



# ***Elettricità statica***



***Pericoli d'innescò  
e misure  
di protezione***

**Sezione internazionale dell'AISS  
per la prevenzione dei rischi  
professionali nell'industria chimica**

**Kurfürsten Anlage 62  
D-69115 Heidelberg  
Germania**



## L'ASSOCIAZIONE INTERNAZIONALE PER LA SICUREZZA SOCIALE (AISS)

Presente in 121 Stati, è composta da 306 membri (autorità governative e istituzioni), di cui la metà si occupa della sicurezza sul lavoro. La sede dell'AISS si trova a Ginevra, presso l'Organizzazione internazionale del lavoro. Il suo scopo fondamentale è quello di promuovere e diffondere la SICUREZZA SOCIALE in tutto il mondo.

Per aumentare la sicurezza sul lavoro nelle aziende, nel 1970 è stata creata, per il settore dell'industria chimica, compresa quella delle materie plastiche, degli esplosivi, degli oli minerali e della gomma, la



## SEZIONE INTERNAZIONALE DELL'AISS PER LA PREVENZIONE DEI RISCHI PROFESSIONALI NELL'INDUSTRIA CHIMICA

La presidenza ed il segretariato sono stati affidati alla «Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie», D-69115 Heidelberg.

Per promuovere la sicurezza sul lavoro e la protezione della salute nelle aziende, nel 1975 è stata creata la



## SEZIONE INTERNAZIONALE DELL'AISS PER LA SICUREZZA DELLE MACCHINE

che si occupa di problemi di sicurezza di macchine, impianti e sistemi. Presidenza e segretariato: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, D-68165 Mannheim.

# Elettricità Statica

## Pericoli d'innescò e misure di protezione

Guida pratica

Editore

Sezione internazionale per la prevenzione dei rischi professionali  
nell'industria chimica dell'Associazione internazionale della  
sicurezza sociale (AISS)  
Kurfürsten Anlage 62  
D-69115 Heidelberg  
Germania



# Prefazione

L'Associazione internazionale della sicurezza sociale (AISS) si è prefissa lo scopo di presentare e discutere, tramite le sue sezioni tecniche, i rischi relativi alla sicurezza sociale, quali ad esempio gli infortuni sul lavoro e le malattie professionali, attraverso scambi di informazioni, pubblicazioni e colloqui, nonché formulare proposte per combatterli.

Il Consiglio direttivo della «Sezione chimica» dell'AISS ha creato un Gruppo di lavoro «Protezione contro le esplosioni» al fine di promuovere, a livello internazionale, lo scambio di esperienze tra specialisti del settore e di elaborare soluzioni comuni di determinati problemi. In questo modo si vuol raggiungere nel settore della protezione contro le esplosioni uno stato elevato della tecnica, comparabile fra i diversi Stati industrializzati. Le cognizioni acquisite in materia verranno messe a disposizione dei paesi industrialmente meno sviluppati.

Questa Guida pratica – sorta in stretta collaborazione con la Sezione «Sicurezza delle macchine» dell'AISS – serve a dare agli ingegneri progettisti, ai dirigenti d'azienda, a coloro che dovranno occuparsi di sicurezza, ecc., senza specifiche conoscenze in materia di elettricità statica, la possibilità di giudicare se nella propria azienda durante la costruzione, l'impiego e la manutenzione di impianti possono esistere pericoli d'innescio dovuti all'elettricità statica. Per contro la Guida non risponde alla domanda sulla necessità o meno di adottare misure di protezione, in quanto risulta spesso impossibile formulare risposte concrete a causa delle grandi diversità esistenti fra le numerose prescrizioni nazionali. Si intende piuttosto mostrare i problemi e i provvedimenti possibili atti a raggiungere gli obiettivi in merito alla sicurezza.



Dr. E. Radek  
Presidente del  
Consiglio direttivo  
della Sezione chimica



# Collaboratori e Autori

## Presidenza

Suva  
Dr. R. J. Ott

## Con la collaborazione di

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Vienna	(A)
Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg	(D)
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN), Mannheim	(D)
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), St. Augustin	(D)
Ciba-Geigy AG, Basilea	(CH)
Directoraat-Generaal van de Arbeid, Den Haag	(NL)
Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Parigi	(F)
Pellmont Explosionsschutz, Binningen/Basilea	(CH)
Suva, Lucerna	(CH)
Stazione Sperimentale per i Combustibili (SSC), San Donato Milanese/Milano	(I)

## Autori

Dipl.-Ing. H. Beck, St. Augustin	(D)	Dr. G. Pellmont, Binningen/Basilea	(CH)
Prof. Dr. A. Fiumara, Milano	(I)	Ing. J.-M. Petit, Parigi	(F)
<b>Dr. M. Glor, Basilea</b>	<b>(CH)</b>	Prof. Dr. S. Radandt, Mannheim	(D)
Dipl.-Ing. K. Isselhard, Heidelberg	(D)	Dr. H. Rainbauer, Vienna	(A)
<b>Dr. R. J. Ott, Lucerna</b>	<b>(CH)</b>	Dr. L. Rossinelli, Lucerna	(CH)
Dipl.-Ing. P. C. Parlevliet, Den Haag	(NL)	Dipl. Chem. F. Scheller, Lucerna	(CH)

## Allestimento grafico

Dr. M. Glor, Basilea	(CH)
Dr. R. J. Ott, Lucerna	(CH)
<b>Dipl.-Designer D. Settele, Mannheim</b>	<b>(D)</b>



# Sommario

<b>Pericolo d'esplosione e cariche elettrostatiche – Cenni di carattere generale</b> .....	<b>8</b>
<b>Generazione di cariche elettrostatiche (separazione delle cariche)</b> .....	<b>16</b>
<b>Accumulo e dispersione di cariche elettrostatiche</b> .....	<b>20</b>
<b>Generi di scariche e potere d'innescio</b> .....	<b>26</b>
<b>Misure contro i pericoli d'innescio dovuti a cariche elettrostatiche</b> .....	<b>46</b>
<b>Maneggio di liquidi e gas infiammabili</b> .....	<b>51</b>
<b>Maneggio di sospensioni ed emulsioni di liquidi infiammabili</b> .....	<b>60</b>
<b>Maneggio di materiali sfusi infiammabili in assenza di gas e vapori infiammabili</b> .....	<b>62</b>
<b>Maneggio di materiale sfuso contenente solventi infiammabili</b> .....	<b>66</b>
<b>Bibliografia</b> .....	<b>68</b>
<b>Indice</b> .....	<b>69</b>
<b>Serie di pubblicazioni AISS – Protezione contro le esplosioni</b> .....	<b>72</b>

# Pericolo d'esplosione e cariche elettrostatiche

## Cenni di carattere generale

**Quando esiste pericolo di esplosione?**

Un tale pericolo può esistere nelle aziende che fabbricano, immagazzinano o lavorano gas, liquidi o polveri infiammabili che, mescolandosi con l'aria, possono dar luogo a miscele esplodibili (si vedano gli opuscoli AISS «Esplosioni di gas» ed «Esplosioni da polveri»).

