

SICUREZZA NEGLI STABILIMENTI SEMPLICI. CASI INCIDENTALI IN CUI LA GRAVITÀ DELL'EVENTO (E DEGLI EFFETTI) PRESCINDE DALLA COMPLESSITÀ DEL PROCESSO

**Caso 2: esplosione durante infustamento in magazzino
di stoccaggio chemicals liquidi**

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

Caso studio 2 – attività stabilimento

- stabilimento-deposito: commercio all'ingrosso e distribuzione di prodotti chimici e petrolchimici, quali acetati, solventi e diluenti e nella formulazione di miscele di solventi. L'azienda ha come principali clienti le società farmaceutiche
- approvvigionamento dei prodotti effettuato tramite autostrasporti. Una volta in stabilimento, i prodotti sono scaricati e stoccati in serbatoi interrati, nei quali vengono trasferiti dalle autobotti per gravità, con sistemi a circuito chiuso e collegamento a mezzo di manichetta flessibile
- i prodotti in vendita escono dallo stabilimento prevalentemente in forma sfusa (95 % ca.) mediante autobotti, e in misura minore in forma imballata (in fusti metallici da 200 litri) mediante autocarri a cassone. In quest'ultimo caso i prodotti sono prelevati dai rispettivi serbatoi ed infustati. L'infustamento dei prodotti infiammabili, sia singoli sia miscelati in base alle formulazioni richieste, è effettuato nei capannoni appositamente predisposti, ovvero capannone A e C

Caso studio 2 - deposito

- Deposito costituito da: parco di 50 serbatoi interrati per uso commerciale, più 3 serbatoi interrati di gasolio ad uso interno (uno di gasolio per riscaldamento, uno per il gasolio di autotrazione utilizzato dai mezzi aziendali, e uno di gasolio per autotrazione a servizio del gruppo elettrogeno di emergenza)
- Presenti 3 capannoni utilizzati per lo stoccaggio in fusti dei diversi prodotti

Capannone A:	Prodotti infiammabili e/o tossici, tossici per l'ambiente (es. Acetato di butile, Toluene, Acetone, Alcool etilico, Alcool metilico, Cicloesano ecc.)
Capannone B:	Prodotti non infiammabili e/o tossici (clorurati, es. Cloruro di metilene, Percloroetilene, ecc.)
Capannone C:	Prodotti infiammabili e/o tossici per l'ambiente (es. Esano, Eptano, Oli medi, acqua ragia minerale, acqua ragia dearomatizzata, oli lubrificanti ecc.)

Caso studio 2 – unità origine dell'evento

- unità origine evento: capannone A in c.a., di 600 m², ove avviene l'infustamento dei prodotti infiammabili acetati (tra cui acetato di butile), protetto da impianto di spegnimento a pioggia, classificato zona 2 ATEX
- all'interno, fusti stoccati su rulliere, in attesa di essere caricati su automezzi tramite carrello elevatore, per il conferimento al cliente. Rulliere composte da rulli rivestiti in teflon, dotate di collegamento equipotenziale all'impianto di messa a terra generale, sottoposto a verifica con cadenza biennale da parte di Ente Notificato
- presenti 2 postazioni di carico (D1 e D2) simmetriche, ognuna alimentata da 2 linee di trasferimento prodotti e dotata, tra l'altro, di 2 pistole di carico, bilancia, pinza di messa a terra, aspiratore ad azionamento manuale
- postazione D1: 1 pistola è collegata alla linea alimentata dalla pompa ausiliaria esterna sotto la pensilina D (linea di interesse per l'incidente); l'altra pistola è collegata alle linee alimentate da serbatoi interrati esterni al capannone



Caso studio 2 – percorso di $C_6H_{12}O_2$

- il prodotto può essere trasferito dai serbatoi interrati al Capannone A o attraverso linee dedicate o, in caso di specifiche di purezza del prodotto particolarmente elevate (come nel caso in esame), attraverso contenitori mobili (cisternette da 1000 l)
- in tal caso, il percorso acetato di butile (sostanza coinvolta):
 - trasferimento da serbatoio interrato n. 40 a cisternette in circuito chiuso su pensilina B con braccio di carico
 - spostamento manuale su carrello delle cisternette riempite dalla pensilina B alla pensilina D, in corrispondenza della pompa ausiliaria esterna al capannone A, la quale trasferisce i prodotti alla postazione D1 di infustamento tramite pipeline
 - infustamento del prodotto in postazione D1 dentro il capannone A, ove è avvenuto l'evento





