

Esplosioni Pericoli e misure di protezione

Una lezione sperimentale

suvaPro

sicurezza sul lavoro

Questa pubblicazione dal titolo «Esplosioni. Pericoli e misure di protezione» descrive la lezione sperimentale curata dalla Suva. Iniziata con un paio di esperimenti successivamente ampliati da Felix Scheller del Settore chimica, questa lezione conta oggi un elevato di numero di esperienze pratiche. E proprio per questo suo carattere si è rivelata un'ottima introduzione al tema della protezione contro le esplosioni.

La protezione contro le esplosioni implica l'adozione di misure ad hoc volte ad evitare il rischio di esplosioni o a limitarne gli effetti. L'obiettivo è proteggere la salute e la vita delle persone e fare in modo che i danni per gli impianti e gli edifici siano ridotti al minimo. Per poter adottare le misure più idonee, occorre conoscere, almeno sommariamente, le caratteristiche fisiche delle sostanze e dei processi chimici e fisici che possono provocare un'esplosione.

L'obiettivo degli esperimenti descritti in questo documento è spiegare con parole semplici e chiare le conoscenze acquisite nel campo delle esplosioni e trasmetterle a tutti i responsabili operanti nelle aziende, agli specialisti in materia di sicurezza, ai datori di lavoro e ai lavoratori.

Suva
Sicurezza sul lavoro
Casella postale, 6002 Lucerna
Telefono: 041 419 51 11
Fax: 041 419 59 17 (per ordinazioni)
Internet: www.suva.ch

Esplosioni – Pericoli e misure di protezione
Una lezione sperimentale

Autori: Felix Scheller, Roland J. Ott, Jakob Utzinger, Suva, Settore chimica, Lucerna

Riproduzione autorizzata con citazione della fonte
1° edizione – ottobre 2002 – 1 000 copie

Codice 44071.i

Sommario

| | | |
|-----------|---------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Tipi di esplosione | 4 |
| 1.1 | Esplosione fisica | 4 |
| 1.2 | Esplosione chimica | 4 |
| 1.3 | BLEVE | 5 |
| 2 | Pressione di vapore | 6 |
| 3 | Miscele combustibile-aria (spegnimento di un incendio) | 7 |
| 4 | Atmosfera esplosiva di gas e vapori | 10 |
| 4.1 | Atmosfera esplosiva nelle condutture | 11 |
| 4.2 | Sistemi aperti e chiusi | 12 |
| 4.3 | Limiti di esplosione | 12 |
| 4.4 | Punto di infiammabilità | 15 |
| 5 | Liquidi infiammabili ad alto punto di infiammabilità | 17 |
| 5.1 | Liquido riscaldato oltre il punto di infiammabilità | 17 |
| 5.2 | Aumento della superficie e l'«effetto stoppino» | 17 |
| 5.3 | Liquidi infiammabili nebulizzati | 18 |
| 6 | Polveri infiammabili | 19 |
| 7 | Un riassunto sulle sostanze infiammabili pericolose | 21 |
| 8 | Sostanze infiammabili a contatto con altre sostanze | 22 |
| 8.1 | Sostanze incompatibili | 22 |
| 8.2 | Miscele di liquidi facilmente infiammabili | 23 |
| 9 | Esplosione di recipienti | 24 |
| 10 | Fonti di innesco | 26 |
| 10.1 | Fiamme libere | 26 |
| 10.2 | Superfici calde | 26 |
| 10.3 | Elettricità statica | 27 |
| 10.4 | Apparecchiature elettriche | 28 |
| 10.5 | Reazioni chimiche | 28 |
| 11 | Densità relativa | 29 |
| 12 | Misure di protezione contro il pericolo di esplosioni | 31 |
| 12.1 | Misure di tipo preventivo | 31 |
| 12.2 | Misure di tipo costruttivo | 32 |
| 12.3 | Misure organizzative | 34 |
| 13 | Bibliografia | 35 |

1 Tipi di esplosione

Dal punto di vista della sicurezza sul lavoro si è soliti distinguere tra due diversi tipi di esplosione:

- l'esplosione fisica;
- l'esplosione chimica.

I primi due esperimenti servono a chiarire in cosa si distinguono.

1.1 Esplosione fisica

★ Esperimento: scoppio di un recipiente

Se in un recipiente chiuso (ad es. una caldaia a vapore) viene introdotta dell'energia mediante riscaldamento, la pressione aumenta. Se la pressione nella caldaia aumenta in modo tale da superare **la pressione per la quale il recipiente è stato costruito**, il recipiente scoppia con tutte le conseguenze che questo comporta (ad es. esplosione violenta di impianti, apparecchiature, parti di edifici).

Trattandosi di un processo fisico si parla di «**esplosione fisica**».

1.2 Esplosione chimica

★ Esperimento: esplosione di un recipiente

Nel caso di un'«**esplosione chimica**» l'aumento della pressione è dovuto all'energia rilasciata da una reazione chimica tra un combustibile e l'ossigeno (figura 1). Un'esplosione di questo tipo è accompagnata da una **fiamma** e quindi rappresenta un caso particolare di combustione.

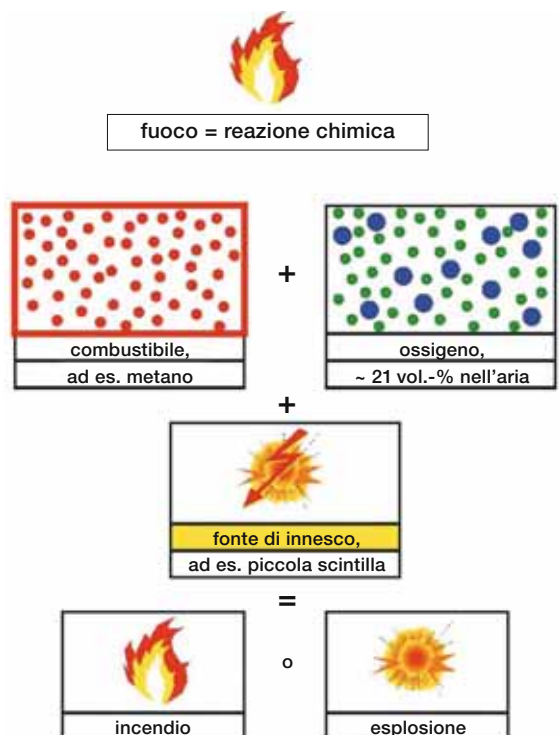


Figura 1: esplosione chimica

L'esplosione può essere definita nel seguente modo:



Un'esplosione è una reazione chimica di una sostanza infiammabile che avviene ad elevata velocità e che rilascia una notevole quantità di energia.

1.3 BLEVE

Un tipo di esplosione molto pericoloso è il cosiddetto **BLEVE** (**B**oiling **L**iquid **E**xpanding **V**apour **E**xplosion). Questo pericolo deve essere preso in dovuta considerazione dal punto di vista della sicurezza nello stoccaggio di gas liquefatti infiammabili in recipienti a pressione che si trovano nei centri abitati e nelle zone industriali. Il prossimo esperimento illustrerà quanto detto.

★ Esperimento: scoppio ed esplosione di un recipiente

In un recipiente contenente gas liquefatto (GPL, propano, butano) una parte del gas si presenta in forma liquefatta e un'altra in forma gassosa (cfr. le due fasi dei GPL, figura 2). Se il recipiente è esposto ad una fonte di calore, ad es. un fuoco nelle immediate vicinanze, la pressione al suo interno sale con l'aumentare della temperatura. Cresce anche la densità di vapore, mentre diminuisce la densità in fase liquida, poiché il liquido si espande con l'aumentare della temperatura. Se la temperatura continua a salire, il gas raggiunge il punto in cui entrambe le densità hanno lo stesso valore (= temperatura critica). **Questo fenomeno fa sì che il volume si dilati notevolmente e che venga superata di molto la pressione di rottura del recipiente.**

Lo scoppio di una cisterna può proiettare frammenti anche a centinaia di metri. Il gas rilasciato istantaneamente si incendia formando un enorme **fireball (o sfera di fuoco)**, il cui irraggiamento termico può causare ustioni molto gravi anche a persone distanti dall'incendio.

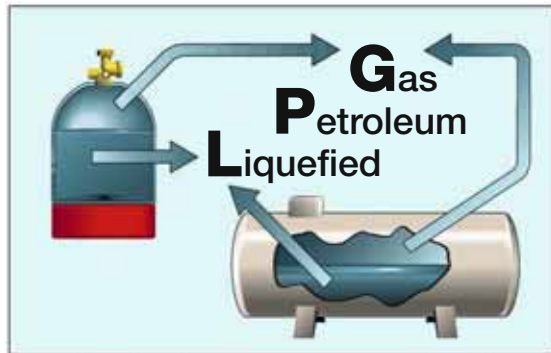


Figura 2: le due fasi dei GPL [4] (GPL, ad es. butano)

Il pericolo di esplosione è presente quando un'azienda produce, lavora o immagazzina gas, liquidi o polveri infiammabili suscettibili di rilasciare gas, vapori, nebbie o polveri che con l'aria possono dare origine ad una miscela esplosiva (figura 3).

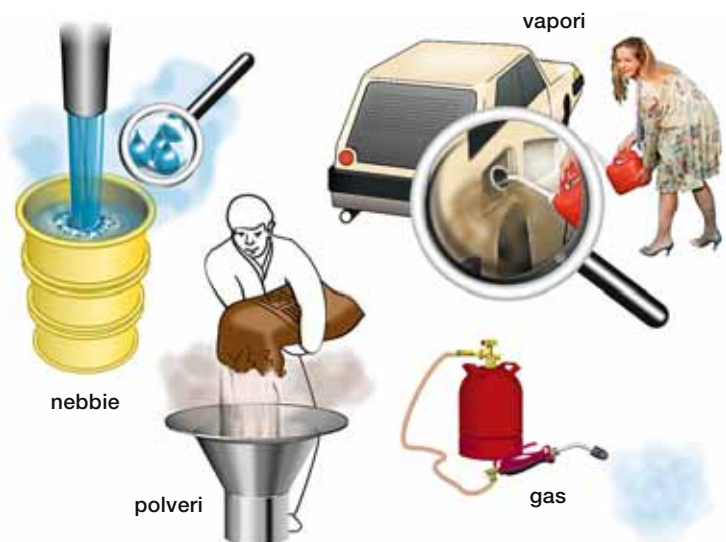


Figura 3: rilascio di gas, vapori, nebbie e polveri infiammabili [2]

2 Pressione di vapore

✧ Esperimento:

visualizzare la pressione di vapore

Se un gas liquefatto (propano, butano) viene riscaldato in un sistema chiuso, la pressione di vapore aumenta. Tale aumento non è lineare, ma esponenziale (figura 4).

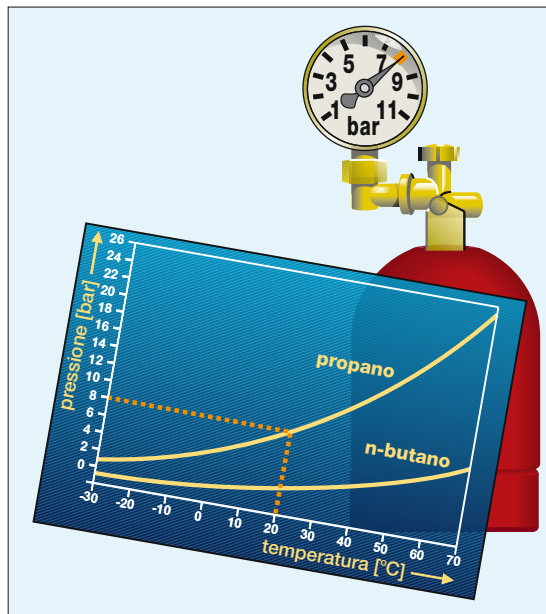


Figura 4: curve relative alla pressione di vapore di propano e butano [4]



Anche un lieve aumento della temperatura può provocare lo scoppio di recipienti riempiti completamente.