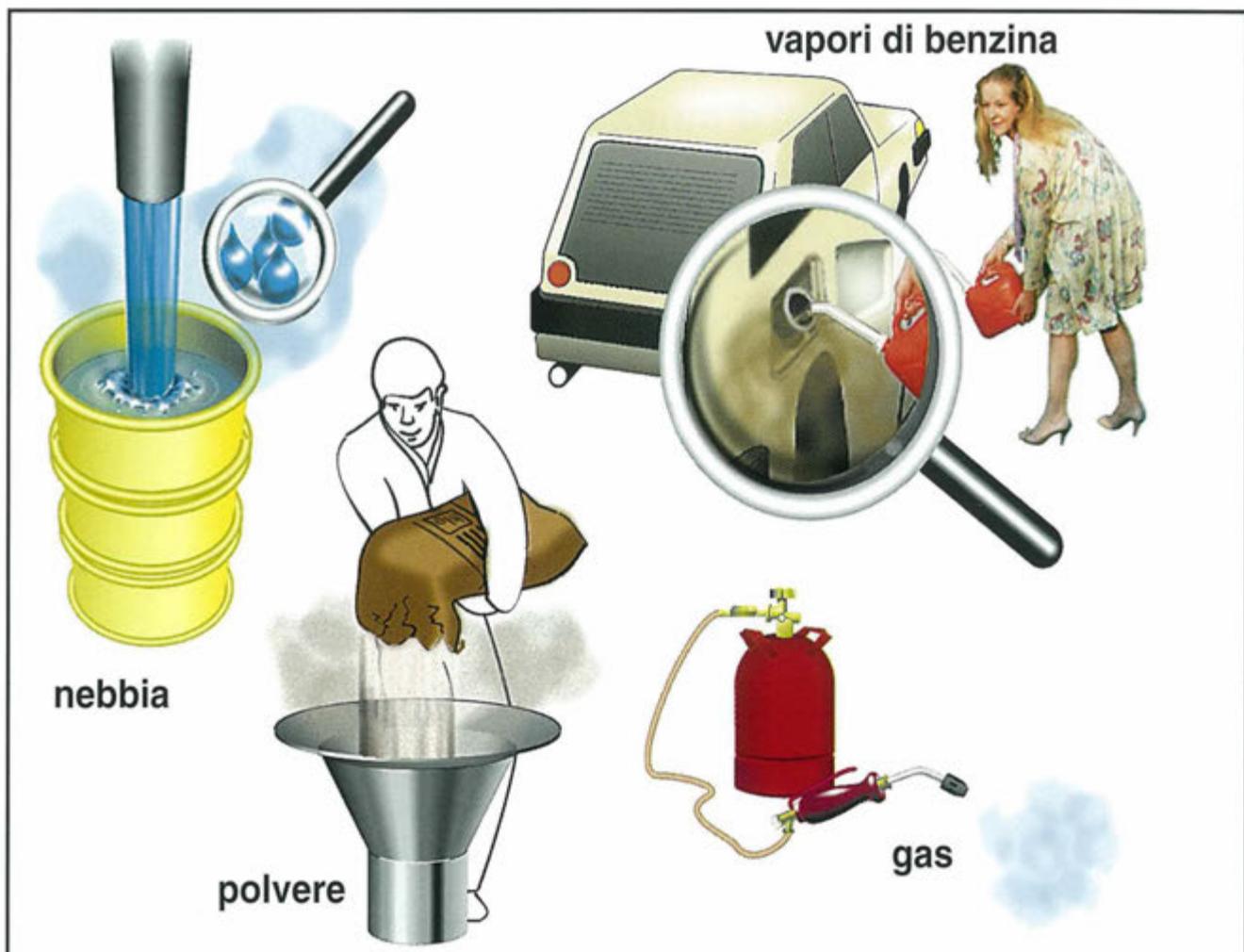


Figura 1: Esempi di emissione di gas, vapori, polveri o nebbie infiammabili

**Che cos'è una miscela esplosibile?**

Una miscela è detta esplosibile quando i gas, i vapori, le nebbie o le polveri infiammabili sono miscelati con aria in quantità tale che, una volta avvenuto l'innescò, la combustione si propaga da sola (esplosione).

**Quando avviene un'esplosione?**

Affinchè un'esplosione possa verificarsi, è necessario che siano presenti contemporaneamente e nello stesso luogo:

- combustibile (gas, vapori, nebbie, polveri) distribuito in quantità e modo sufficienti;
- comburente (ossigeno, aria) in quantità sufficiente;
- una fonte d'innescò efficace.

