatoio stoccaggio**

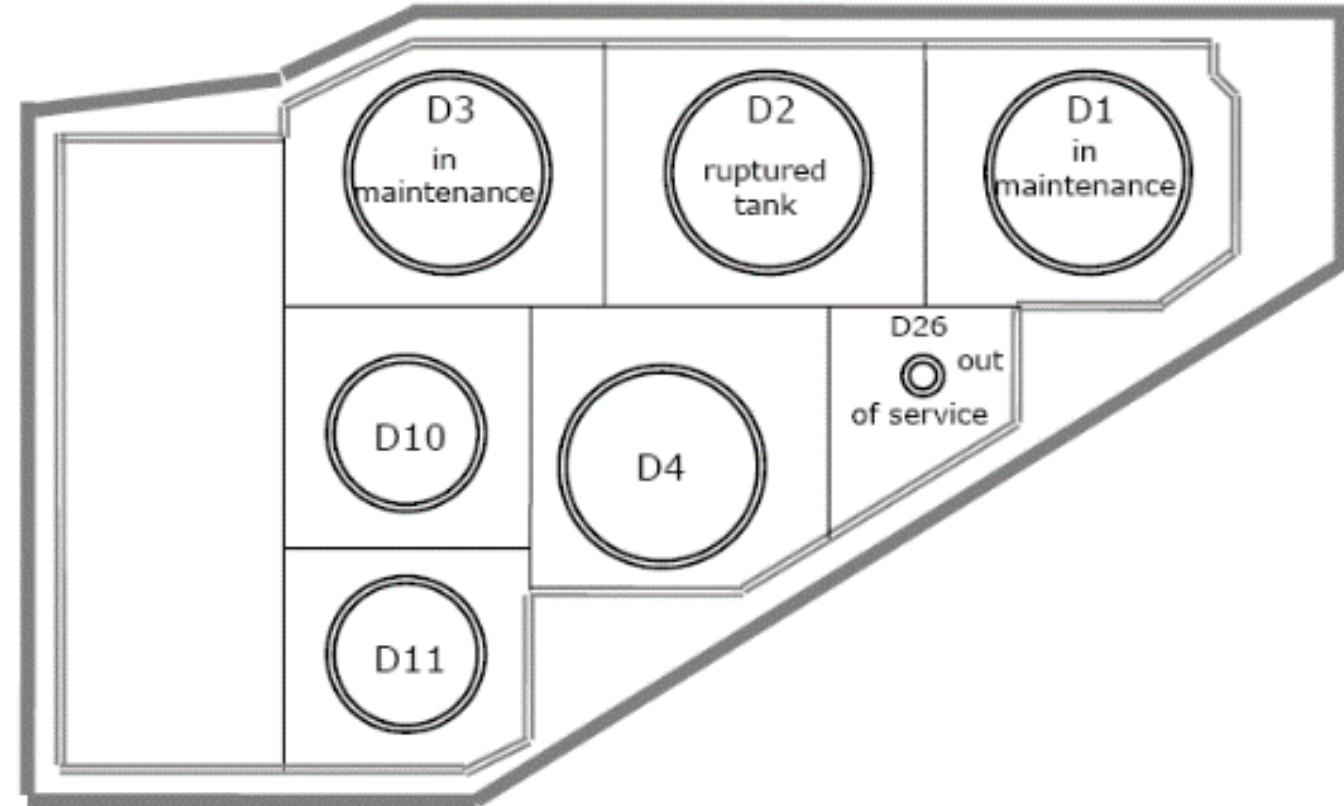
## Il sito

- Stoccaggio serbatoi ubicati in spazio delimitato da argini in terreno. Tra i serbatoi sono presenti argini più bassi
- 4 serbatoi di grezzo di capacità pari a 40000 m<sup>3</sup> ognuno (D1, D2, D3, D4)
- 2 serbatoi per lo stoccaggio multifunzionale di grezzo o acqua piovana contaminata da grezzo, fanghiglia (slop-oil), della capacità di 24mila m<sup>3</sup> ognuno (D10 e D11)
- 1 piccolo serbatoio D26 da 730m<sup>3</sup> fuori servizio
- Il grezzo è distribuito tramite pipeline dal porto di Rotterdam e, dopo lo stoccaggio nel terminal sulla sponda sinistra del fiume Sheldt, il prodotto è pompato tramite pipeline ad una raffineria, situata sulla sponda destra del fiume, dove viene successivamente raffinato