✧ Esperimento: liquefare i gas

Se in un fusto viene compresso con un pistone del butano allo stato gassoso, ad una determinata pressione il gas si liquefa, occupando un **volume decisamente più piccolo**. Allentando la pressione, il gas passa dallo stato liquido a quello gassoso.

3 Miscele combustibile-aria (spegnimento di un incendio)

★ **Esperimento: spegnere un incendio mediante soffocamento**

È possibile spegnere un incendio **sottraendo al combustibile l'aria comburente**. Questo metodo viene applicato coprendo le fiamme, ad es.:

- con coperte (se i vestiti si incendiano, è possibile soffocare le fiamme coprendole e rotolandosi contemporaneamente per terra);
- mediante coperture meccaniche (ad es. con un coperchio se l'incendio è provocato da una padella per friggere);
- con agenti estinguenti come schiume o polveri.

Il rapporto tra combustibile e aria può essere spiegato con un motore a combustione interna.

La benzina viene vaporizzata nel carburatore, poi viene mescolata con una determinata quantità di ossigeno dell'aria e immessa nel cilindro, dove una candela fornisce l'energia necessaria per l'accensione della miscela e quindi l'esplosione. Accanto ai gas di scarico, composti per lo più di anidride carbonica (CO₂), del temibile monossido di carbonio (CO), di particelle di carbonio (= fuliggine) e acqua, viene liberata energia destinata a muovere l'auto.

Per una combustione ideale, deve essere presente nel carburatore una determinata miscela di vapori di benzina e aria (**atmosfera esplosiva**). Se la quantità di benzina è troppo bassa o troppo elevata o – viceversa – se la quantità di ossigeno è troppo bassa, non può avvenire alcuna esplosione. In questi casi si dice che il motore «è ingolfato».

Per avere un incendio o un'esplosione devono essere soddisfatti contemporaneamente i seguenti requisiti: presenza di aria (ossigeno) e di una sostanza infiammabile come elemento reattivo in una miscela esplosiva e di una fonte d'innesco che abbia sufficiente energia (figura 5).

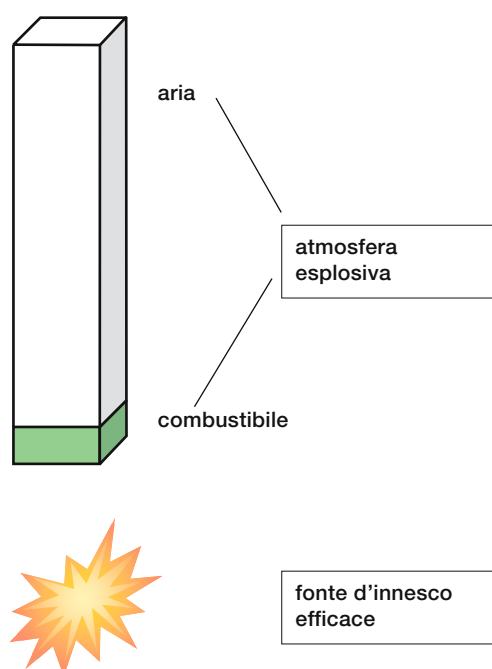


Figura 5: requisiti fondamentali per il verificarsi di un'esplosione

Per poter prevenire il rischio di esplosioni bisogna sempre adottare misure volte ad evitare o ridurre la formazione di miscele esplosive. Nel contempo, occorre evitare le fonti di innesco efficaci.

★ **Esperimento: spegnere con acqua un incendio causato da sostanze alcoliche**

In caso di incendio, i **liquidi infiammabili solubili in acqua** come l'alcool (etanolo) possono essere diluiti con l'aggiunta di acqua e quindi «spenti». Infatti, la sostanza infiammabile presente nella miscela acqua-solvente non riesce più ad evaporare in misura sufficiente.

★ **Esperimento: spegnere con acqua un incendio di benzina**

In caso di **liquidi infiammabili non solubili in acqua** (ad es. benzina, toluene, diluente nitro) l'acqua non può essere utilizzata come agente estinguente in quanto a causa della loro densità essi galleggiano sull'acqua (figura 6). Aggiungendo acqua non si fa altro che estendere la superficie dell'incendio, anziché spegnerlo.

Liquidi infiammabili

solitamente sono ◆ difficilmente solubili in acqua
◆ più leggeri dell'acqua

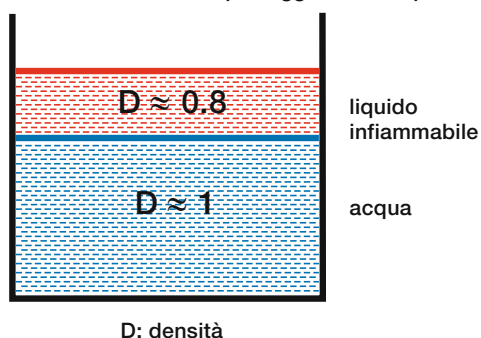


Figura 6: liquido infiammabile difficilmente solubile in acqua



Il personale che manipola o immagazzina sostanze infiammabili deve disporre dei necessari mezzi estinguenti e refrigeranti.

★ **Esperimento: spegnere con acqua un incendio provocato da olio**

Se si tenta di spegnere con acqua un **incendio provocato da olio**, si rischia di peggiorare la situazione. In questo caso sarebbe opportuno coprire il focolaio di incendio.

★ **Esperimento: spegnere un incendio interrompendo l'afflusso della sostanza combustibile**

Si può evitare la formazione di una miscela esplosiva vapori di benzina-aria e quindi un probabile incendio, interrompendo l'afflusso della sostanza combustibile. In caso di liquidi infiammabili questo è possibile arrestando l'impianto di erogazione.

Questo tipo di intervento è utile nelle operazioni di travaso di solventi. Quanto più grande è la portata della pompa, tanto maggiore è la quantità di vapori rilasciata e quindi tanto più estesa è la zona esplosiva che si viene a creare.

★ **Esperimento: spegnere un incendio su una bombola di gas**

Per i gas infiammabili esiste il **pericolo di riaccensione**. Ciò significa che dopo aver spento un incendio provocato da una bombola di gas, se persistono fuoriuscite di gas, questo può riaccendersi grazie ad una fonte di innesco più lontana e le fiamme possono estendersi fino al punto di fuoriuscita. Un incendio su una bombola di gas viene spento soltanto se ciò è necessario per evitare l'estensione dell'incendio e se è possibile sigillare la perdita. Chiudendo la bombola si interrompe l'afflusso di gas e le fiamme si arrestano. Se questo non è possibile, per evitare che l'incendio provochi ulteriori danni è bene portare le bombole all'esterno con molta cautela.

★ **Esperimento: implosione di un recipiente**

Vi illustriamo un esempio pratico. In occasione di alcuni lavori di rinnovamento in una cisterna di 10 000 m³ un'operazione errata ha fatto sì che del residuo oleoso (morchia) prendesse fuoco. I revisori hanno soffocato l'incendio chiudendo le aperture di ingresso (= sottraendo l'aria comburente necessaria). Tuttavia, non si sono accorti che l'aria nella cisterna si era già dilatata per il calore sviluppato dall'incendio. Dopo aver chiuso le aperture ed estinto le fiamme, l'aria, raffreddandosi, ha subito una contrazione. Dato che non poteva più affluire aria dall'esterno, si è venuta a creare una **depressione** che ha provocato la distruzione della cisterna alta 20 m.


Il semplice fatto che per innescare un incendio o un'esplosione debba essere presente una determinata miscela di combustibile e aria può essere sfruttato ai fini della protezione contro le esplosioni.

★ **Esperimento: ridurre il tenore di ossigeno (inertizzare)**

È possibile intervenire su una miscela esplosiva o su un incendio **aggiungendo un gas inerte** come l'azoto o l'anidride carbonica, oppure polveri inerti come il fosfato di ammonio. In questo modo, la percentuale di ossigeno nell'aria si riduce sino ad inertizzare l'ambiente. Se la percentuale volumetrica di ossigeno scende dal 21% all'8% nella miscela combustibile-aria la reazione chimica di combustione di solito non è più possibile.

★ **Esperimento: aumentare il tenore di ossigeno (combustione in atmosfera arricchita con ossigeno puro)**

Se si aumenta il tenore di ossigeno con **l'aggiunta di ossigeno puro**, aumenta anche la velocità di combustione. Se l'ossigeno è presente con una percentuale volumetrica del 24%, la velocità di combustione raddoppia; se la percentuale è del 40% la combustione è circa 10 volte più rapida. I materiali ardenti si infiammano con una percentuale volumetrica di ossigeno nell'aria pari al 28%; i materiali tessili, gli oli e i grassi bruciano vivacemente con una concentrazione di ossigeno che varia dal 25 al 30%. In atmosfera di ossigeno puro, l'acciaio incandescente brucia come il legno. Se l'atmosfera è arricchita con ossigeno puro, basta una scintilla per appiccare il fuoco agli indumenti.



È vietato «migliorare l'aria» arricchendola di ossigeno.

★ **Esperimento: accendere una miccia nell'acqua**

Gli **esplosivi** e tutte le sostanze **a rischio di esplosione** come gli esplosivi per uso civile (tra cui il TNT o la nitroglicerina), le munizioni o i materiali pirotecnici possono reagire mediante un'accensione iniziale (energia di attivazione) anche in assenza di ossigeno nell'aria. Non hanno bisogno di ossigeno nell'aria in quanto l'ossigeno è di per sé legato chimicamente nel prodotto.

Questo avviene, ad esempio, con una miccia immersa nell'acqua. La miccia si accende e brucia anche in completa assenza di ossigeno atmosferico.