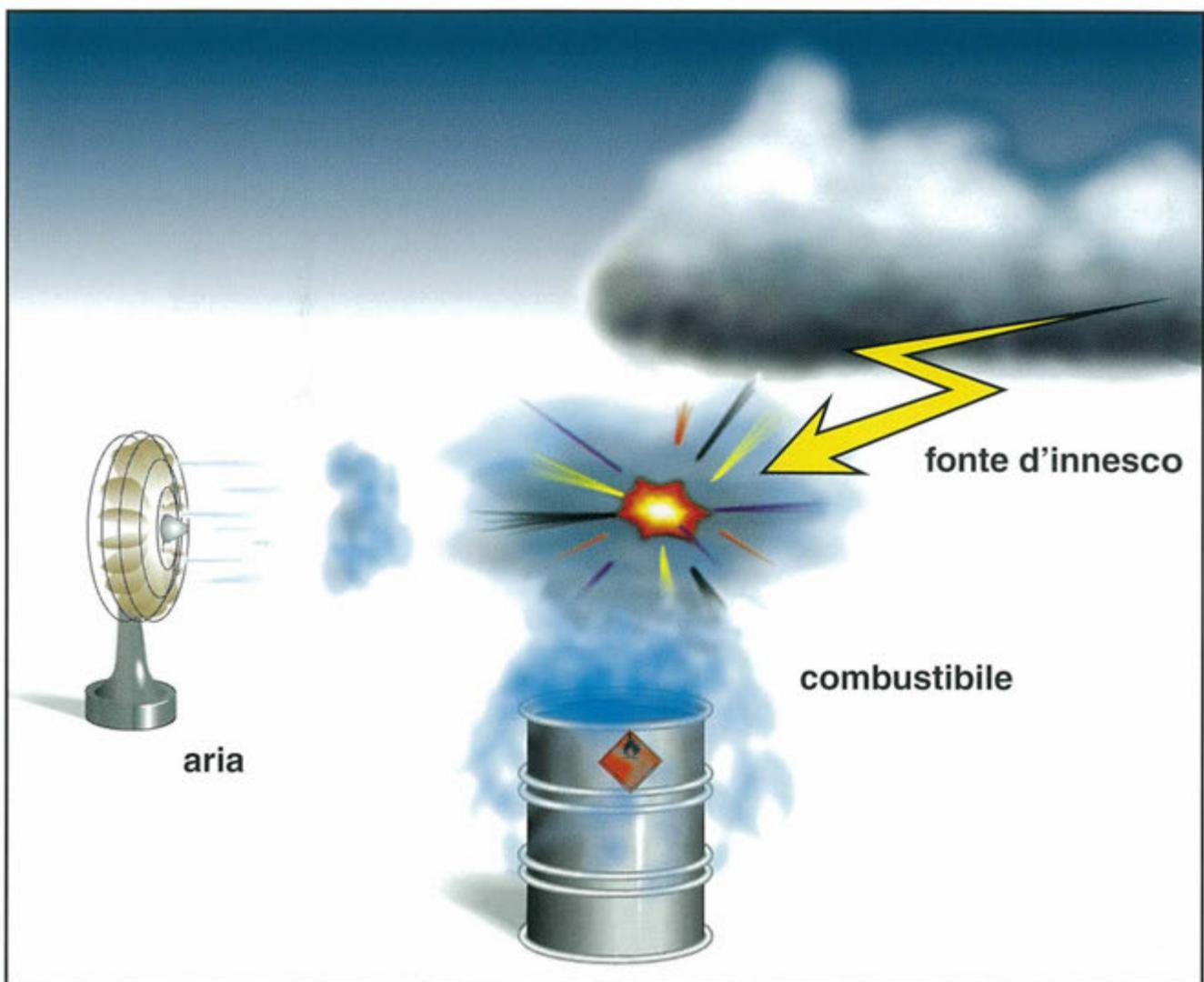


Figura 2: Presupposti per il verificarsi di un'esplosione

**Che cosa si intende per fonte d'innesco efficace?**

Esistono molte fonti d'innesco (per es. superfici calde, fuoco, fiamme, brace, scintille d'origine meccanica o elettrica, scariche di elettricità statica), le quali differiscono tra loro, fra l'altro, per l'energia sprigionata. Le miscele esplosibili a loro volta differiscono tra loro per la sensibilità all'innesco.

In determinate situazioni la fonte di innesco può non avere l'energia sufficiente per provocare l'accensione della miscela esplosibile presente; in questo caso si dice che la fonte di innesco non è efficace e non si avrà quindi esplosione.

In generale è necessario esaminare in dettaglio le fonti d'innesco in relazione alle potenziali miscele esplosibili, per valutare il pericolo di esplosione.

Qui di seguito verranno esaminate sotto questo punto di vista le scariche di elettricità statica.

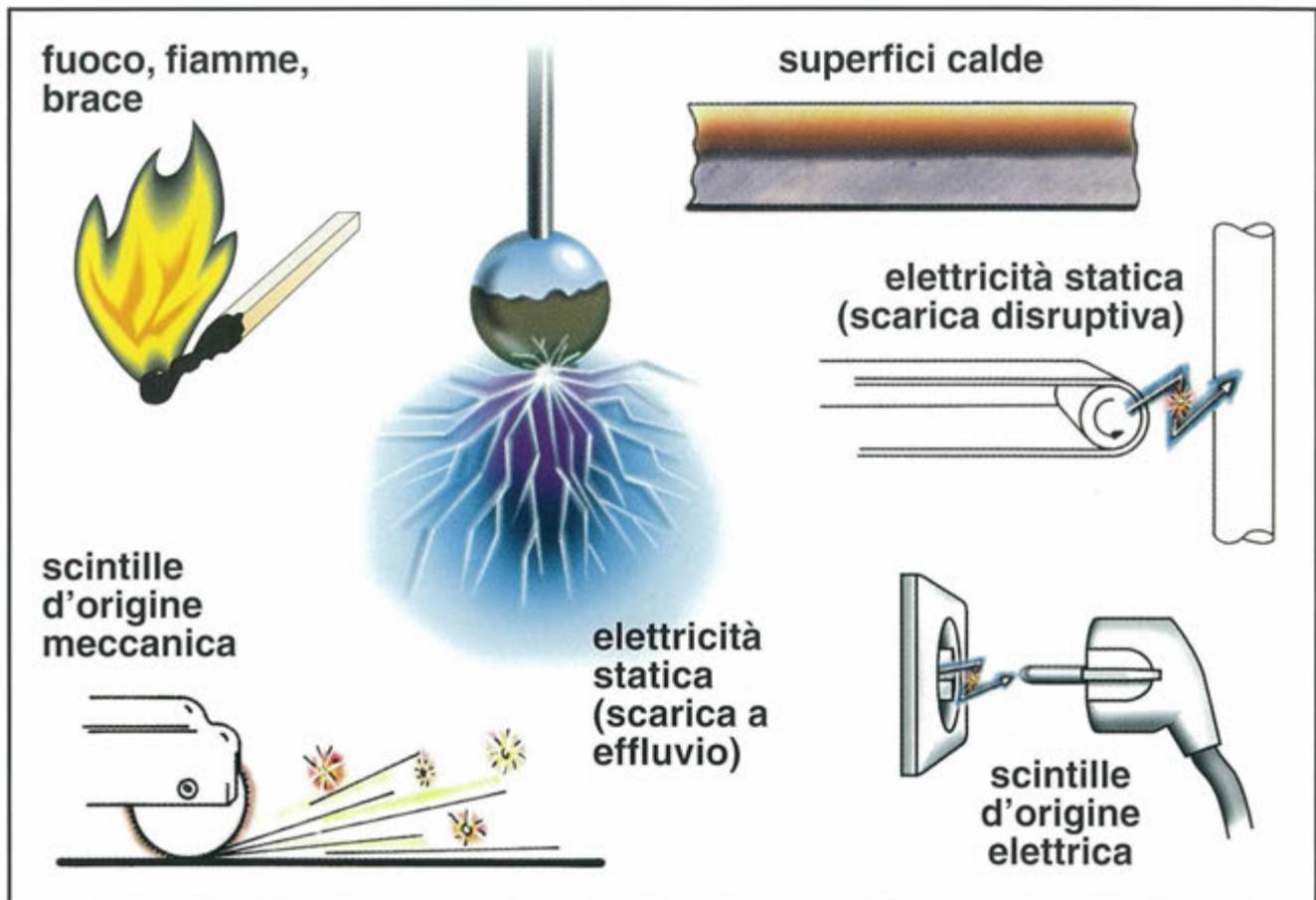


Figura 3: Esempi di fonti d'innesco

**Quando le cariche elettrostatiche comportano un pericolo d'esplosione?**

Una carica elettrostatica non rappresenta di per sé necessariamente un pericolo. Solo nel momento in cui il campo elettrico dovuto all'accumulo di cariche è tanto elevato da poter causare scariche elettriche, può esistere un pericolo di innesco.