Caso studio 2 - infustamento

- infustamento: dopo aver collegato il bordo superiore del fusto con la pinza di messa a terra, acceso l'aspiratore e posizionatolo sopra l'apertura del fusto, l'operatore riempie il fusto previa apertura della pistola ed attivazione della pompa. Nel caso della postazione D1 l'operatore comanda la pompa ausiliaria esterna e l'aspiratore mediante una pulsantiera posta in prossimità della bilancia



Caso studio 2 – apparecchiatura origine dell'evento

- i fusti vuoti scorrono su una rulliera in quota, e provengono dalla zona magazzino; ogni fusto è calato su una rulliera a piano pavimento, da cui è movimentato su una seconda rulliera verso la bilancia, che funge anche da postazione di riempimento e pesatura. Il fusto, una volta riempito, è spostato su una terza rulliera per il trasferimento nell'area di stoccaggio all'interno del capannone
- l'impianto di travaso opera in modo da garantire che la velocità del prodotto nelle tubazioni non superi il valore di 1m/s (condizione empirica per evitare la generazione di cariche elettrostatiche pericolose)
- l'apparecchiatura origine dell'evento è il fusto metallico da 200 l, omologato ADR, dotato di apertura di carico da 2" e sfiato vent, verniciato esternamente
- dopo l'utilizzo, i fusti recuperati dai clienti vengono smaltiti a ditta specializzata, la quale effettua la rigenerazione degli stessi. Nella rigenerazione avviene tra l'altro la bonifica e l'eventuale riverniciatura del fusto



Caso studio 2 – dinamica evento

- ore 11.30, durante operazione di infustamento di acetato di butile da parte di autista Sig. F., dipendente ditta terza XX (ditta storica di trasporto in esclusiva per l'azienda dal 1990), in particolare in fase di scolo della linea d'infustamento nel fusto, innesco dei vapori all'interno del fusto con successiva esplosione
- distacco del fondo del fusto, per effetto della pressione sviluppata dalla deflagrazione al suo interno, con rilascio immediato del liquido contenuto, ormai in fiamme, in parte a terra ed in parte sul Sig. F. che, trasportato in ospedale per ustioni su 80% del corpo, è deceduto dopo 15 giorni
- conseguente incendio, propagatosi con modesta entità, perché essenzialmente alimentato solo dal liquido sversato (ca. 25 l max)
- incendio domato in pochi minuti con attivazione impianto fisso di estinzione, nel locale infustamento, ed uso idranti esterni da parte della squadra di emergenza interna. I VVF del Comando Provinciale, chiamati in soccorso, giunti tempestivamente sul posto ad incendio già estinto

Caso studio 2 – sostanza coinvolta

- unica sostanza coinvolta: ACETATO DI N-BUTILE ($C_6H_{12}O_2$), liquido infiammabile classificato P5c (liquidi infiammabili cat. 2 o 3) secondo il D.Lgs 105/2015
- quantità coinvolta stimata: corrispondente all'hold-up della linea di alimentazione della postazione D1, dalla pompa ausiliaria sita in banchina esterna D fino alla pistola di erogazione a D1. Stimata in 25 litri max, pari a 22kg, data la dimensione della linea
- ritrovata, dopo l'incidente, la cisternetta esterna da 1000 l vuota e fusti carichi di acetato posizionati in area stoccaggio. Si presume che il quantitativo coinvolto sia dunque il residuo di scolo dell'infustamento appena concluso
- sostanza mono-componente, ovvero materia prima e prodotto finito contemporaneamente, non effettuandosi in stabilimento operazioni di processo