# Il sito

Al momento dell'incidente rilevante, la situazione dei serbatoi era la seguente:

- D2 pieno al 75% di grezzo
- D4 parzialmente pieno di grezzo
- D1 e D3 vuoti ed in manutenzione
- D10 pieno di fanghiglia (slop-oil)
- D11 vuoto



# Contesto

- Un mese prima accadde un incidente minore nel serbatoio D3, con perdita di grezzo dal fondo del serbatoio. Causa non ancora stata individuata poiché il fondo-serbatoio non era stato completamente pulito per l'investigazione dell'evento. Al momento dell'incidente nel serbatoio D2, le operazioni di lavaggio del D3 erano appena state iniziate per consentirne l'ispezione
- Stoccaggio terminale permanentemente presieduto durante il giorno; la sera e durante la notte vengono effettuati giri di ispezione da una compagnia di security esterna. La supervisione permanente dello stoccaggio (tramite telecamere) e le operazioni di carico-scarico dei serbatoi gestite da sala controllo di raffineria

## Dinamica evento

- grossa fuoriuscita di grezzo rilevata dal serbatoio D2, che conteneva circa 37000 m<sup>3</sup> di grezzo
- operatori in sala controllo della raffineria allertati da allarme di basso-livello al D2. La registrazione di livello nel sistema di controllo in sala quadro indicava che quasi l'intero contenuto del serbatoio D2 era stato rilasciato in 15 minuti
- conseguente formazione di un'enorme ondata di grezzo. A causa dell'altezza dell'argine, solo una piccola quantità di grezzo (circa 3 m<sup>3</sup>) fuoriuscì dal parco stoccaggio. La gran quantità di grezzo rilasciata riempì l'intero fosso del parco (largo 42000 m<sup>2</sup>) fino ad un'altezza di 1 m. Dopo il rilascio, il serbatoio iniziò ad accasciarsi in avanti, e una parte del basamento del serbatoio scomparve

## Dinamica evento



## Dinamica evento

- La squadra antincendio della raffineria, i VVF dei Comuni vicini e la protezione Civile iniziarono un massiccio intervento di copertura **pozza con schiumogeno** (241t)
- A causa del **forte vento**, e della estesa superficie, non si ricopriva tutta la pozza
- Forte vento favoriva la diluizione dei vapori degli idrocarburi legger, **evitando la formazione di atmosfera infiammabile e/o esplosiva** sopra il prodotto sversato
- Sebbene il **grezzo non si innescava**, il suo rilascio provocava **forti odori** in **una vasta area** circostante. La rottura del serbatoio suscitò una forte attenzione ai media.