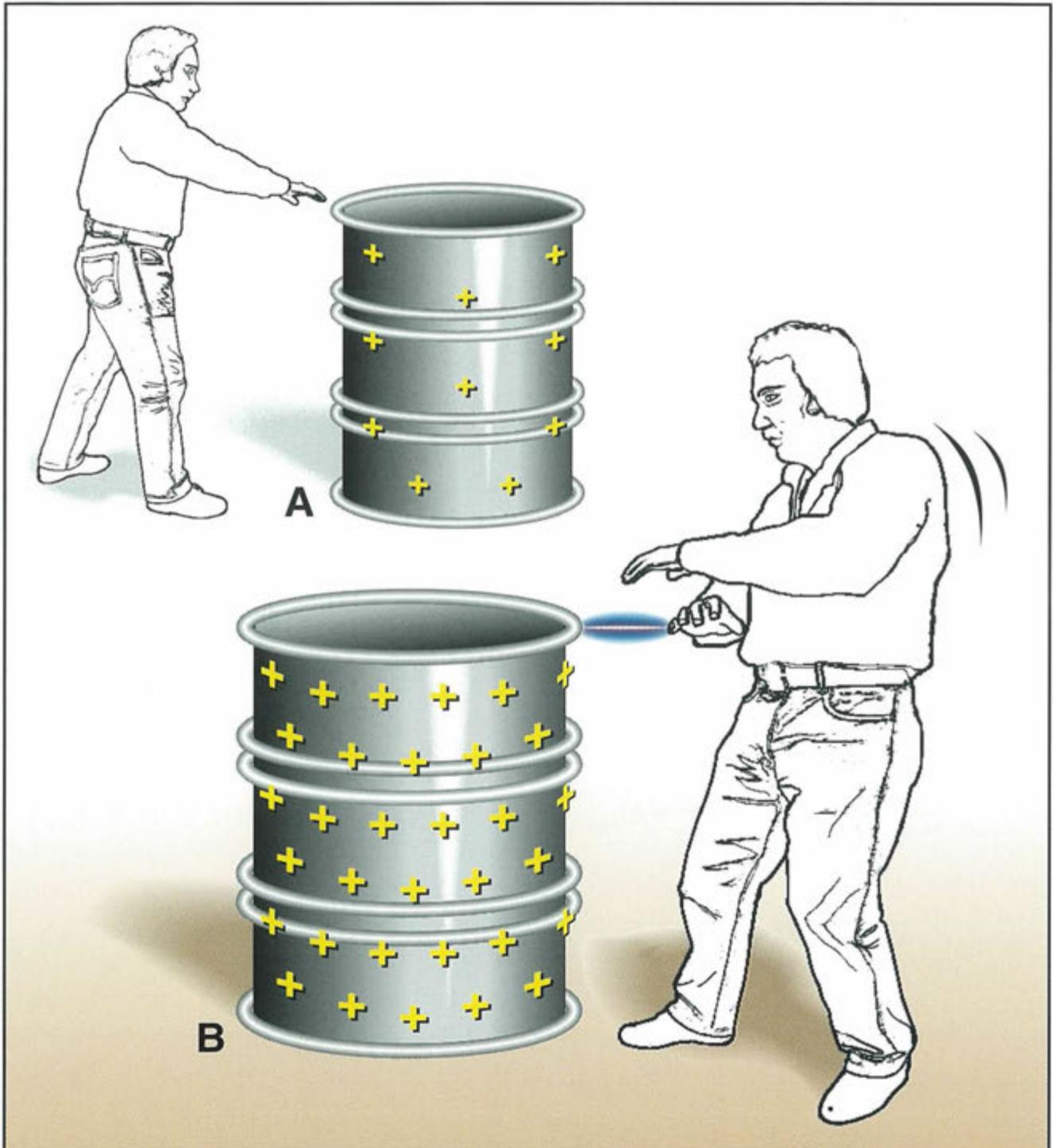


Figura 4: Accumulo di cariche – A: carica bassa ⇨ nessuna scintilla di scarica  
– B: carica alta ⇨ scintilla di scarica (pericolo d'innesco)

### Quando avviene una scarica dovuta ad elettricità statica?

Le singole fasi che portano a una scarica sono, per principio, sempre le stesse.

- **Separazione delle cariche:** attraverso processi di separazione (il più delle volte fra il prodotto e parti dell'impianto), le superfici inizialmente a contatto vengono a caricarsi.
- **Accumulo di cariche:** si può avere accumulo di cariche elettriche sui prodotti, sugli elementi dell'impianto, sugli imballaggi, sulle persone, ecc.
- **Dispersione delle cariche:** se i luoghi di accumulo hanno un collegamento a terra di sufficiente conducibilità, le cariche possono disperdersi a terra senza pericolo (dispersione delle cariche).
- **Scarica:** se le cariche che si creano dai processi di separazione non possono disperdersi a terra, queste si accumulano sempre più, fino a raggiungere una intensità di campo elettrico tale che si verificherà una scarica.