4 Atmosfera esplosiva di gas e vapori

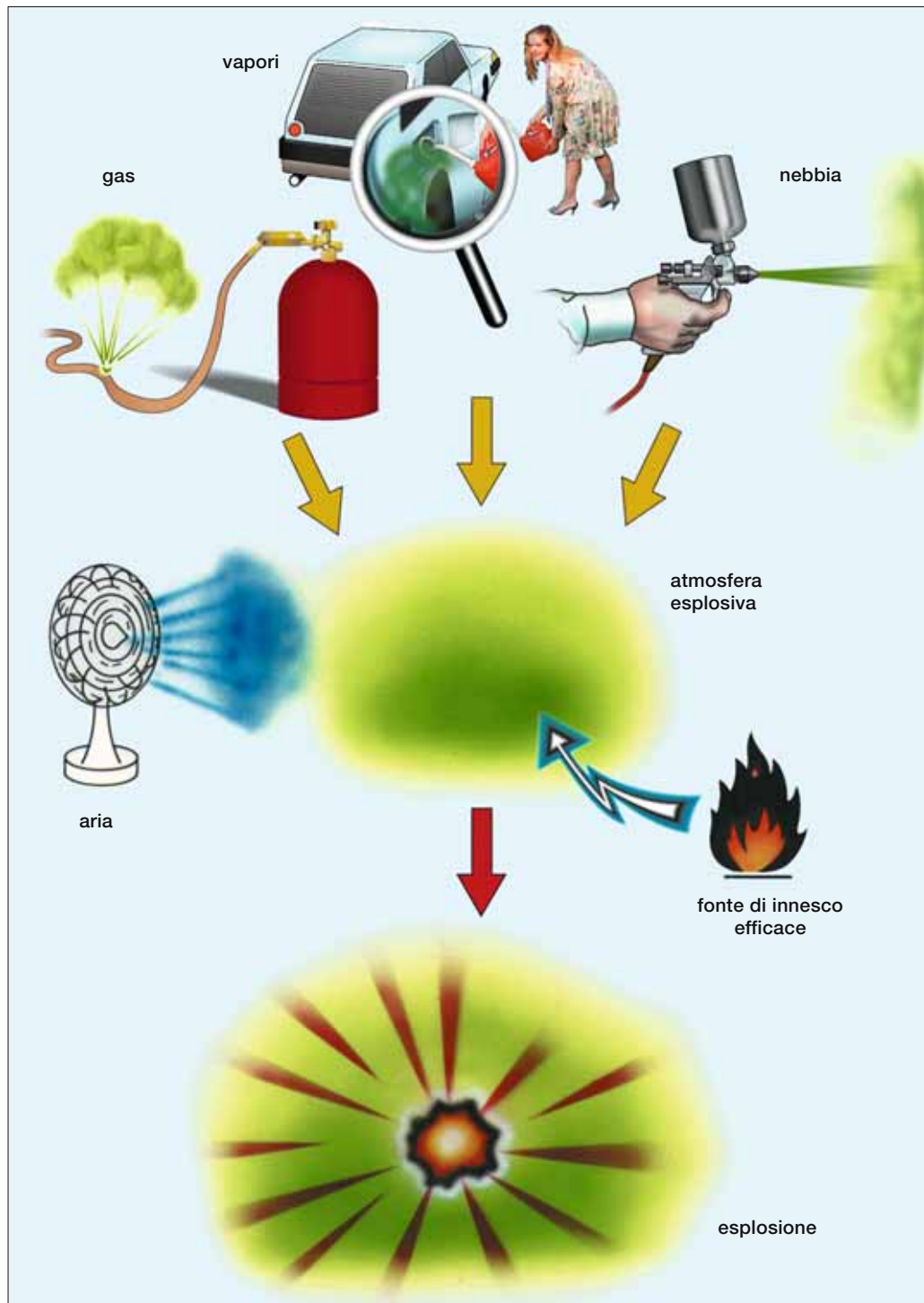


Figura 7: condizioni per il verificarsi di un'esplosione [1]



L'eliminazione sicura di una di queste condizioni può impedire l'esplosione.

4.1 Atmosfera esplosiva nelle condutture

Per atmosfera esplosiva si intende una miscela di aria con sostanze infiammabili allo stato di gas, vapori, nebbie o polveri in cui, dopo l'ignizione, la combustione si propaga all'insieme della miscela incombusta.

★ Esperimento: accensione di un'atmosfera esplosiva in una condotta aperta da entrambi i lati

Se si accende un'atmosfera esplosiva di gas-aria in una condotta (ad es. canale di ventilazione, tubo di mandata per trasporto pneumatico, corridoio, galleria, fognature), il **fronte di fiamma avanza a bassa velocità** nel tratto interessato, fintantoché non incontra grossi ostacoli (tratto breve, aperture alle estremità).

★ Esperimento: condotta chiusa a un'estremità

Per effetto del calore sprigionato dalla combustione i prodotti di reazione occupano uno spazio molto più grande di quello dei prodotti di base. Nella tubatura chiusa a un'estremità, dopo l'accensione della miscela esplosiva, i prodotti della combustione non possono più essere evacuati liberamente; pertanto, nella tubatura si verifica un **aumento di pressione** con conseguente incremento della **velocità di reazione**.

Se la condotta fosse chiusa da entrambe le estremità, sarebbe inevitabile un'esplosione con conseguente proiezione di frammenti, in quanto la tubatura non potrebbe resistere alla sovrappressione generata dall'esplosione.

Inoltre, se l'accensione si verifica dalla parte del lato chiuso i gas di combustione spingono in avanti grandi quantità di miscela incombusta, la quale può essere accesa dal fronte di fiamma all'esterno del tubo sotto forma di jet fire (getto incendiato di gas rilasciati in pressione) o di fireball (figura 8).



Figura 8: esplosione secondaria all'esterno del recipiente [5]

★ Esperimento: condotta cieca

Se si accende un'atmosfera esplosiva in una condotta chiusa all'estremità opposta, si verifica dapprima una combustione, ma le fiamme si spengono in breve tempo. Infatti, in un condotto cieco l'anidride carbonica prodotta dalla combustione si miscela con l'atmosfera esplosiva davanti al fronte delle fiamme (autoinertizzazione). Il fuoco **si estingue** per mancanza di ossigeno.

I tubi staccati (ad es. durante i lavori di manutenzione) devono essere sempre sigillati alle estremità.

★ **Esperimento: condotta con restringimento della sezione**

Se si accende un'atmosfera esplosiva di gas e aria in un tubo che presenta una qualsiasi **resistenza** al flusso a causa della sua lunghezza o di eventuali restringimenti, si osserva un cambiamento a dir poco drammatico. I prodotti della combustione non possono essere evacuati liberamente e quindi spingono la miscela incombusta (così come il fronte di fiamma) in avanti. Questo provoca un aumento della velocità di efflusso; all'aumentare della velocità il regime passa da laminare a turbolento. Questo fa **aumentare la velocità di combustione** in modo esponenziale finché non viene raggiunta la cosiddetta velocità di detonazione.

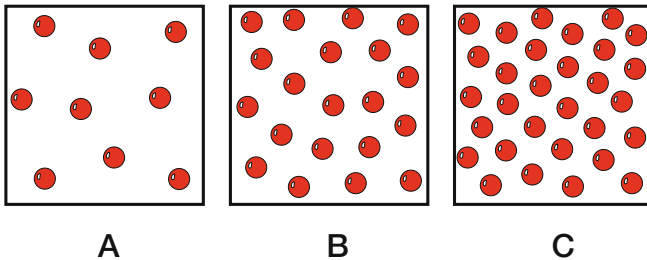


Figura 9: diverse concentrazioni di vapori di benzina e aria.

- A: bassa concentrazione di vapori = nessuna esplosione
- B: atmosfera esplosiva = esplosione
- C: elevata concentrazione di vapori = nessuna esplosione

4.2 Sistemi aperti e chiusi

★ **Esperimento: prove di accensione in fusti aperti**

A temperatura ambiente è possibile accendere i vapori di benzina o di alcool in un sistema aperto. L'accensione dà origine ad un **incendio**. Pur trattandosi di sostanze combustibili, l'essenza di trementina o il gasolio, invece, non possono essere accesi (cfr. paragrafo 4.4).

★ **Esperimento: prove di accensione in fusti chiusi**

In condizioni normali l'accensione di alcool in un sistema chiuso provoca un'**esplosione**.

Se la prova viene effettuata con molta benzina, nonostante la presenza di una fonte di innesco efficace, non si verifica alcuna esplosione.

Questo fenomeno è dovuto al fatto che in un recipiente chiuso e a temperatura ambiente, la concentrazione di vapori di benzina nell'aria (miscela esplosiva) è troppo elevata per effetto della pressione di vapore e questo fa in modo che non si possa accendere la miscela esplosiva (figura 9 C).

Questo dimostra il fatto che una miscela vapori-aria è potenzialmente esplosiva solo in determinate proporzioni: si parla del cosiddetto intervallo di esplosività (o campo di infiammabilità).

4.3 Limiti di esplosione

★ **Esperimento: gradiente di concentrazione dei vapori di un liquido in un recipiente**

Una sostanza liquida sul fondo di un recipiente evapora molto lentamente. Con il passare del tempo aumenta la concen-

trazione di vapori, per cui nella parte bassa del contenitore all'inizio è elevata, mentre nella parte alta è bassa. Tuttavia, tanto maggiore è la **pressione di vapore**, tanto più rapida sarà una distribuzione omogenea nel sistema chiuso.

★ **Esperimento: determinazione dell'intervallo di esplosività**

In un recipiente aperto la concentrazione di vapori è molto elevata appena al di sopra del pelo libero del liquido. Nel caso della benzina, la concentrazione è talmente elevata che non può avvenire alcuna esplosione in caso di innesco. Il motivo è che la miscela è «**tropo ricca**». Al contrario, nella parte alta del recipiente sono presenti pochissime molecole di benzina (ossia la concentrazione di vapori è bassa), e anche in questo caso la reazione non avviene. In questo caso si dice che la miscela è «**tropo povera**» (figura 10). Tra queste due condizioni esiste un campo di concentrazione che permette alla miscela vapori-aria di incendiarsi. Questo intervallo è contraddistinto da due valori limite, ossia da un limite inferiore e da un **limite superiore di esplosione (o infiammabilità)** e viene definito «intervallo di esplosività» (o campo di infiammabilità).

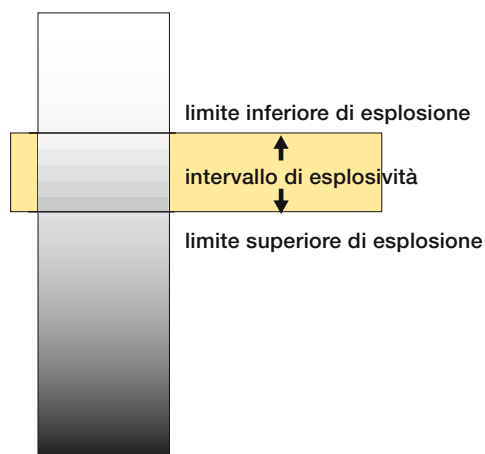


Figura 10: intervallo di esplosività

★ **Esperimento: limite superiore di esplosione in un sistema chiuso**

Supponiamo che venga attivato un innesco di tipo elettrico in un pallone riempito di metano (= **sistema chiuso o confinato**). Non avviene alcuna accensione. Aggiungendo una quantità d'aria pari a quella del metano, non accade nulla, in quanto la concentrazione gas-aria è al di sopra del limite superiore di esplosione. Soltanto aggiungendo altra aria si verifica l'**esplosione**, in quanto la concentrazione rientra nell'intervallo di esplosività. Per esemplificare questo esperimento ci serviremo del cilindro di un motore a benzina (figura 11).



miscela troppo povera miscela esplosiva miscela troppo ricca (sistema chiuso) miscela troppo ricca (sistema aperto)

Figura 11: limiti di esplosività [1]

I limiti di esplosione dei liquidi e dei gas infiammabili più comuni si aggirano più o meno su valori simili:

- limite inferiore:
in generale pari a 1 vol.-% in aria = ca. 50 g/m³
- limite superiore:
molto variabile; nella pratica non è rilevante.

Esperimento: limite superiore di esplosione in un sistema aperto

Nella parte inferiore di un **recipiente aperto** è presente gas metano, nella parte centrale una miscela di gas-aria e nella parte inferiore soltanto aria. Nella parte superiore del recipiente viene accesa una miccia. La miccia brucia in presenza del metano, ma non lo accende. Infatti, la miscela è troppo ricca. Soltanto avvicinandosi allo strato di aria, ossia raggiungendo il limite superiore di esplosione, ha luogo una reazione, in questo caso un **incendio**, in quanto il sistema non è confinato (figura 11).