## Dinamica evento

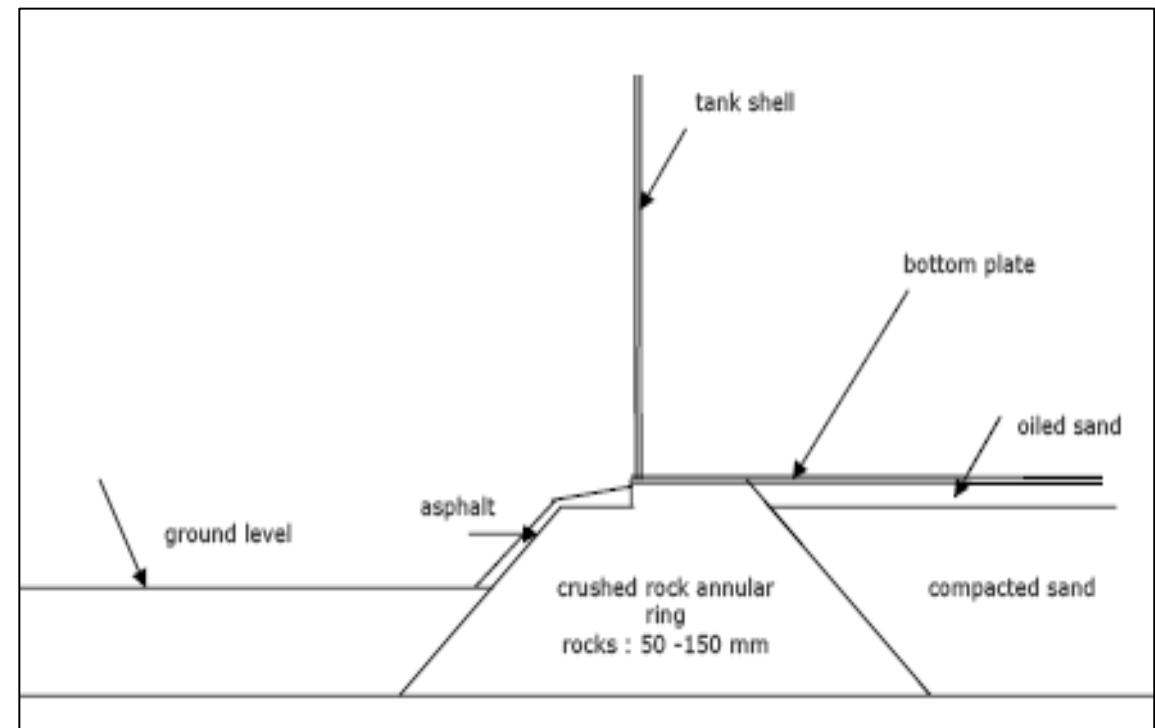
- Dopo l'evento, tutto il grezzo stoccato nel parco fu subito pompato alla raffineria, ed il contenuto del parco fu trasferito nei serbatoi D10, D11 e D4 usando il sistema di pompaggio acque di drenaggio esistente. Immediatamente furono intraprese tutte le misure necessarie per realizzare le operazioni di pulizia nel parco, in condizioni di sicurezza
- operazioni per ridurre il forte odore, tramite copertura dell'intero parco con sabbia. Dove possibile lo strato di sabbia fu immesso per mezzo di autocarri e bulldozers
- La stabilità di tutti i serbatoi era periodicamente misurata. La stabilità del D2, sul punto ove il basamento venne meno, fu realizzata tramite sospensione del serbatoio con 4 grosse gru. L'intervento si concluse solo il un mese dopo, quando il parco stoccaggio fu completamente liberato del prodotto

## Caratteristiche del serbatoio D2

- Serbatoio **atmosferico a TG e fondo conico**, diametro 54,5 m e altezza 17 m. A causa del fondo conico, l'acqua presente nel grezzo fluiva verso il mantello del serbatoio, dove era installato un pozetto di scolo
- Dotato di **due miscelatori**, per riportare parte della fanghiglia in **sospensione**. Al momento dell'incidente i **miscelatori non erano stati usati per lungo tempo**, poiché si decise di rimuovere la fanghiglia per evitare che fosse mandata insieme al grezzo alla raffineria, dove avrebbe potuto danneggiare le apparecchiature di processo
- Costruito nel '71 secondo gli standard API 650, nel 1990 fu venduto alla raffineria, ispezionato e messo in servizio nel '91. Dal '94 ogni 3 anni condotte ispezioni esterne sul D2, i cui report non mostrarono rilievi. Completa ispezione D2 programmata per l'anno successivo. Misure di stabilità fondazioni condotte ogni 3 anni, non mostrarono risultati anomali