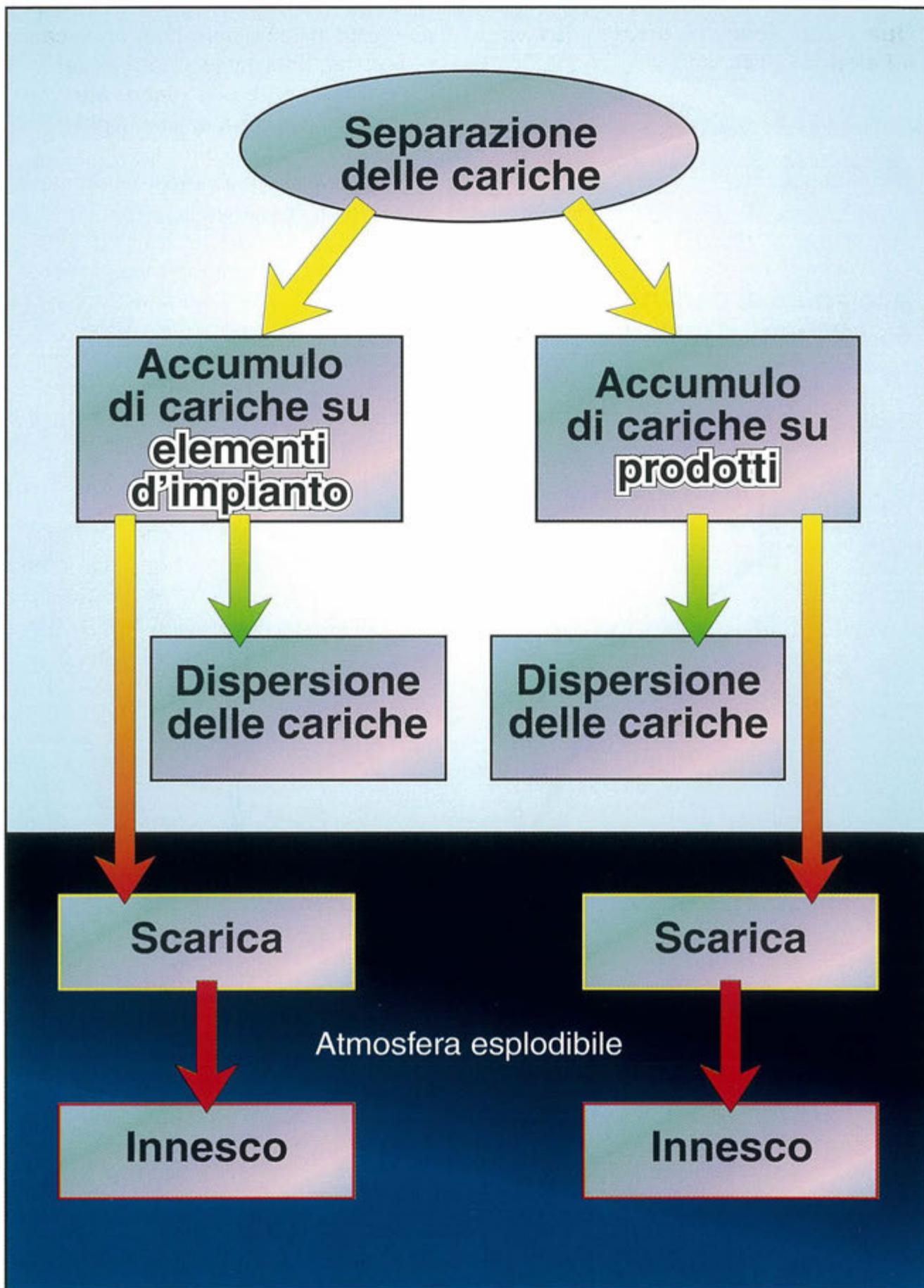


Figura 5: Schema di base dell'elettricità statica: dalla separazione delle cariche sino all'innescò di un'atmosfera esplosibile (esplosione)

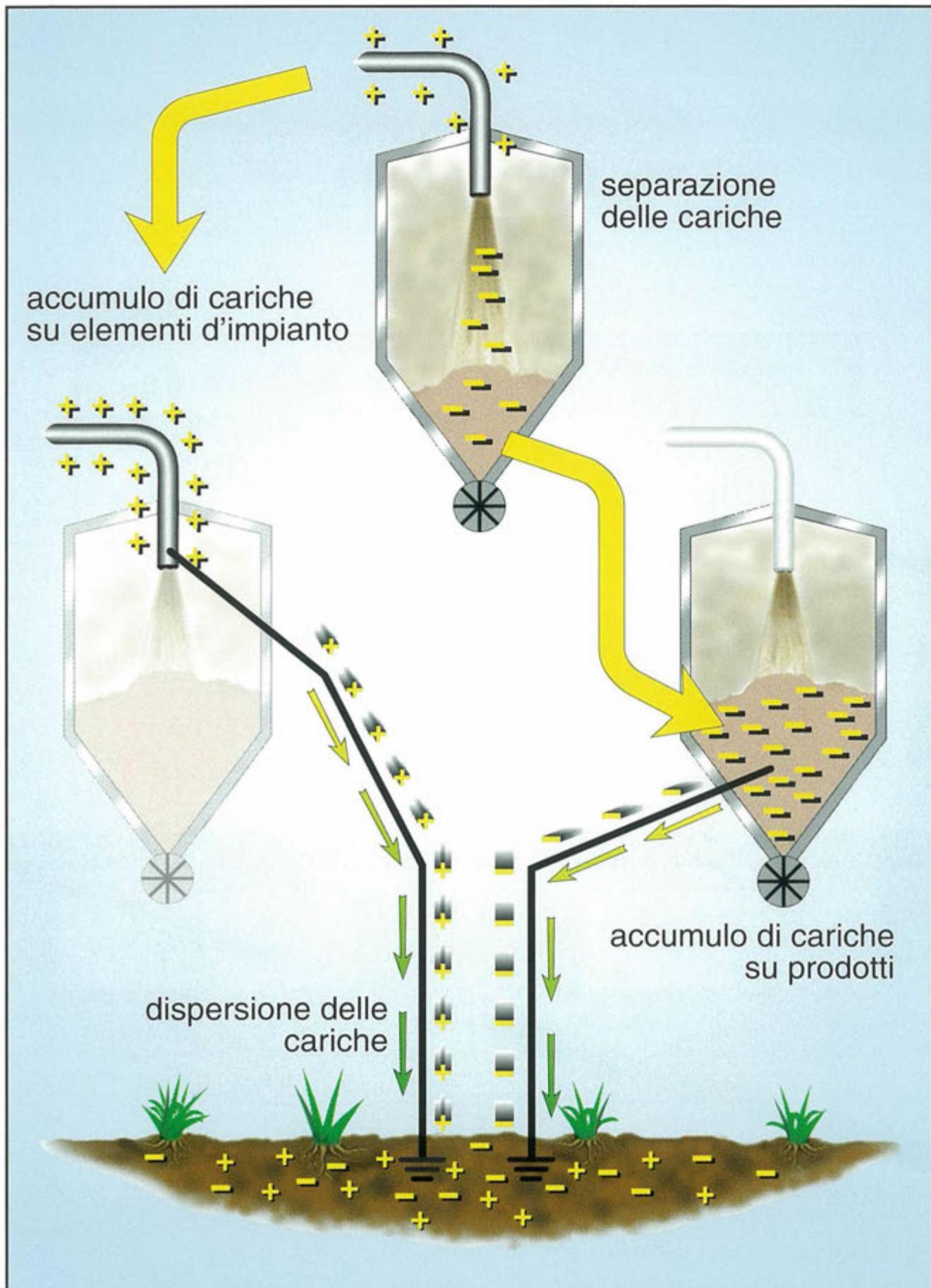


Figura 6: Schema di base dell'elettricità statica con la raffigurazione delle singole fasi: separazione, accumulo, dispersione delle cariche