★ Esperimento: aumento del volume in caso di evaporazione

Se una determinata quantità di liquido infiammabile oppure di un gas liquefatto in pressione, evapora, i vapori rilasciati dalla sostanza (ossia la fase gassosa che ne risulta) occupano un volume che è 300 volte più grande del volume iniziale, ossia di quando la sostanza si trovava allo stato liquido (figura 12).



Figura 12: aumento di volume in seguito all'evaporazione del propano [4]

★ Esperimento: l'importanza del confinamento

Più un sistema chiuso è ben confinato, più devastanti saranno gli effetti dell'esplosione (figura 13), a meno che i recipienti o le apparecchiature non siano così resistenti da sopportare il picco di sovrappressione generata dall'esplosione («pressione massima d'esplosione»).

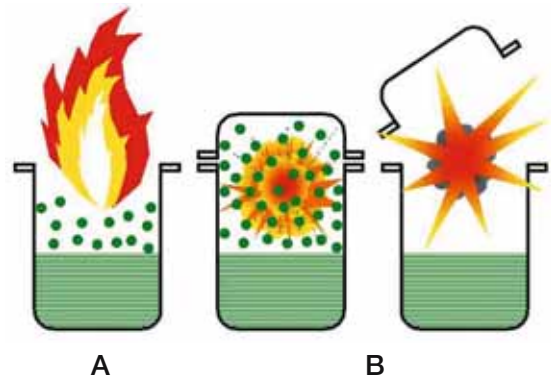


Figura 13: l'importanza del confinamento

A: sistema aperto, incendio
B: sistema chiuso, esplosione

Sulla curva della pressione di vapore ad ogni temperatura corrisponde una determinata pressione alla quale il liquido e il vapore si trovano in equilibrio. A questa pressione corrisponde una determinata concentrazione dei vapori, denominata «concentrazione di saturazione». (figura 14).

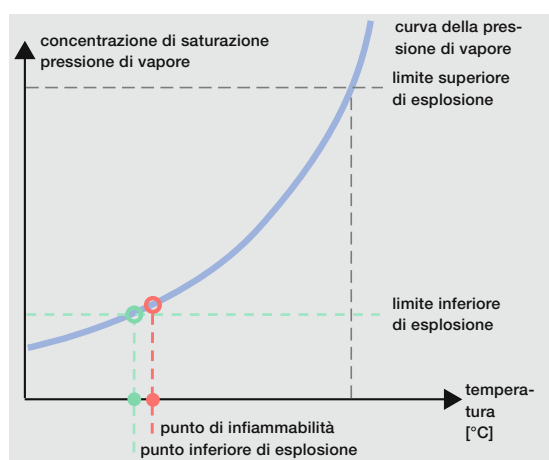


Figura 14: limiti di esplosività e punto di infiammabilità

Le temperature che sulla curva della pressione di vapore corrispondono ai limiti superiore e inferiore di esplosione vengono definite come punto di esplosione inferiore e superiore. Il punto di esplosione inferiore e il **punto di infiammabilità** caratterizzano entrambi il limite inferiore di esplosività.

Il punto inferiore di esplosione di un liquido infiammabile non coincide esattamente con il rispettivo punto di infiammabilità, poiché questi due valori vengono determinati con metodi di misurazione diversi.

Figura 15: concentrazione di vapori [g/m³] di alcuni liquidi infiammabili comuni con saturazione nell'aria e temperatura di 20°C.

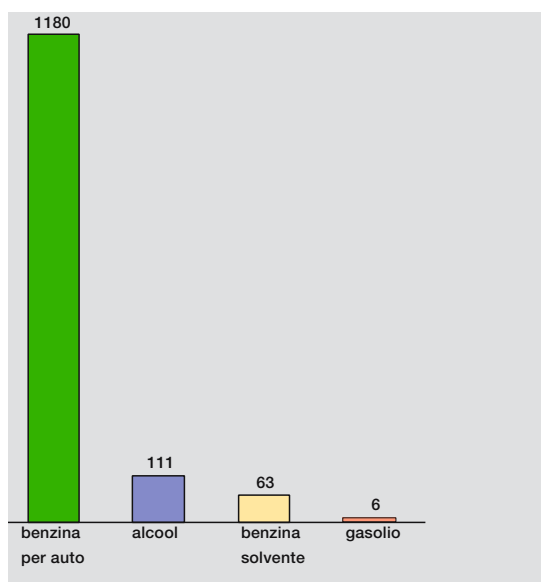
4.4 Punto di infiammabilità

★ Esperimento: riscaldare un liquido infiammabile

Supponiamo di riscaldare un liquido infiammabile, ad es. il gasolio. A una determinata temperatura e in presenza di una fonte di innesco efficace i vapori al di sopra del liquido infiammabile prendono fuoco. Questa temperatura viene definita «punto di infiammabilità» e nei piani di protezione contro le esplosioni rappresenta **un dato importante ai fini della sicurezza**. Al di sotto del punto di infiammabilità non avviene alcuna ignizione (scarsa concentrazione di vapori, quindi miscela troppo povera, cfr. figura 17).

E' detto punto di infiammabilità la temperatura più bassa alla quale un liquido infiammabile emette vapori in quantità tale che, miscelati con l'aria, possono incendiarsi in presenza di una fonte di innesco.

Non è il liquido ad accendersi, ma i suoi vapori. Nel caso del gasolio, probabilmente l'accensione non è avvenuta in quanto non era presente una quantità sufficiente di vapori, come descritto nell'esperimento «prove di accensione in recipienti aperti», (figura 15).



Conoscere il punto di infiammabilità di un liquido infiammabile è molto utile dal punto di vista della sicurezza, in quanto permette di valutare il rischio di incendio e di esplosione associato a tale liquido.



In Svizzera, un liquido con un punto di infiammabilità inferiore a 30°C è classificato come facilmente infiammabile (vedere figura 16).

A temperatura ambiente (intesa come tale in base alle nostre condizioni climatiche) un liquido facilmente infiammabile può liberare una quantità di vapori tale da incendiarsi in presenza di un innesco adeguato.

Il punto di infiammabilità dei liquidi puri, i dati relativi ai limiti di esplosione o alla densità relativa di una sostanza sono riportati nella pubblicazione «Sicherheitstechnische Kenngrößen von Flüssigkeiten und Gasen» (codice Suva 1469, disponibile in tedesco e francese).



Negli ambienti in cui vengono manipolati o stoccati liquidi facilmente infiammabili è necessario adottare sempre misure di protezione contro il pericolo di esplosioni.

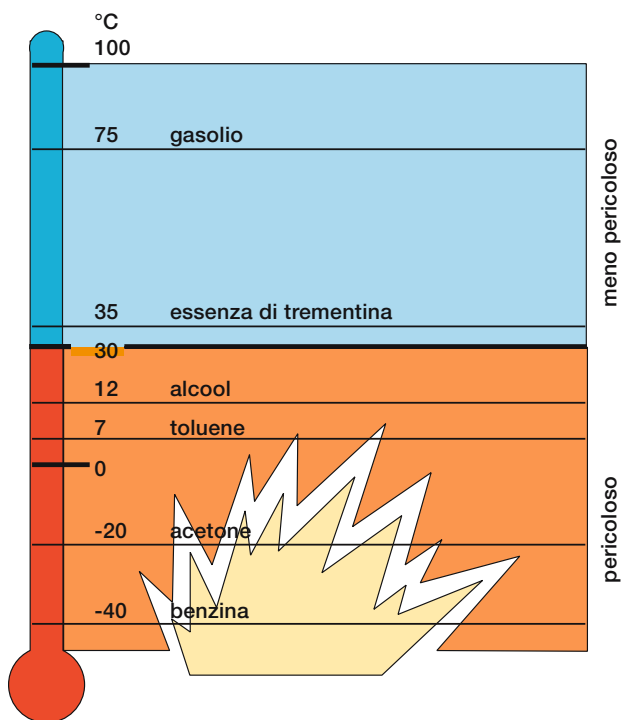


Figura 16: punto di infiammabilità di vari liquidi [6]

5 Liquidi infiammabili ad alto punto di infiammabilità

Il limite di 30 °C non basta di per sé a valutare la pericolosità dei liquidi infiammabili. Anche se i liquidi presentano un **punto di infiammabilità superiore a 30 °C, a seconda delle situazioni, è necessario adottare misure di protezione adeguate per scongiurare il pericolo di un'esplosione**. Per poter valutare il pericolo di incendio e di esplosione è opportuno prendere in considerazione i seguenti aspetti.

5.1 Liquido riscaldato oltre il punto di infiammabilità

È indispensabile prevedere se un liquido infiammabile può essere riscaldato oltre il suo punto di infiammabilità (figura 17).

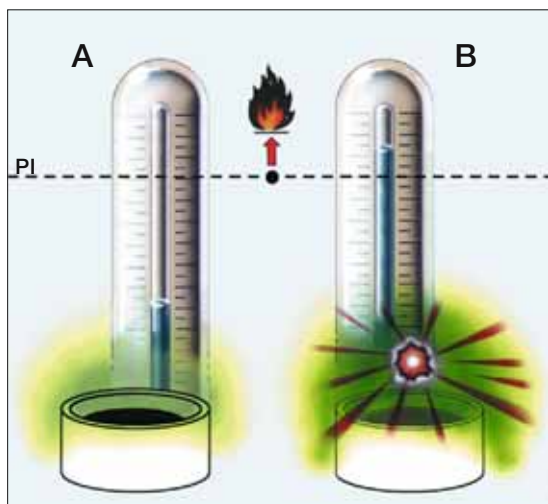


Figura 17: significato del punto di infiammabilità [1]

A: punto di infiammabilità oltre la temperatura di esercizio, scarsa quantità di vapori, nessun pericolo di esplosione.

B: punto di infiammabilità al di sotto della temperatura di esercizio, vapori in quantità sufficiente, pericolo di esplosione.



Se riscaldati oltre il loro punto di infiammabilità, i liquidi infiammabili emettono vapori in quantità sufficiente (figura 17) a formare una miscela che può essere accesa. In questo caso esiste un reale pericolo di incendio ed esplosione.

Nel classico bruciatore a coppa il gasolio viene preriscaldato finché non emette vapori in quantità sufficiente per accendersi.

5.2 Aumento della superficie e l'«effetto stoppino»

I liquidi infiammabili, ad es. gli oli, che in condizioni normali non costituiscono un pericolo di esplosione possono su alcuni **materiali** estendere la loro superficie in modo tale da emettere una quantità sufficiente di vapori che possono essere facilmente accesi (figura 18). I materiali possono essere anche ininfiammabili.

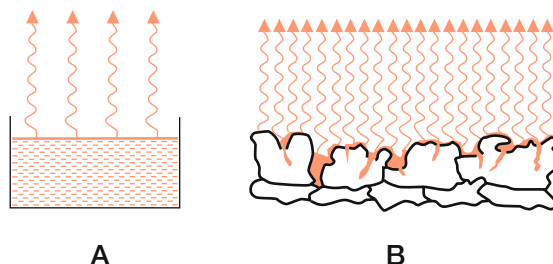


Figura 18: effetto stoppino

A: olio in recipiente aperto: scarsa quantità di vapori

B: olio su un materiale di supporto: vapori in quantità sufficiente, pericolo di incendio ed esplosione

★ **Esperimento:**

leganti come materiale di supporto

Se i liquidi infiammabili con un punto di infiammabilità superiore a 30 °C vengono assorbiti, ad es. per avviare a una fuoriuscita o spargimento, con **leganti per olio difficilmente infiammabili** o anche non infiammabili, essi possono accendersi in presenza di una fonte di innesco efficace, provocando un incendio di vaste proporzioni.