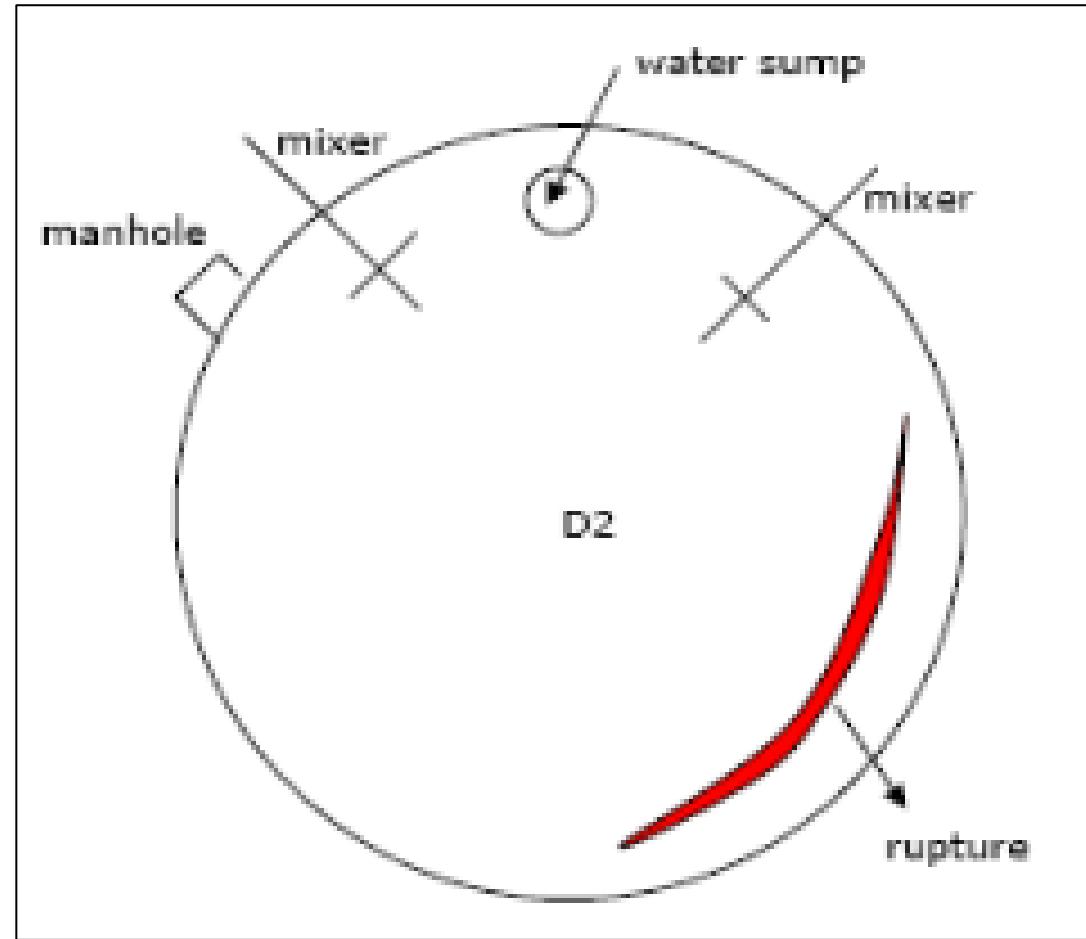
# Caratteristiche del serbatoio D2

- La fondazione del D2: anello di materiale granulare (ghiaia di sassi di roccia frantumata), con sassi dal diametro di 50-150mm, altezza di circa 120cm di cui una parte al di sotto del livello del terreno, largo circa 340 cm alla base e 100cm alla sommità. Il mantello era situato al centro della larghezza dell'anello
  - Parte interna dell'anello riempita di sabbia compatta, sopra cui c'era strato di 5cm di sabbia oleata per evitare corrosione esterna del fondo
  - Il sottosuolo costituito da strato di morbida argilla di 1 m, con sotto uno strato di sabbia di 3m



## Le cause dell'evento

L'investigazione ha mostrato che le piastre di fondo, in corrispondenza di una stretta e lunga banda circolare lunga circa 35m e larga circa 20cm, posta a circa 1,5 m dal mantello, erano estremamente indebolite a causa della corrosione interna. In tale banda lo spessore delle piastre era ridotta quasi a zero, e il fondo del serbatoio aveva formato una fossetta (gutter), in cui fu rilevata una corrosione interna uniforme (non di tipo pitting)