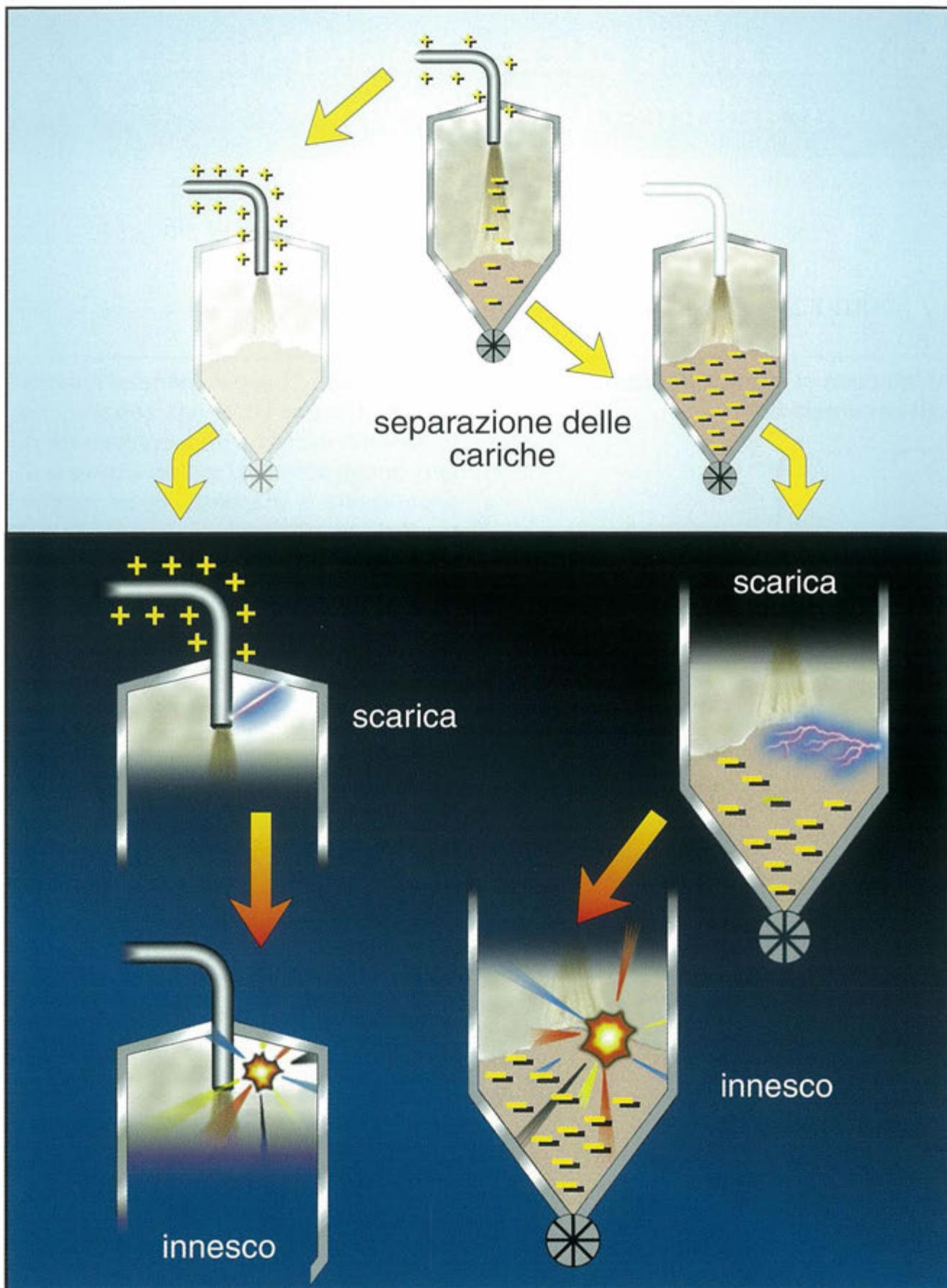


Figura 7: Schema di base dell'elettricità statica con la raffigurazione delle singole fasi: separazione e accumulo di cariche, scarica, innesco di una atmosfera esplosibile (esplosione)

# Generazione di cariche elettrostatiche (separazione delle cariche)

**Che cosa si intende per processi di separazione?**

Per processo di separazione si intende ogni evento che porta alla separazione di superfici inizialmente a contatto fra di loro, anche per breve tempo. Processi di separazione si manifestano, per esempio, nei casi seguenti:

- travaso di prodotti;
- passi di persone su pavimenti;
- srotolamento di fogli;
- scorrimento del nastro trasportatore attorno alla puleggia di rinvio;
- flusso di un liquido attraverso una tubazione;
- filtrazione di una sostanza in sospensione;
- spruzzatura o nebulizzazione di un liquido;
- svuotamento di materiale sfuso da un sacco o da un recipiente;
- trasporto pneumatico di materiale sfuso attraverso una tubazione;
- urto di particelle di polvere contro la parete di un separatore.

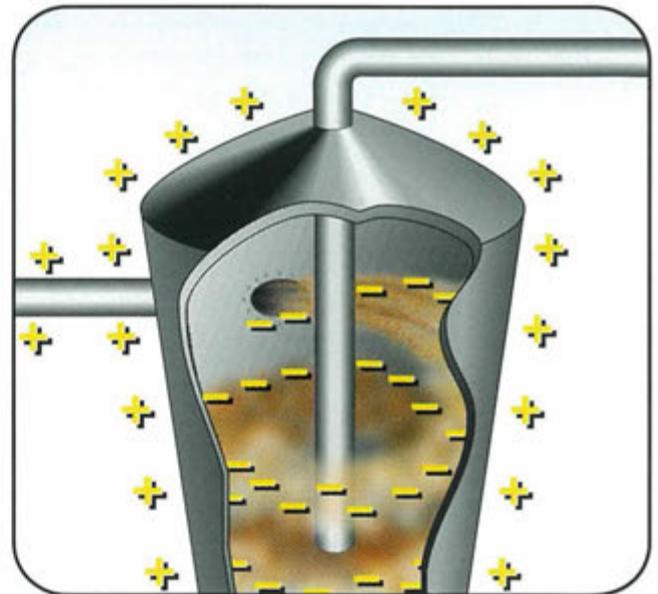
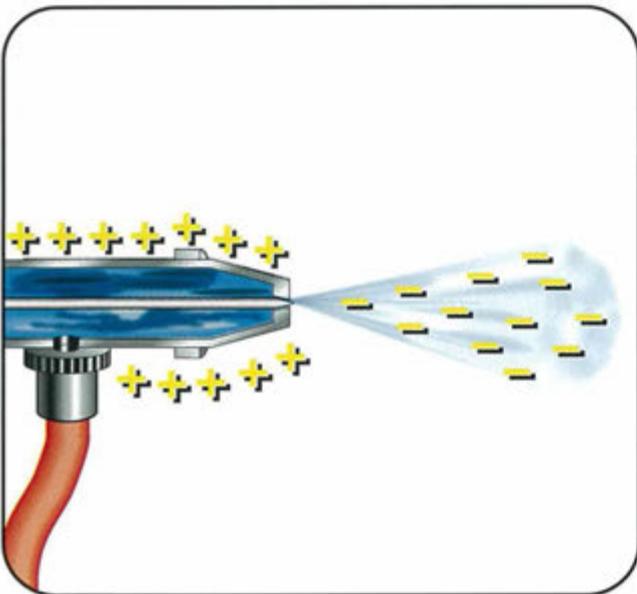
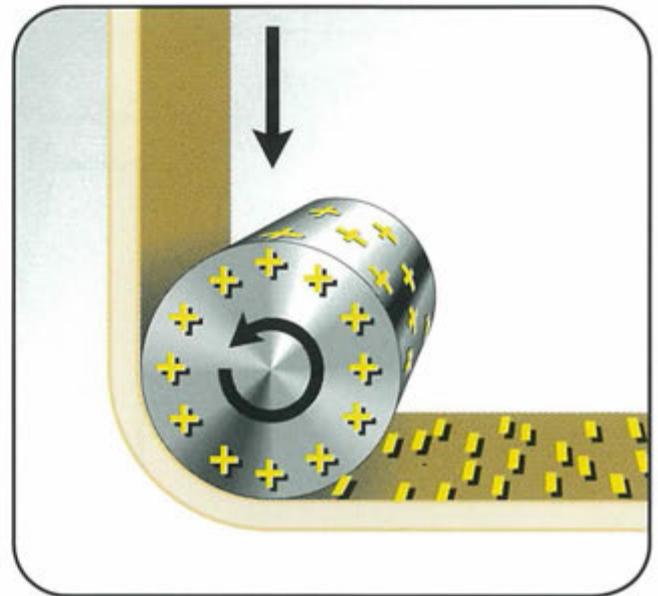
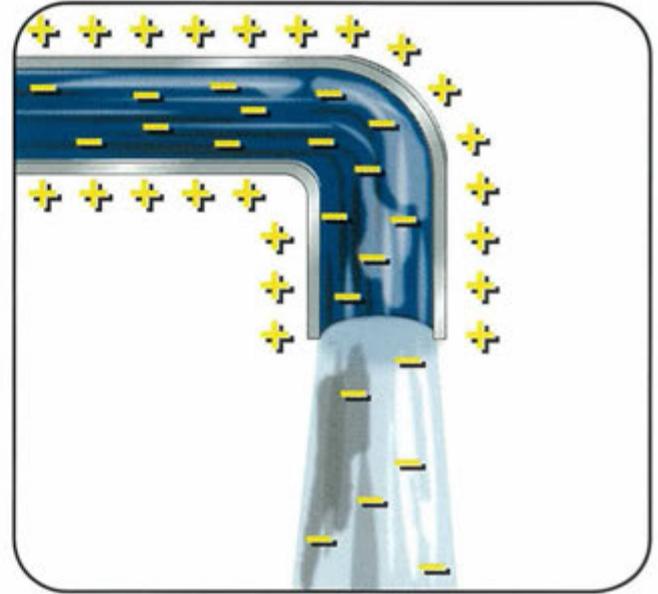
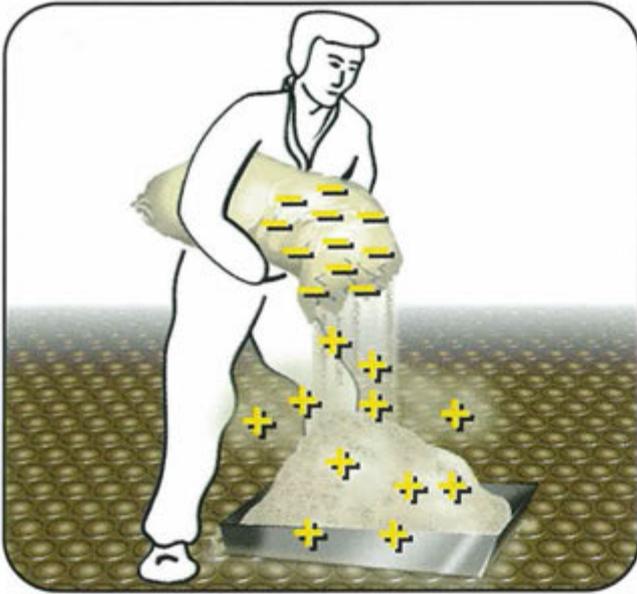