★ **Esperimento: indumenti come materiale di supporto**

Se **oli o grassi infiammabili** entrano a contatto con **tessuti** (ad es. di cotone), si può verificare un aumento della loro superficie e quindi il cosiddetto **effetto stoppino**, con tutti i rischi che esso comporta.

Nell'esperienza pratica, se gli stracci impregnati di olio o gli indumenti sporchi di grasso entrano in contatto con una fonte di innesco efficace, le conseguenze possono essere molto gravi. I lavoratori che indossano indumenti sporchi di grasso o olio (anche se il grasso sembra essersi seccato) possono prendere fuoco e bruciare come una torcia.



Abiti da lavoro idonei sono ad es. di cotone. Gli abiti da lavoro impregnati di grasso o olio devono essere cambiati il più presto possibile.

★ **Esperimento: coibentazione di condutture**

Supponiamo che un fluido termovettore sia versato su un **materiale isolante termico e ignifugo** che riveste dei tubi caldi. Esso può dare luogo all'effetto stoppino. In una situazione del genere, vengono prodotti vapori a sufficienza per essere incendiati.

5.3 Liquidi infiammabili nebulizzati

Se spruzzato finemente, un liquido infiammabile può essere trasformato in nebbia. **In virtù delle dimensioni molto piccole delle particelle** può formarsi un'atmosfera esplosiva in presenza di un innesco di opportuna energia, e ciò anche se il liquido viene spruzzato ad una temperatura inferiore al punto di infiammabilità (figura 19). Questo significa che in queste condizioni anche i liquidi con un alto punto di infiammabilità possono essere accesi in presenza di una fonte di innesco.

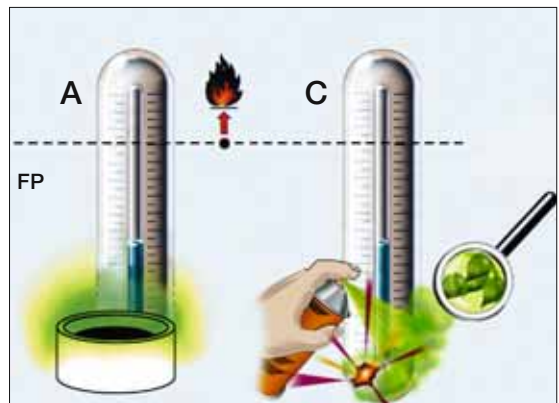


Figura 19: significato del punto di infiammabilità in caso di nebulizzazione[1]

A: punto di infiammabilità oltre la temperatura di lavoro, scarsa quantità di vapori, nessun pericolo di esplosione

C: punto di infiammabilità oltre la temperatura di lavoro, ma nebulizzazione: aerosol (nebbia), pericolo di esplosione

★ **Esperimento: nebbia di olio in seguito a spruzzatura**

Il principio della nebulizzazione sta alla base dei moderni bruciatori di gasolio, nei quali il gasolio (combustibile con alto punto di infiammabilità) viene nebulizzato mediante un ugello nella camera di combustione, dove viene acceso da una scintilla.



Attenzione: i liquidi infiammabili sotto forma di nebbia possono provocare un incendio o un'esplosione anche al di sotto del loro punto di infiammabilità.

6 Polveri infiammabili

★ Esperimento:

esplosioni di polveri in un silo

Le polveri infiammabili in sospensione nell'aria (ad es. polveri di legno, carbone, cereali, materie plastiche, ma anche polveri metalliche di bassa granulometria) possono formare con l'aria una miscela esplosiva e quindi provocare un'esplosione, se sono in

presenza di un forte innesco (figura 20). In questo modo hanno origine le temute esplosioni di polveri. Uno dei fattori che maggiormente incide sull'esplosività delle polveri è il loro grado di finezza (granulometria), ossia più le polveri sospese in aria sono fini, maggiore è la loro pericolosità.

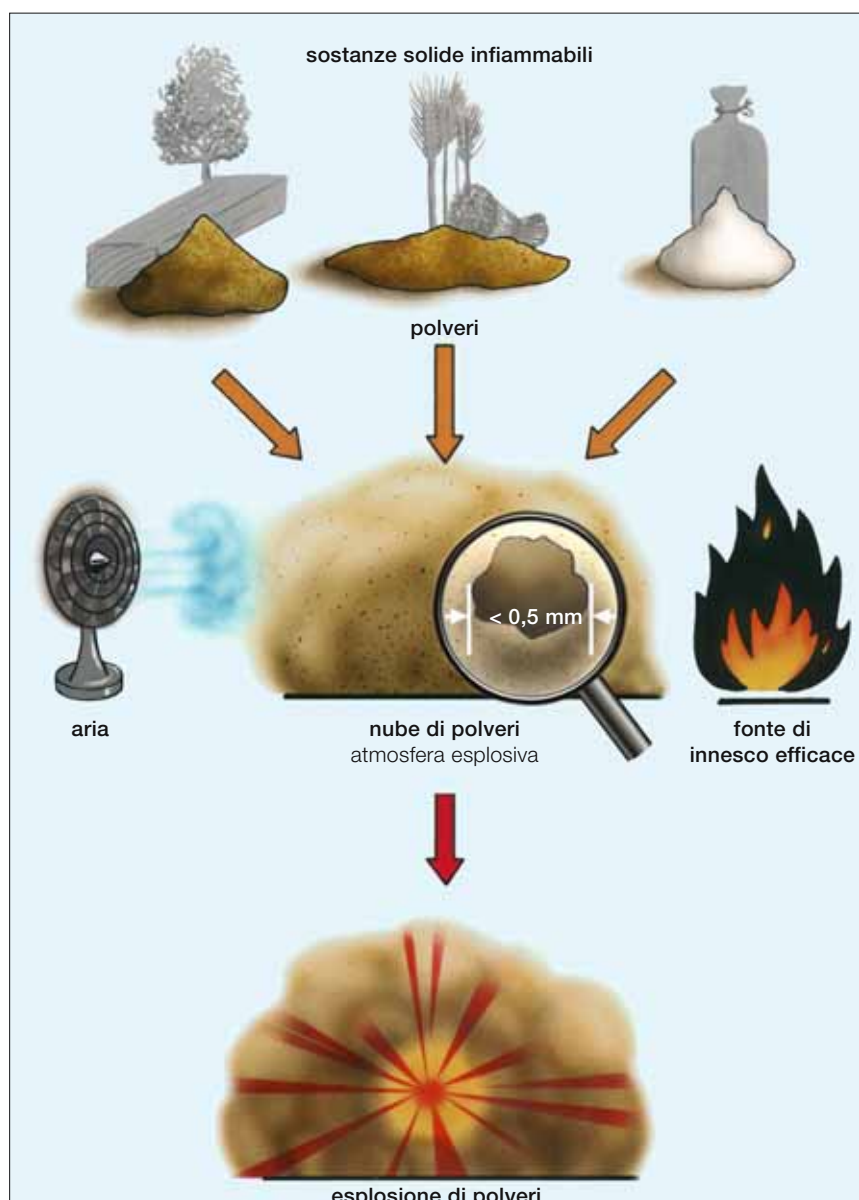


Figura 20: fattori che determinano l'esplosione di polveri [3]



Se in azienda sono presenti polveri infiammabili, esiste un pericolo di esplosione.

✧ **Esperimento: granulometria delle sostanze solide infiammabili**

La lana di acciaio può incendiarsi. L'esplosività di una sostanza ossidabile dipende essenzialmente dalla sua forma, o per essere più precisi, dalla sua **granulometria**. Molte sostanze apparentemente non infiammabili o difficilmente infiammabili possono provocare un incendio o un'esplosione in virtù della loro ripartizione granulometrica.

✧ **Esperimento: accensione e combustione di polveri**

Se proviamo ad accendere delle polveri depositate, determinate sostanze solide reagiscono con un piccolo incendio localizzato oppure ardono senza fiamma, altre si decompongono sprigionando un bagliore luminescente o un rapido fuoco.



✧ **Esperimento: sospensione nell'aria di polveri depositate**

L'accensione di polveri stratificate dà luogo ad un incendio. Le polveri disperse nell'aria sotto forma di una nube possono essere accese e causare un'esplosione (figura 21).

✧ **Esperimento: incendio provocato da gas di distillazione secca**

Le polveri infiammabili riscaldate possono rilasciare vapori o gas di distillazione secca che, miscelati con l'aria, possono essere accesi.



Figura 21: differenza tra un incendio e un'esplosione di polveri infiammabili [3]



Gli accumuli di polveri infiammabili non devono essere eliminati con getti di aria compressa, bensì aspirati con un apposito aspirapolvere antideflagrante.

Questi pericoli possono manifestarsi combinati o influenzarsi reciprocamente.

Le esplosioni di polveri avvengono raramente. Tuttavia, quando si producono, le loro conseguenze sono molto spesso devastanti.

7 Un riassunto sulle sostanze infiammabili pericolose



Bisogna adottare misure di protezione contro le esplosioni in presenza di:

- **gas infiammabili**
- **liquidi infiammabili con punto di infiammabilità inferiore a 30° C**
- **liquidi infiammabili con punto di infiammabilità superiore a 30° C, se riscaldati oltre il loro punto di infiammabilità**
- **liquidi infiammabili nebulizzati**
- **polveri infiammabili con granulometria inferiore a 0,5 mm**


I dati concernenti i parametri caratteristici più importanti sono riportati nella pubblicazione Suva «Sicherheitstechnische Kenngrößen von Flüssigkeiten und Gasen» (codice 1469, disponibile in tedesco e francese) e nelle corrispondenti schede di sicurezza. Questi dati vi consentiranno di valutare al meglio il pericolo di incendio ed esplosione nell'esercizio normale.

Anche nell'esercizio particolare bisogna tener conto dei pericoli e quindi adottare le dovute misure di protezione.

8 Sostanze infiammabili a contatto con altre sostanze

8.1 Sostanze incompatibili

I liquidi infiammabili, facilmente infiammabili, ma anche le soluzioni acquose, se vengono a contatto con determinate sostanze, possono dare luogo a reazioni chimiche pericolose (figura 22); in questo caso si parla di **sostanze incompatibili**.



Uno stoccaggio corretto deve peraltro escludere qualsiasi contatto tra i liquidi infiammabili e sostanze come i perossidi, l'acido cromico, l'acido nitrico o gli alogeni.



Figura 22: sostanze incompatibili

★ Esperimento: reazione di un liquido facilmente infiammabile a contatto con un ossidante

Prendiamo il caso di un liquido facilmente infiammabile, ad es. l'isopropanolo, e mettiamolo a contatto con un ossidante come l'acido cromico: quasi immediatamente si sviluppa un incendio.

★ Esperimento: fuochi di metalli

A contatto con l'acqua alcuni metalli alcalini, ad es. il sodio e il potassio, liberano idrogeno, dando luogo ad un'autocombustione anche in assenza di una fonte di innesco esterna.