## Le cause dell'evento

- Durante l'utilizzo del serbatoio D2 si è formata una fossetta nel fondo, a circa 1,5m dal mantello, a causa della quale l'acqua presente non defluiva completamente verso il sistema di drenaggio. L'accumulo di acqua stagnante nella fossetta causò una profonda corrosione che ridusse fortemente lo spessore del fondo in quella zona
- La rilevante fuoriuscita di grezzo partì all'inizio con una piccola perdita, che **saturò la sabbia compatta sottostante** favorendo la **fluidificazione**, con **riduzione** localizzata della **resistenza** della fondazione sotto il serbatoio; a causa della pressione idrostatica del grezzo sul fondo, questo si fessurò lungo la fossetta
- La forza del flusso di grezzo uscente fu tale da distruggere una parte della fondazione del serbatoio, e spazzare via parte del sottosuolo

## Le cause di radice

- La fossetta si è formata a causa di cedimenti (assestamenti) della fondazione, che in quel punto era costituita da sabbia compatta
- La fossetta si è formata probabilmente durante il 1° test idrostatico nel serbatoio: nel momento in cui il serbatoio viene caricato per la 1° volta, la sabbia compatta si sistema, ma a causa dell'esistenza di cavità nell'anello granulare, una parte della sabbia scompare in tali cavità, tra i sassi di roccia. A causa di tale fenomeno una fossetta si è formata nelle piastre di fondo, vicino all'anello granulare. Calcoli basati sul metodo degli elementi finiti hanno mostrato che, sulla base delle informazioni sulle fondazioni, sul sottosuolo e sulle dimensioni del serbatoio, la formazione della fossetta poteva essere prevista

## Le cause di radice

- La fossetta nelle piastre di fondo non era stata intercettata durante l’ispezione interna del serbatoio nel 1990-91, probabilmente a causa della tecnica di ispezione utilizzata e del fatto che le ispezioni erano state effettuate a serbatoio scarico, nel qual caso la deformazione elastica può parzialmente nascondere la fossetta nelle piastre di fondo
- Durante l’ispezione interna nel 90-91, tutte le piastre furono visivamente ispezionate sulla corrosione pitting, e misure di spessore a ultrasuoni delle piastre furono effettuate in alcuni punti del fondo-serbatoio. Tali misure vennero effettuate su tutte le piastre situate nei 2 assi perpendicolari sopra l’intero diametro del serbatoio (misure a fascia incrociata). Le misure diedero buoni risultati per lo spessore del fondo

## Le cause di radice

- Dopo tale incidente, le piastre di fondo di tutti gli altri serbatoi furono accuratamente ispezionati. Tutti mostrarono la stessa formazione di fossetta nelle piastre di fondo a 1,5m dal mantello. Per alcuni serbatoi, la lunghezza della fossetta era solo di qualche metro, mentre per altri era identica a quella del D2
- Tali ispezioni provarono che la perdita nel serbatoio D3, avvenuta un mese prima, ebbe le stesse cause della rottura del serbatoio D2, solo che la fossetta nel D3 era molto più corta. Dopo un po' di tempo il rilascio si è fermato, probabilmente perché i sedimenti nel grezzo hanno occluso i punti perforati nelle piastre di fondo
- La visibilità della fossetta era diversa da serbatoio a serbatoio; misure a ultrasuono dello spessore in corrispondenza delle fossette indicarono che localmente lo spessore delle piastre di fondo era ridotto. In alcuni serbatoi furono trovate anche piccole perforazioni nelle piastre, mentre per il D1 lo spessore delle piastre nella fossetta non era inferiore ai 4 mm