Caso studio 2 – caratteristiche C₆H₁₂O₂

- Numero CAS 123-86-4
- Punto di infiammabilità: 27 ° C
- Densità: 0,8812 g/cm³ (20 ° C)
- Densità relativa del vapore (aria): 4 (Aria=1) a 20C°
- Tensione di vap: 15 hPa (20° C)
- Codici pericolo CLP: H226 (Liquido infiammabile), Categoria 3, H336 (Tossicità specifica per organi bersaglio) - esposizione singola Categoria 3 (effetti narcotici), H315 (Corrosione/irritazione cutanea 2), H319 (Irritazione Oculare Categoria 2)

SEZIONE 9: proprietà fisiche e chimiche

9.1 Informazioni sulle proprietà fisiche e chimiche fondamentali

Stato fisico	liquido
Colore	chiaro - incolore
Odore	fruttoso
Soglia olfattiva	7 ppm
Punto di fusione/punto di congelamento	<-90 °C (ECHA)
Punto di ebollizione o punto iniziale di ebollizione e intervallo di ebollizione	126,2 °C a 1.013 hPa (ECHA)
Infiammabilità	liquido infiammabile secondo i criteri GHS
Limite inferiore e superiore di esplosività	1,2 vol% (LEL) - 7,5 vol% (UEL)
Punto di infiammabilità	27 °C a 1.013 hPa (ECHA)
Temperatura di autoaccensione	415 °C a 1.010 hPa (ECHA)
Temperatura di decomposizione	irrilevante
(valore) pH	6,2 (in soluzione acquosa: 5 g/l, 20 °C)
Viscosità cinematica	0,831 mm ² /s a 20 °C
Viscosità dinamica	0,732 mPa s a 20 °C

- BUAC: indice di velocità di evaporazione relativa, ossia la velocità di evaporazione di un dato liquido (espressa in g/m² rispetto a quella dello standard di riferimento, l'Acetato di n-butile). Il BUAC dell'acqua è pari a 0,3. Quello nell'Acetato di n-butile è, essendo proprio questa sostanza lo standard, pari a 1

SEZIONE 10: stabilità e reattività

10.1 Reattività

Si tratta di una sostanza reattiva. Rischio di accensione.

Se riscaldato

Rischio di accensione. I vapori possono creare con l'aria una miscela esplosiva.

10.2 Stabilità chimica

Il materiale è stabile in ambiente normale e nelle condizioni di temperatura e di pressione previste durante lo stoccaggio e la manipolazione.

10.3 Possibilità di reazioni pericolose

Reazione intensa con: molto comburente, Idrossido alcalino (alcali caustico), Alcali forti

10.4 Condizioni da evitare

Tenere lontano da fonti di calore, superfici calde, scintille, fiamme libere o altre fonti di accensione.
Non fumare.

10.5 Materiali incompatibili

Prodotti di gomma, altro plastica

10.6 Prodotti di decomposizione pericolosi

Prodotti di combustione pericolosi: cfr. sezione 5.

Caso studio 2 – conseguenze/danni

- decesso operatore che eseguiva l'infustamento di acetato di butile. Distacco del fondo del fusto esplosivo, e violenta proiezione del liquido in fiamme sull'operatore Sig. F, provocando ustioni su volto, tronco, arti inferiori e superiori per una estensione totale del 80% del corpo, risparmiando solo il torace superiore, mani e piante dei piedi (per la presenza di guanti e scarpe di lavoro)
- danni circoscritti alla postazione di infustamento D1 all'interno del capannone A: danni da fiamma diretta ad apparecchi e attrezzature fino ad un'altezza approssimativamente pari a sei metri da terra (stimati dall'azienda orientativamente 300.000 euro di danni materiali interni)





Caso studio 2 – cause innesco/esplosione

Innesco della miscela infiammabile:

- atmosfera infiammabile sviluppatasi, dentro il fusto, sopra il pelo libero del liquido infiammabile, in fase di travaso. I fusti in attesa di riempimento sono pieni d'aria, non appena ha inizio l'introduzione del liquido questo contestualmente evapora; sia la tensione di vapore dell'Acetato di butile (15 hPa a 20° C) che il rateo di evaporazione (BUAC=1) sono piuttosto alti → quasi immediatamente la concentrazione dei vapori entra nel campo d'infiammabilità
- innesco dovuto ad una scarica elettrostatica, conseguente ad inefficace contatto della pinza di messa a terra con il fusto. La pinza, infatti, non era dotata di sistema di interblocco, sistema che consente il trasferimento del prodotto nel fusto solo in caso di messa a terra verificata. Inoltre non era presente, nell'area infustamento, alcun sistema di rilevazione di atmosfere potenzialmente pericolose
- incidente avvenuto durante lo scolo della linea d'infustamento (scolo dei residui di acetato), fase in può acuirsi il rischio di formazione di atmosfera esplosiva nello spazio sopra al pelo libero del liquido (più probabile che la miscela infiammabile rientri nel campo di infiammabilità)

Caso studio 2 – cause innesco/esplosione

- acetato di Normal Butile: ha una non trascurabile conducibilità elettrica, ma la sua manipolazione richiede massima attenzione al fine di prevenire l'accumulo di cariche. La pinza di terra utilizzata per il collegamento equipotenziale dei fusti, del tipo privo di consenso, non era atta a garantire con certezza l'equipotenzialità del fusto. La necessità di pinzare il fusto sul bordo verniciato (unico punto possibile), inoltre, riduce ulteriormente l'efficacia del presidio (lo strato di vernice potrebbe compromettere la continuità del collegamento equipotenziale, specie se ricostruito più volte a seguito di rigenerazione del fusto)
- conferma nella perizia CTU : ...esplosione all'interno di un fusto in fase di riempimento o scolo...innesco di natura elettrostatica avvenuto nel fusto..
- conferma nella relazione tecnica del GdL del CTR per la verifica delle prescrizioni impartite a fine istruttoria RdS, e per l'analisi dell'incidente
- conferma nella relazione ASL:...nelle postazioni di infustamento dei prodotti infiammabili, non adottati accorgimenti tecnici atti ad impedire l'operazione di riempimento dei fusti se l'addetto dimentichi di collegare la pinza di messa a terra al fusto, o se la vernice del bidone, fungendo da isolante, impedisca la chiusura del circuito di terra...

Caso studio 2 – cause innesco/esplosione

- la Istruzione Operativa I.3.11 “area critica: infustamento sostanze e miscele con pompa ausiliaria. Gestione infustamento in condizioni normali, anomale e di emergenza: capannone A, zona D1, serbatoi da 15 a 21” ed. 10/2014, redatta dall’azienda nel proprio SGS, non contempla il trasferimento di acetato di butile
- la IO inoltre richiede l’utilizzo di pinza di messa a terra ma non prevede la verifica dell’effettivo collegamento equipotenziale; prevede poi l’interruzione dell’infustamento in caso di anomalia, definita in maniera generica in una procedura a parte

Caso studio 2 – cause ‘aggravamento’ danni

Formazione dell’addetto infortunato:

- prima dipendente interno, poi della ditta terza trasporti; assunto con la qualifica di autista, condizioni contrattuali mantenute inalterate
- mansionario per la qualifica di autista non prevede l’esecuzione di operazioni di infustamento di prodotti. Comprende operazioni quali caricare e scaricare cisterne e fusti, condurre e mantenere l’automezzo. Il Sig. F non era adeguatamente formato per effettuare operazioni di infustamento di liquidi infiammabili
- il decesso poteva probabilmente essere evitato, se lo stesso operatore avesse regolarmente indossato tutti i DPI (tuta, casco ...) previsti per l’operazione di infustamento, in particolare la tuta antistatica ignifuga, (che avrebbe protetto la parte del corpo seriamente ustionata)
- l’operatore deceduto indossava solo scarpe e guanti antistatici, ma era sprovvisto di tuta, casco ed occhiali. La mancanza di utilizzo di tutti i DPI non era stata notata/richiamata né dai colleghi, comunque interfacciatisi con l’infortunato, né dalla direzione che supervisiona le operazioni