Figura 8: Esempi di processi di separazione

**Quali sostanze sono isolanti (non conduttrici)?**

Le proprietà d'isolamento di sostanze solide, materiale sfuso e sostanze liquide vengono determinate mediante misurazione della resistenza elettrica.

- Sono da considerare isolanti solidi praticamente tutte le materie plastiche, quali polietilene (PE), polipropilene (PP), polivinilcloruro (PVC), politetrafluoroetilene (PTFE), ecc. Anche i prodotti organici secchi possono essere isolanti.
- Liquidi tipicamente isolanti sono gli idrocarburi, quali esano, eptano, benzina, toluolo, xilolo, ecc.

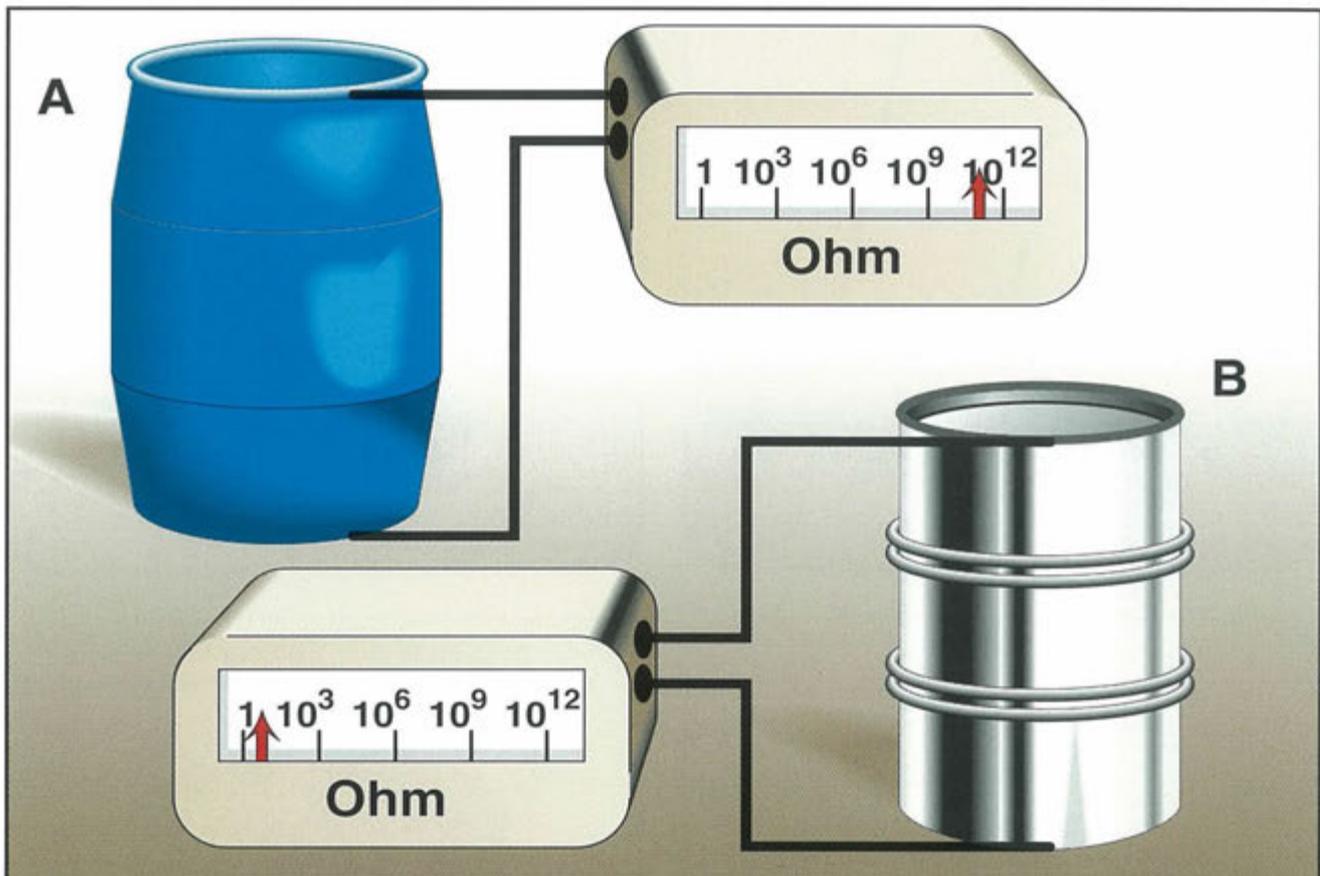


Figura 9: Determinazione delle proprietà d'isolamento mediante misura della resistenza elettrica – A: fusto in plastica (isolante, non conduttore)  
– B: fusto metallico (conduttore)

**Nei processi di separazione si deve sempre prevedere la formazione di cariche elettrostatiche quando almeno una delle due parti in causa è elettricamente isolante.**

Oltre ai processi di separazione, esistono anche altri meccanismi di formazione di cariche elettrostatiche?