## Misure adottate dall'azienda

- Dopo l'incidente, analizzato il carattere corrosivo dell'acqua al fondo dei serbatoi, drenata regolarmente (misurandone il pH)
- Revisionato il programma di ispezioni di tutti i serbatoi verticali di stoccaggio. Tra 2 ispezioni interne, programmate misurazioni di emissioni acustiche, sulla base di cui decidere la data successiva di ispezione interna, se necessario
- Durante l'ispezione interna dei serbatoi, previste misure a ultrasuono di spessore a banda incrociata ma con esplorazione dell'intero fondo. Se viene usato un 'floor scan', 5 misure addizionali di spessore ad ultrasuono effettuate su ogni piastra di fondo
- Al fine di individuare perdite in stadio incipiente, adozione di controllo con allarme sulle variazioni di livello anomale nei serbatoi di grezzo, e sistema di rilevamento di grezzo sotto i serbatoi on-line

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- fenomeno di degradazione del contenimento del serbatoio di stoccaggio, deve essere identificato ed analizzato
- rischi derivanti dalla presenza di fasi immiscibili; analisi chimiche devono essere condotte per determinare il comportamento corrosivo di tali fasi (composizione chimica, pH, ...)
- nel fondo dei serbatoi si possono formare fossette, nelle quali si possono accumulare prodotti corrosivi, che possono condurre ad una locale ed uniforme corrosione; la formazione di fossetta nel fondo è dovuta alla combinazione di: dimensione del serbatoio, locale comprimibilità della fondazione e sottosuolo relativamente elastico. Le fossette non sono sempre visibili ad occhio. Possono essere localizzate tramite investigazione topografica. Le mappe topografiche sono prodotte da un topografo che misura il fondo del serbatoio con un laser

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- La corrosione uniforme locale (conseguenza della formazione della fossetta) non è facilmente rilevabile. Tecniche appropriate devono essere usate per investigare le piastre
- evitare o limitare la presenza di prodotti corrosivi che possono depositarsi; evitare che tali prodotti si depositino (mescolando le differenti fasi); l'efficacia del mescolamento è importante
- rimuovere periodicamente i prodotti depositatisi; il drenaggio dei prodotti depositati non garantisce che insediamenti siano rimossi dalle fossette del fondo
- evitare la formazione di fossette nel fondo. I serbatoi di stoccaggio possono essere sollevati, e le fondazioni al di sotto possono essere ristrutturate. In tal caso, effettuando un test idrostatico, si possano formare nuovi assestamenti

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- Analizzare le fondazioni ed il sottosuolo sotto i serbatoi per raccogliere dati sufficienti che possono indicare se esiste il rischio di formazione fossetta
- Per i nuovi serbatoi, calcoli sulle fondazioni possono essere condotti durante la fase di progetto, per ridurre il rischio di formazione fossette
- Un rivestimento ben applicato sul fondo del serbatoio riduce fortemente la velocità di corrosione. Un rivestimento applicato non bene può ridurre la corrosione uniforme, ma favorire il pitting al di sotto del rivestimento. La buona aderenza del rivestimento dipende da molti parametri come umidità, temperatura, tipo di rivestimento, tendenza verso uno strato non completamente indurito,....

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- garanzia sullo spessore e sull'aderenza del rivestimento: necessario effettuare misure sullo spessore di differenti strati, test di conducibilità e test di non porosità. Lo std API 652 'rivestimenti di fondi di serbatoi di stoccaggio sovra terra' descrive i vantaggi e svantaggi di differenti tipologie di rivestimenti
- programma di ispezioni interne basate sulla velocità di corrosione: principio generale degli standards API 653 'ispezione, riparazione, alterazione e ricostruzione del serbatoio'. Normalmente la velocità di corrosione delle piastre di fondo è la più importante, la velocità di questa corrosione locale maggiore è determinante per l'intervallo di ispezione

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- La velocità di corrosione interna può essere determinata analizzando i prodotti depositati (carattere corrosivo dei prodotti (es. misure di pH))
- Dalla velocità di corrosione si può determinare quanto tempo il serbatoio di stoccaggio può essere usato in sicurezza prima che una prossima ispezione sia necessaria. API 653 descrive quali spessori minimi di una piastra devono essere misurati per usare il serbatoio in sicurezza
- Se ci si aspettano forti differenze nelle proprietà e composizione chimica dei residui, tali analisi e calcoli di intervalli di ispezione devono essere periodicamente ripetuti
- L'analisi dei prodotti di fondo può essere usata per rintracciare altri fenomeni corrosivi (es. corrosione batteriologica)