8.2 Miscele di liquidi facilmente infiammabili

Ogni anno, miscele di liquidi infiammabili con liquidi facilmente infiammabili sono causa di gravi infortuni. Se il gasolio (con punto di infiammabilità di 75°C ca.) è contaminato con benzina, il punto di infiammabilità si abbassa al di sotto della temperatura ambiente con una percentuale volumetrica di benzina di appena il 3% (figura 23). Questo fenomeno si riscontra ad esempio in **cisterne, serbatoi di olio usato e impianti di sgrassaggio metalli**. Di solito, la causa principale di questi incidenti è la negligenza.

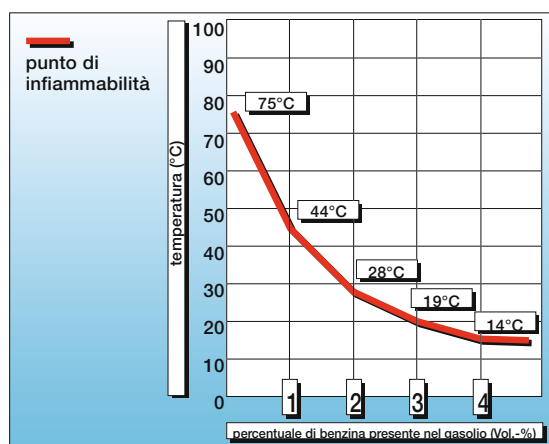


Figura 23: relazione tra il punto di infiammabilità e la percentuale di benzina presente nel gasolio [6]

✳ Esperimento: miscela di gasolio e benzina

Vi illustriamo un esempio reale. L'autista di un'autocisterna deve trasportare prima benzina e poi gasolio. Tra i due trasporti svuota in modo incompleto la cisterna e le tubature del veicolo. Quando l'autista fornisce il gasolio al secondo cliente, il **gasolio si mescola con i residui di benzina**. A questo punto, nella cisterna del cliente si forma un'atmosfera esplosiva al di sopra del pelo libero del liquido.

Alcune settimane più tardi, quando un revisore si reca ad eseguire dei lavori di adattamento nella cisterna di gasolio, avviene una forte esplosione. Il revisore, infatti, non avendo previsto la presenza di vapori di benzina, non prende particolari precauzioni e le scintille generate dai lavori innescano un'esplosione che provoca lo scoppio della cisterna lungo la linea di rottura. Le fiamme avvolgono l'uomo ustionandolo gravemente. Dopo 10 giorni l'uomo muore per un blocco renale.

Gli incidenti provocati dalla miscelazione di liquidi infiammabili con altri facilmente infiammabili purtroppo non tendono a diminuire; una maggiore consapevolezza dei rischi ambientali contribuisce a questo fenomeno in quanto induce a smaltire i **residui di solventi versandoli in fusti o cisterne per olio esausto**.

9 Esplosione di recipienti

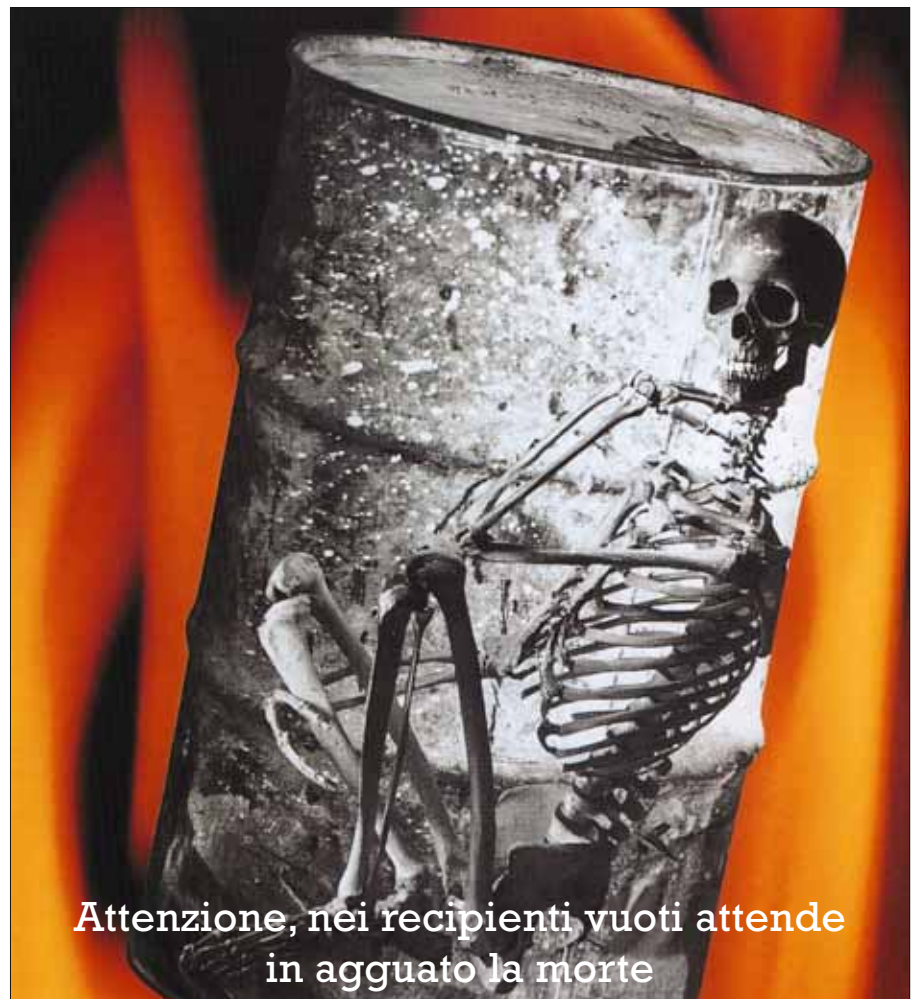


Figura 24: pericolo di esplosione nei recipienti [7]

Recipienti come serbatoi, fusti, bidoni, utilizzati per conservare liquidi facilmente infiammabili come benzina, nitrodiluyente, acetone, alcool o toluolo, devono essere considerati recipienti molto pericolosi.

★ **Esperimento: esplosione in un recipiente apparentemente vuoto**

I recipienti che contengono liquidi facilmente infiammabili vengono solitamente svuotati in modo da non lasciare alcuna traccia di liquido al loro interno. Tuttavia, possono permanere nel recipiente **vapori in quantità sufficiente** ad innescare un'esplosione in presenza di una fonte d'innescio efficace (figura 24).



Bastano due cucchiaini da cucina o un bicchierino di un liquido facilmente infiammabile per formare un'atmosfera esplosiva in un fusto di 200 l.

I lavori di saldatura eseguiti sui recipienti, il tentativo di scoperciarli mediante ossitaglio o troncatura oppure l'introduzione di una fiamma libera all'interno del recipiente per illuminarlo, tutte queste situazioni possono dar luogo ad esplosioni. Molti incidenti gravi avvengono in questo modo evidenziando quanto questi pericoli spesso non siano sufficientemente riconosciuti.

L'esperienza mostra che non è sempre facile applicare misure di protezione adeguate ed è quindi raccomandabile non eseguire affatto questo tipo di lavori o eseguirli solo su recipienti nuovi di fabbrica.

★ **Esperimento: lavori di saldatura eseguiti su recipienti svuotati e «lavati»**

Vi illustriamo un esempio pratico. Un fabbro riceve l'incarico di tagliare nel senso della lunghezza un vecchio fusto di metallo vuoto. Precedentemente il fusto serviva per contenere benzina, ma era stato lasciato per diversi mesi in un deposito. Per prima cosa, il fabbro inserisce nel fusto il tubo dell'acqua, lo riempie lasciando scorrere l'acqua per alcuni minuti fino a farla traboccare. Poi chiude il rubinetto e fa fuoriuscire l'acqua dal bocchettone di riempimento. Quando inizia il lavoro di saldatura il fusto esplose e ferisce il fabbro nonostante egli avesse adottato misure «precauzionali».

Poiché la benzina non è solubile in acqua, è impossibile bonificare il fusto (liberarlo dai vapori di benzina) usando dell'acqua.



UN RECIPIENTE VUOTO NON E' SEMPRE VUOTO – PERICOLO DI ESPLOSIONE!

Mai eseguire lavori di saldatura o di taglio al cannello su fusti usati.

10 Fonti di innesco

Tra le numerose fonti di innesco alcune sono di importanza rilevante negli ambienti di lavoro (figura 25). Una fonte di innesco si definisce efficace solo se è in grado di trasmettere all'atmosfera potenzialmente esplosiva un'energia tale da provocare una propagazione spontanea della combustione.

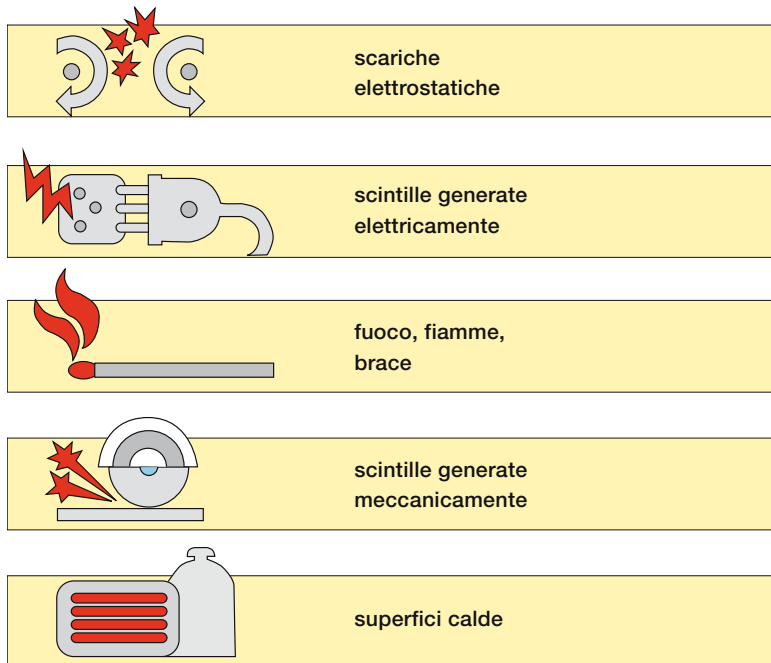


Figura 25: possibili fonti di innesco [6]

10.1 Fiamme libere

Le fiamme libere e le braci – generate soprattutto da bruciatori o da lavori di saldatura e di taglio – possono essere considerate le fonti di accensione più efficaci.

L'«autorizzazione per i lavori di saldatura» è una misura organizzativa da applicare scrupolosamente in ogni azienda allo scopo di prevenire il pericolo di esplosioni.

10.2 Superfici calde

★ Esperimento: accensione causata da una superficie calda

Non è necessario che una superficie sia incandescente; anche le **superfici calde** con temperature di 500° C possono liberare energia sufficiente ad innescare una miscela esplosiva di combustibile-aria (anche nel caso di oli con un elevato punto di infiammabilità).

L'esperienza insegna che spesso i provvedimenti tesi ad evitare fonti di innesco efficaci di per sé non sono sufficientemente affidabili per garantire la sicurezza dei lavoratori; per questo motivo sono spesso necessarie misure di protezione complementari.

La temperatura della superficie non deve mai superare la temperatura di accensione del combustibile.

10.3 Elettricità statica

Anche le scariche di origine elettrostatica possono essere causa di incendi ed esplosioni. L'elettricità statica può risultare da numerosi processi di separazione. Tuttavia, il pericolo di innesco esiste solo se la carica è talmente alta da provocare una scarica. Nella pratica, le scintille di origine elettrostatica sono fonti di innesco soprattutto in due casi:

- **travaso**, trasporto, mescolamento, nebulizzazione di liquidi non polari (ad es. idrocarburi, etere) con una resistenza specifica (o resistività) superiore a 10^8 Ohm m (figura 26).