Caso studio 2 – cause di radice/fattori SGS

- **3.i – identificazione pericolosità sostanze e processi:** carente conoscenza ed attenzione alla pericolosità della sostanza manipolata (infiammabilità, reattività, viscosità, velocità di evaporazione, ...) e alla pericolosità dell'operazione condotta (infustamento)
- **3.iii - carenza negli adeguamenti impiantistici e gestionali per la riduzione del rischio:** mancata adozione delle migliori tecnologie disponibili per i sistemi di sicurezza adottati nell'operazione di infustamento di prodotti infiammabili, ovvero di pinza di messa a terra con interblocco. Mancata riflessione su modalità di esecuzione di questa fase di attività (scolo) più idonee alla prevenzione della formazione di atmosfere esplosive
- **3.ii - mancata considerazione nell'analisi di sicurezza di tutte le ipotesi di incidente in area infustamento, inclusa la fase finale di scolo;** l'analisi eseguita dall'azienda infatti si limitava alle sole ipotesi di rottura per caduta fusto e successivo sversamento. Una corretta e completa analisi avrebbe portato alla individuazione di misure di sicurezza più idonee

Caso studio 2 – cause di radice/fattori SGS

- **2.ii-2.iii - Addestramento/formazione del personale:** necessità di garantire corretta definizione di ruoli e mansioni sia del personale operativo (coordinamento ed esecuzione lavori) che del personale dirigente (supervisione dei lavori); necessità di rivedere piano e attività di formazione ed addestramento del personale interno ed esterno, anche ai fini di migliorare l'interfaccia operatore-impianto, in relazione ai ruoli e mansioni definiti
- **5.i - Gestione delle modifiche:** il mansionario autista comprende operazioni quali carico/scarico cisterne/fusti, condurre e controllare l'automezzo. L'autista non è idoneo per effettuare operazioni di infustamento di liquidi infiammabili. Carezza nella esecuzione di modifica gestionale (variazione immediata di mansione dell'autista), effettuata in assenza di necessaria preparazione
- **4.iii – Procedure operative e istruzioni nelle condizioni normali, anomale e di emergenza:** carezza nelle specifiche di sicurezza mancanti sulla IO relativa all'infustamento: la IO non contempla il trasferimento di acetato di butile, inoltre non prevede la verifica dell'effettivo collegamento equipotenziale; infine prevede l'interruzione dell'infustamento in caso di anomalia, senza specificare dettagli e tipologie di anomalia

Caso studio 2 – azioni correttive

- modifica procedura di scolo (fase finale di infustamento): da effettuarsi all'esterno del capannone, utilizzando una pompa ausiliaria di tipo centrifugo che consenta l'inversione di flusso per l'aspirazione dello scolo (residuo di liquido infiammabile) dalla linea, e il rinvio in cisternetta
- in alternativa, sistema di blocco preventivo automatico: inserimento di controllo preventivo, sulla mandata della pompa centrifuga, che al passaggio di vapori di prodotto (segnale di liquido esaurito nella cisternetta) per un tempo di 10-15 secondi provvede a bloccare la pompa. Il liquido residuo nella tubazione di mandata viene 'scolato' tramite valvole manuali per caduta.
- aggiornamento dell'analisi di rischio in corrispondenza della presentazione del nuovo RdS con considerazione di tutte le ipotesi incidentali in area infustamento
- adozione di sistema atto ad impedire l'operazione di riempimento fusto in caso di messa a terra non accertata: sistema di interblocco per la pinza
- adozione sistema di rilevazione di atmosfere potenzialmente pericolose nell'area

Caso studio 2 – azioni correttive

- aggiornamento dell'SGS, in particolare:
 - revisione della IO relativa all'attività di infustamento, includendo precisa indicazione di apparecchiature, sostanze e modalità di esecuzione dell'operazione in condizioni normali, anomale e di emergenza
 - revisione del mansionario degli autisti esterni, con previsione di includere tra le mansioni l'attività di infustamento
 - revisione del piano e della attività di formazione ed addestramento del personale interno ed esterno, anche ai fini di migliorare l'interfaccia operatore-impianto, in relazione ai diversi ruoli e mansionari definiti
 - focalizzazione nelle attività formative e di audit interni sull'uso sistematico dei DPI completi nelle operazioni di trasferimento liquidi infiammabili