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- tecniche di ispezione interna adeguate: ispezioni interne in cui le misure di spessore a ultrasuoni sono effettuate solo su modello a banda incrociata (giusto per avere una impressione generale dello spessore del fondo del serbatoio) non sono sufficienti per rintracciare una corrosione locale ed uniforme
- al fine di avere una visione totale di tutti i cambiamenti di spessore del fondo, questo deve essere completamente esplorato. Esploratori piani sono molto utili per misurare improvvisi cambiamenti di volume nel piano (es. pitting). Essi possono essere comunque usati anche per individuare variazioni graduali dello spessore delle piastre di fondo

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- Per garantire che un floor scan generi un'informazione accurata sullo stato dell'intero fondo del serbatoio, devono essere soddisfatte alcune condizioni
- Deve essere controllato se la presenza di un rivestimento influisce sui risultati, e in che stato il serbatoio deve essere presentato per ottenere buone misure, e le condizioni di pulizia delle piastre di fondo
- Il segnale generato dal floor scan può risentire del movimento (non è un problema se lo scanning è usato per individuare il pitting), che ha comunque un impatto più ampio per individuare gradualmente cambiamenti nel piano di fondo. Per risolvere tali problemi è utile effettuare alcune misure di spessore ad ultrasuono su ogni piastra di fondo. Il segnale dall'apparato scanner può essere misurato per ogni piastra al fine di ottenere misure accurate sui cambiamenti graduali di spessore del fondo

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- tecniche di ispezioni esterne aggiuntive: in aggiunta alle ispezioni interne, ispezioni intermedie esterne possono essere condotte, al fine di raccogliere informazioni aggiuntive sullo stato di corrosione dei serbatoi
- possono essere applicate quando i serbatoi sono in servizio, sono particolarmente utili quando c'è un'ampia incertezza sul fenomeno di corrosione e/o sulla velocità di corrosione
- tecnica: EA. Microfoni sistemati sul mantello del serbatoio per ricevere onde sonore provenienti dal serbatoio; ogni onda è immagazzinata, e la sorgente del rumore è calcolata tramite software. I suoni associati ad attività di corrosione hanno un'altissima frequenza. I dati sono elaborati al fine di localizzare i punti dove si trova attività di corrosione, e determinare la densità di tale attività (dal grado A (molto piccolo) al grado E (alta attività corrosiva))

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- In funzione dell'attività corrosiva rilevata, si può decidere di condurre immediatamente un'ispezione interna sul serbatoio (in caso di grado E), riprogrammare una prossima ispezione interna in data anticipata, o ripetere le misure di EA dopo un certo periodo
- La tecnica di EA consente inoltre di individuare perdite, individuate ad altre frequenze rispetto a quelle di attività corrosiva (possibile individuare piccole perforazioni sul fondo del serbatoio)
- Altra tecnica, ad ampia gamma di ultrasuoni, consente di ottenere un'immagine qualitativa dello stato delle piastre anulari di fondo (non dell'intero fondo) usando onde guidate
- Tali tecniche di ispezioni esterne non producono informazioni (quantitative) sulla velocità di corrosione e non possono essere usate per aumentare intervalli di ispezione basati sulla velocità di corrosione

# Lezioni apprese per gli utilizzatori di serbatoi di stoccaggio

- applicazione di tecniche di individuazione di perdite: diverse tecniche possono essere applicate per individuare una perdita nel fondo del serbatoio mentre è in servizio
- Una possibile tecnica consiste nel sistemare cavi elettrici nel sottosuolo a distanze fissate. La conducibilità di tali cavi cambia se viene individuato un prodotto nel sottosuolo
- Grossi perdite possono essere individuate cercando deviazioni anomale di livello del fluido nel serbatoio. Se una misura di livello continua è installata nel serbatoio, è possibile installare un allarme extra nel programma di controllo. L'allarme è generato quando il livello del fluido decresce quando non ci sono attività di pompaggio fuori dal serbatoio