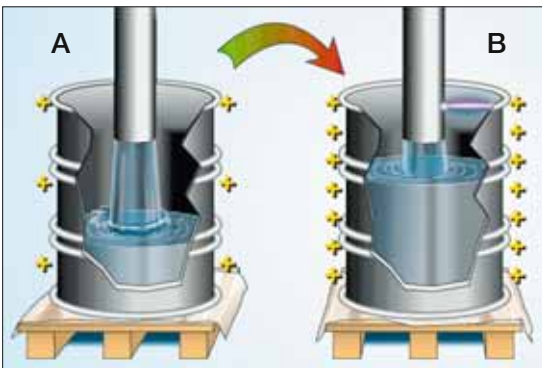


Figura 26: scarica in un fusto metallico [2]

A: processo di separazione e carica
B: scintille di origine elettrostatica

Utilizzare esclusivamente tubature e recipienti che siano elettricamente conduttori e provvisti di messa a terra.

- **strofinio di suole isolanti** su superfici (figura 27), ad es. tappeti o pavimenti rivestiti in materiale sintetico.

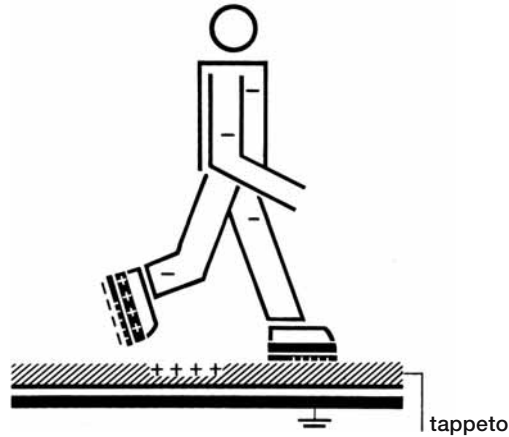


Figura 27: separazione delle cariche dovuta al passaggio su un pavimento [8]

Mettere a terra le persone con scarpe e pavimenti che favoriscono la dispersione delle cariche.

Per saperne di più sul fenomeno dell'elettricità statica potete consultare le seguenti pubblicazioni:


- opuscolo AISS «Elettricità statica. Pericoli d'innesco e misure di protezione» (n. 2017 it).
- ESCIS-Heft Nr. 2 «Statische Elektrizität – Regeln für die betriebliche Sicherheit» (disponibile in tedesco e inglese)
- Interaktives Lernprogramm der ESCIS «Statische Elektrizität» (disponibile in tedesco e inglese)

10.4 Apparecchiature elettriche

A volte gli incendi o le esplosioni sono causati da impianti e apparecchi elettrici. Di solito, l'accensione è provocata da scintille elettriche o da scintille provenienti da motori a collettore.

★ **Esperimento: accensione provocata da una lampada portatile sprovvista di protezione antideflagrante**

Vi illustriamo un esempio pratico. Un gruppo di specialisti deve effettuare dei lavori di adeguamento in una cisterna di gasolio. Devono applicare all'interno della cisterna un rivestimento in poliestere. Per pulire le attrezzature utilizzate per il rivestimento portano con sé nella cisterna un secchio di acetone. Alla parete della cisterna viene applicata una lampada portatile non antideflagrante per mezzo di un magnete. L'acetone, facilmente infiammabile, sprigiona dei vapori che poi si accumulano nella parte bassa della cisterna e non vengono aspirati. Durante i lavori un operaio manutentore strappa il filo della lampada, facendola cadere al suolo. La sua rottura scatena immediatamente un incendio e l'operaio lascia cadere il secchio di acetone nella cisterna. Nonostante le gravi ustioni, riesce a uscire dalla cisterna. Questo incidente mostra chiaramente che è sufficiente **l'energia sprigionata dal filamento di una lampadina** per accendere una miscela esplosiva.




Negli ambienti a rischio esplosione devono essere utilizzate esclusivamente apparecchiature elettriche di tipo antideflagrante.

10.5 Reazioni chimiche

★ **Esperimento: accensione di filaccia impregnata di olio**

Anche le **reazioni chimiche** possono dare luogo a elevate temperature e quindi provocare l'accensione di sostanze infiammabili. Supponiamo che una sostanza infiammabile si riscaldi in seguito ad un processo interno che sviluppa calore (processo esotermico: ad es. la decomposizione chimica, l'ossidazione, la fermentazione batterica). Se il calore sprigionato da questo processo non viene disperso in tempi brevi (condizioni adiabatiche), si può arrivare all'auto-combustione. Questo pericolo aumenta se la sostanza in questione ha un punto di accensione molto basso, se la superficie del materiale è estesa (culmi, trucioli, fili, grani, polveri), se la dispersione del calore verso l'esterno incontra resistenze (scarsa conducibilità termica, materiale compattato, elevata temperatura ambiente), in presenza di ossigeno e umidità (per attività di funghi e batteri).

Nella maggior parte dei casi questi incendi si sviluppano inaspettatamente e solo dopo un periodo abbastanza lungo di stoccaggio. Miscele di sostanze chimiche che reagiscono tra di loro possono però innescare rapidamente un incendio.



Non lasciare in giro la filaccia e gli stracci impregnati di olio o grasso, ma deporli in un recipiente metallico chiuso.

11 Densità relativa

✦ **Esperimento:** **propagazione di gas e vapori**

Quando si utilizzano o si manipolano liquidi facilmente infiammabili o gas combustibili si possono formare miscele di vapori/gas-aria che poi si diffondono nell'ambiente. L'atmosfera esplosiva può estendersi sino a raggiungere una possibile fonte di innesco, anche lontana. Non essendo un sistema confinato, non si verifica alcuna esplosione, ma una **conflagrazione**, ossia un fronte di fuoco ad avanzamento veloce.

✦ **Esperimento:** **svuotare recipienti da gas e vapori**

Il butano gassoso può essere contenuto in un bicchiere. Essendo il gas più pesante dell'aria, può essere travasato in un secondo bicchiere e acceso. Se una miscela esplosiva si accumula a livello del suolo oppure si disperde verso l'alto, questo dipende dalla sua densità relativa.



Figura 28: comportamento di un gas liquefatto [1]

✦ **Esperimento:** **vapori in una canalizzazione**

Numerosi incidenti rivelano che è bene prestare la massima attenzione quando si è in presenza di vapori e gas più pesanti dell'aria, soprattutto se essi possono penetrare in fosse, pozzi, cisterne, fognature, locali interrati o simili (figura 28) o se i lavoratori devono manipolarli in ambienti con caratteristiche simili.

È possibile evacuare i gas e i vapori presenti in ambienti interrati o ristretti solo mediante una ventilazione artificiale.

✦ **Esperimento: concentrazione di vapori di solventi in un vano scala**

Vi illustriamo un esempio pratico. Due tappezzieri sono impegnati ad incollare su una scala un tappeto con una colla contenente solventi. La scala conduce alla cantina e al locale caldaie di una casa. Il vano scala è ventilato soltanto da due finestre aperte in cantina. Al termine dei lavori, si verifica una violenta esplosione. Il tetto della casa viene scoperchiato e i soffitti danneggiati. Si sviluppa un incendio e i due tappezzieri fuggono all'esterno dell'abitazione correndo tra le fiamme. Entrambi riportano gravi ustioni; uno dei due muore il giorno stesso, l'altro alcuni giorni più tardi. A causa della scarsa ventilazione i vapori dei **solventi** sprigionatisi dalla colla si sono **concentrati nella cantina** per poi penetrare nel locale caldaie, dove si sono accesi in presenza della fiamma libera del bruciatore.

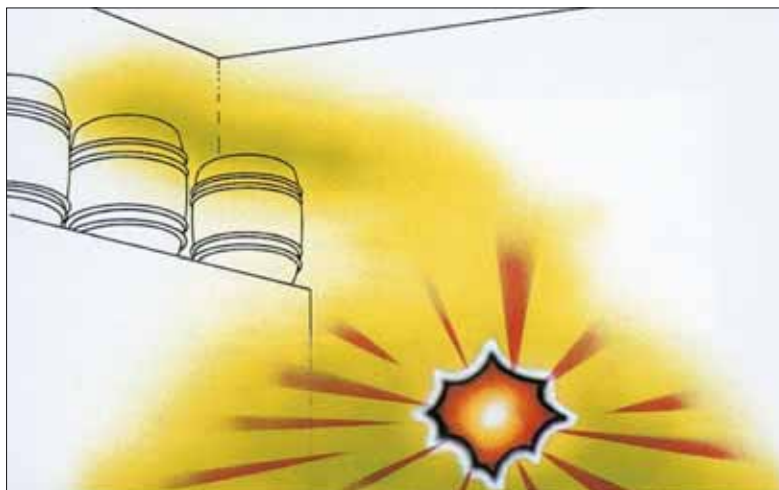


Figura 29: comportamento dei vapori di solventi

✦ **Attenzione: i vapori di tutti i liquidi infiammabili sono più pesanti dell'aria.**

Per saperne di più sui rischi e sulle misure da adottare in queste situazioni potete consultare la pubblicazione Suva «Misure di precauzione nella posa di rivestimenti per pareti e pavimenti» (codice n. 11045).

✦ **Gli ambienti nei quali vengono manipolati liquidi facilmente infiammabili o gas combustibili devono essere ventilati artificialmente.**

✦ **Esperimento: concentrazione di gas metano in un vano scala**

Vi illustriamo un esempio pratico. Nella cantina di un condominio si trova l'allacciamento alla conduttura del gas. A causa di una perdita nella tubazione, il gas metano invade la cantina. Essendo più leggero dell'aria, il metano sale nel vano scala dell'edificio. Non è stato possibile identificare la fonte di accensione, dato che la casa a più piani è crollata seppellendo 5 persone.

✦ **A differenza dei vapori sviluppati da sostanze liquide i gas possono essere più leggeri dell'aria.**

Questo vale per l'acetilene, l'ammoniaca, l'acido cianidrico, l'anidride carbonica, il metano (gas naturale, biogas) l'etilene, il monossido di carbonio e l'idrogeno. Tutti gli altri gas infiammabili (ad es. il propano) e le miscele che formano con l'aria sono più pesanti dell'aria stessa.

12 Misure di protezione contro il pericolo di esplosioni

Dopo aver illustrato con esempi molto semplici i rischi più frequenti di incendio ed esplosione, è bene passare in rassegna le misure di protezione più importanti valide per gli impianti, le attrezzature e le situazioni di lavoro. Faremo una distinzione tra misure di tipo preventivo e misure di tipo costruttivo.

12.1 Misure di tipo preventivo

- **Sostituire** i liquidi facilmente infiammabili, i gas e le polveri combustibili con sostanze che non formano miscele esplosive.
- **Utilizzare sistemi chiusi**, ossia sistemi volti ad impedire che un'atmosfera potenzialmente esplosiva possa svilupparsi all'esterno.
- **Aerare i locali e gli ambienti di lavoro** allo scopo di evitare o per lo meno limitare la concentrazione e la formazione di atmosfere esplosive. L'eventuale fuoriuscita di gas e vapori di liquidi facilmente infiammabili deve essere sufficientemente diluita.

★ **Esperimento:** aspirazione di gas e vapori

Se in presenza di liquidi facilmente infiammabili o di gas più pesanti dell'aria la bocca di aspirazione non è sistemata direttamente nel punto più basso, la ventilazione è del tutto inutile, in quanto si aspirerà soltanto aria e non vapori.

In caso di vapori e gas più pesanti dell'aria le aperture per l'evacuazione (ventilazione naturale) e per l'aspirazione devono essere il più vicino possibile al pavimento. In caso di gas più leggeri dell'aria le stesse vanno posizionate sul soffitto (figura 30).

Per valutare correttamente l'effettiva capacità di ventilazione si deve prendere come base di calcolo solo la metà o un quarto della potenza nominale del ventilatore.

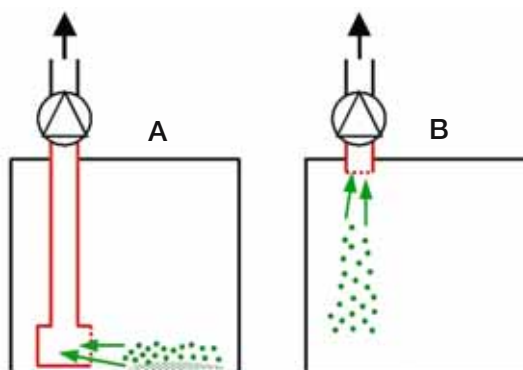


Figura 30: corretta ubicazione delle bocchette di scarico

A: vapori e gas più pesanti dell'aria
B: gas più leggeri dell'aria

★ **Esperimento:** ventilazione e aspirazione nei locali

Se la ventilazione è insufficiente, i vapori derivanti dal travaso di liquidi facilmente infiammabili si propagano al suolo in tutto il locale. Se l'aspirazione avviene direttamente sopra il livello del pavimento sul lato opposto del locale, i vapori vengono sì aspirati, ma permane il rischio nell'intera stanza. È più ragionevole ed economico aspirare i vapori in prossimità del punto in cui è avvenuto il travaso o direttamente sul bordo del recipiente (aspirazione alla fonte), circoscrivendo notevolmente la zona di pericolo.

★ **Esperimento:** caduta di pressione in una condotta

Se il tubo flessibile collegato ad un ventilatore è molto lungo e/o presenta numerose curve, la sua efficienza sarà compromessa a causa di una caduta di pressione.

- **inertizzare** le apparecchiature e gli impianti.

✦ Esperimento: inertizzazione

Nonostante la presenza di un innesco di opportuna energia in un silo contenente una nube di polveri infiammabili non si verifica alcuna esplosione. Questo è dovuto al fatto che il tenore di ossigeno è stato ridotto con l'immissione di azoto fino a trovarsi fuori dal campo di esplosività (al di sotto della concentrazione massima di ossigeno, figura 31).



Figura 31: inertizzazione con l'aggiunta di azoto e monitoraggio della concentrazione di ossigeno [3]

- **evitare fonti di innesco efficaci.** Questa misura deve essere sempre applicata, eccetto in quei casi in cui si è certi di evitare l'atmosfera esplosiva. Tuttavia, nella pratica questa misura non è di per sé sufficiente a scongiurare ogni pericolo.



Evitare fonti di innesco efficaci di per sé non basta come misura di protezione, ma è necessario effettuare anche un'adeguata analisi dei rischi.

12.2 Misure di tipo costruttivo

- Soffocamento dell'esplosione con un impianto di spegnimento per la rilevazione e il soffocamento di esplosioni.

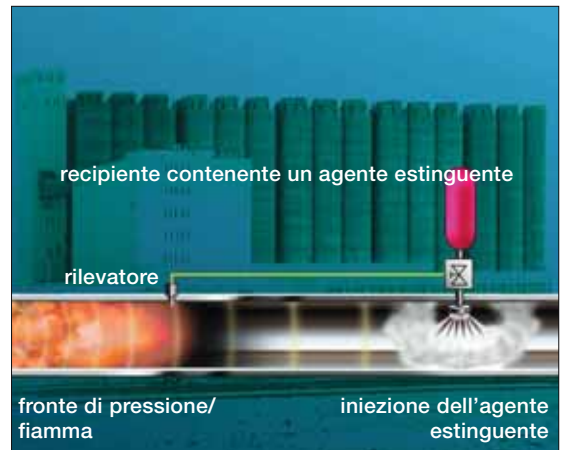


Figura 32: impianto di spegnimento automatico [5]

✦ Esperimento: soffocamento dell'esplosione/ impianto di spegnimento automatico

L'impianto di soffocamento dell'esplosione rileva tempestivamente l'esplosione alla sua origine mediante una serie di rilevatori di fiamme o pressione. L'impianto soffoca l'esplosione che si sta sviluppando immettendo nell'aria agenti estinguenti (figure 32 e 34 C).

- **Disaccoppiamento di apparecchi in caso di esplosione** allo scopo di evitare ulteriori esplosioni in parti non protette dell'impianto.

★ **Esperimento: dispositivo di arresto di fiamma**

Se avviene l'accensione di una miscela gas-aria in una tubazione dotata di un dispositivo che impedisce la propagazione delle fiamme, ad es. con un arresto di fiamma (figura 33) o con una retina tipo «filtro di Davy», le fiamme nella tubazione vengono raffreddate fino alla loro completa estinzione.



Figura 33: dispositivo di arresto di fiamma contro le esplosioni [1].

- **sistemi di costruzione resistenti alle esplosioni** per recipienti e impianti, comprese le relative tubazioni, in grado di sopportare la pressione generata dall'esplosione senza spaccarsi.

★ **Esperimento: sistemi di costruzione resistenti alle esplosioni**

Se in un recipiente chiuso la pressione iniziale coincide con la pressione atmosferica, il picco di sovrappressione da esplosione sarà inferiore a 10 bar dopo l'accensione di una miscela di vapori di alcool e aria.

Un recipiente di acciaio può essere costruito per sopportare tale pressione (figura 34 A).

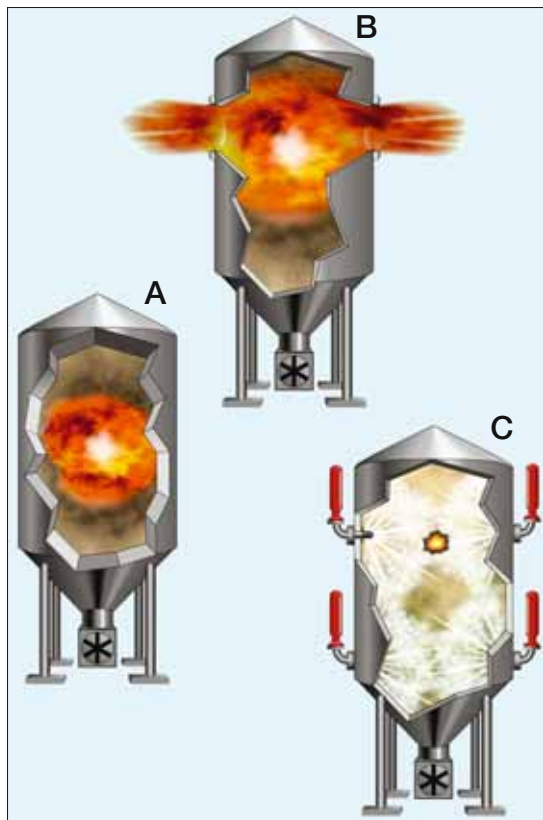


Figura 34: esempi di misure di tipo costruttivo contro il pericolo di esplosione [1]

- A: sistema di costruzione resistente alle esplosioni
- B: sfogo dell'esplosione
- C: soffocamento dell'esplosione

- **sfogo dell'esplosione** grazie ad un punto di rottura (figura 34B) destinato ad aprirsi al raggiungimento di una determinata pressione, la quale deve essere nettamente al di sotto della pressione a cui il recipiente è in grado di resistere. Si ricorre a dispositivi quali diaframmi di rottura o valvole a clapet adeguatamente dimensionati.

★ **Esperimento: diaframma di rottura**

In un recipiente di acciaio con un'apertura chiusa da un foglio di alluminio viene accesa una miscela esplosiva di vapori di alcool e aria. La sovrappressione generata dall'esplosione viene sfogata grazie alla rottura del foglio.



Attenzione: lo sfogo dell'esplosione deve avvenire sempre «in direzione non pericolosa», non nei locali di lavoro.

12.3 Misure organizzative

Le misure organizzative possono non solo ridurre il rischio di incendi ed esplosioni, ma anche limitare le eventuali ripercussioni sull'uomo, sui beni materiali e sull'ambiente.



Figura 35: esempi di misure organizzative

Stabilire le misure organizzative nel sistema di gestione della sicurezza.

Le misure organizzative rafforzano e completano l'efficacia delle misure di prevenzione e costruzione contro le esplosioni.

13 Bibliografia

- [1] Ott R. J., Scheller F. et al. «Esplosioni di gas» (N. 2032), AISS (Associazione Internazionale della Sicurezza Sociale) Sezione Chimica, Heidelberg (1999).
- [2] Glor M., Ott R. J. et al. «Elettricità statica, pericoli di innesco e misure di protezione» (N. 2017), AISS (Associazione Internazionale della Sicurezza Sociale) Sezione Chimica, Heidelberg (1995).
- [3] Ott R. J., Radandt S. et al. «Esplosioni di polveri» (N. 2044), AISS (Associazione Internazionale della Sicurezza Sociale) Sezione Chimica, Heidelberg (2002).
- [4] Fischer K.-H., Ott R. J., Scheller F. et al. «Sicurezza degli impianti a gas di petrolio liquefatti» (N. 2004), AISS (Associazione Internazionale della Sicurezza Sociale) Sezione Chimica, Heidelberg (1992).
- [5] Beck H., Ott R. J. Zockoll C. et al. «Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten – Grundlagen» (N. 2033), AISS (Associazione Internazionale della Sicurezza Sociale), Sezione protezione delle macchine, Mannheim (1998, esiste solo in tedesco e inglese).
- [6] Suva, «Sicurezza nell'uso di solventi», Suva, Settore chimica, Lucerna, 5ª edizione, 2001, Codice SBA 155.i
- [7] Suva, «Attenzione, nei recipienti vuoti attende in agguato la morte», Suva, Settore chimica, Lucerna, 16ª edizione, 1997, Codice: 44047.i
- _____
- Per ordinazioni rivolgersi a:
Suva, Servizio Centrale Clienti,
Casella postale, CH-6002 Lucerna
- [8] ESCIS (Expertenkommission für Sicherheit in der chemischen Industrie der Schweiz), «Statische Elektrizität, Regeln für die betriebliche Sicherheit», ESCIS-Schriftenreihe Sicherheit, Heft 2, Suva, Bereich Chemie, Luzern (1997, esiste solo in tedesco e inglese).
- _____
- Per ordinazioni rivolgersi a:
ESCIS, c/o Suva, Settore chimica,
Casella postale, CH-6002 Lucerna

Per ordinazioni rivolgersi a:

BG Chemie (IVSS-Sektion Chemie, Sekretariat), Kurfürsten Anlage 62, D-69115 Heidelberg

BG Nahrungsmittel und Gaststätten (IVSS-Sektion Maschinen- und Systemsicherheit, Sekretariat), Dynamostrasse 7-11, D-68165 Mannheim

Suva, Servizio Centrale Clienti,
Casella postale, CH-6002 Lucerna