Sì: l'induzione elettrostatica è un fenomeno fisico caratterizzato dal fatto che le cariche su una superficie conduttrice possono essere spostate dalla presenza di cariche su superfici vicine ma non a contatto in modo tale da produrre una carica elettrostatica temporanea, che persiste fino a quando è presente la causa che l'ha generata. Esempi tipici: persone con scarpe isolanti nelle vicinanze di un sacco di plastica caricato elettricamente.

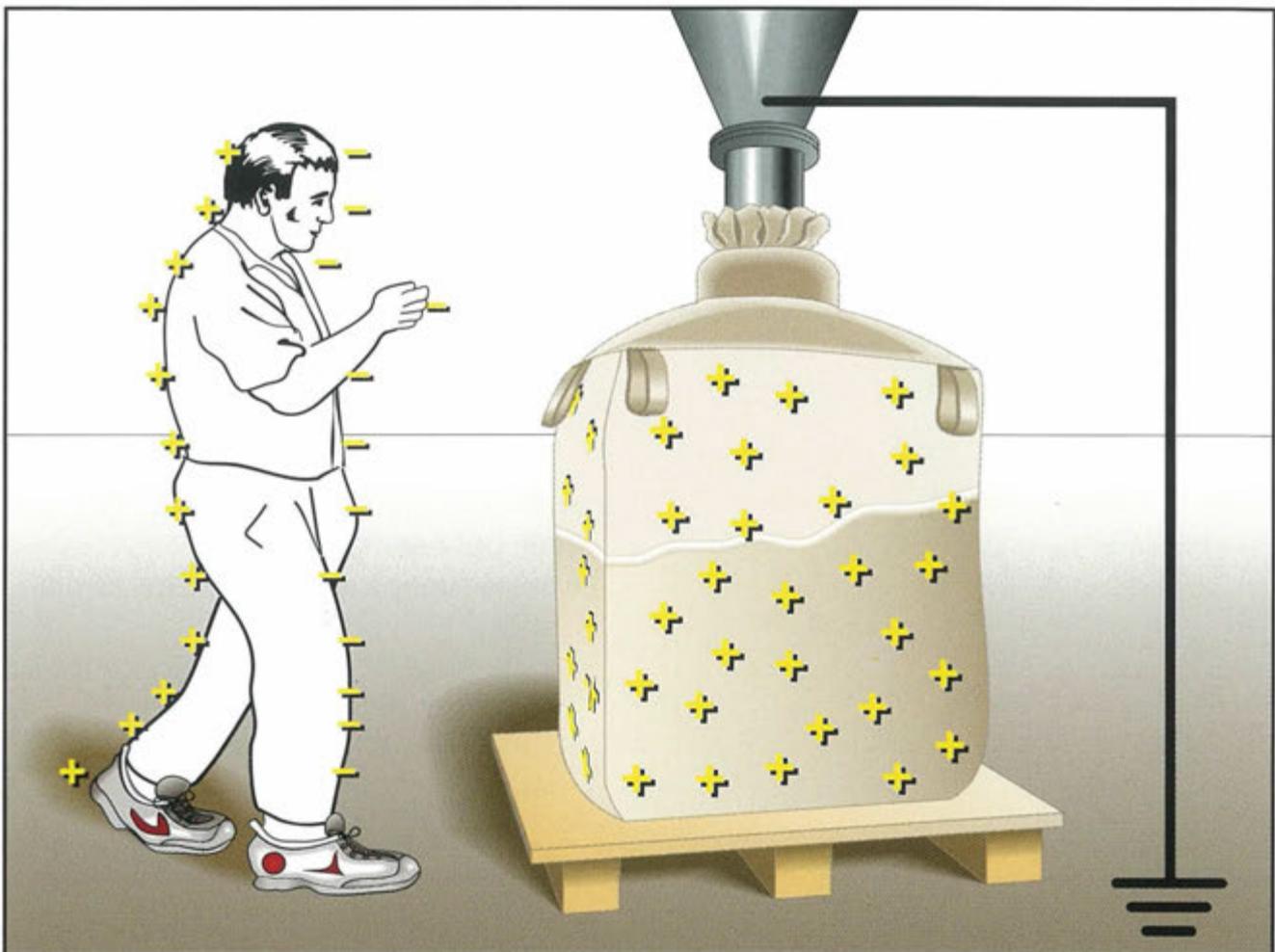


Figura 10: Carica per induzione elettrostatica di una persona sprovvista di messa a terra (scarpe con soles isolanti)

**Le parti metalliche – e le persone – sprovviste di un collegamento di messa a terra possono essere caricate elettrostaticamente per induzione.**

# Accumulo e dispersione di cariche elettrostatiche

## Dove si può avere accumulo di cariche?

Le cariche possono accumularsi:

- su parti conduttrici, ma isolate elettricamente da terra, per esempio:
  - sul corpo di una persona che porta scarpe isolanti o quando il pavimento non è elettricamente conduttore;
  - su un tubo metallico isolato con guarnizioni non conduttrici;
  - su un recipiente metallico messo su un piano isolante;
  - su polvere metallica in fase di travaso in un recipiente isolante;
- su superfici di materiali o prodotti isolanti, per esempio:
  - sulla superficie di un sacco di plastica;
  - sulla superficie di una tubazione di materiale sintetico;
  - sulla superficie di una tela per filtro isolante;
- su liquidi, sospensioni ed emulsioni isolanti;
- su cumuli di materiali sfusi isolanti;
- su nubi di particelle di polvere e/o di goccioline elettrostaticamente cariche.

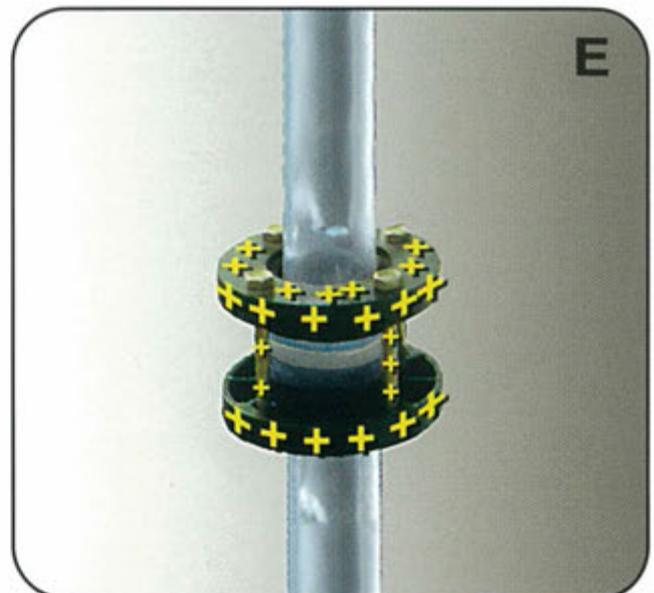
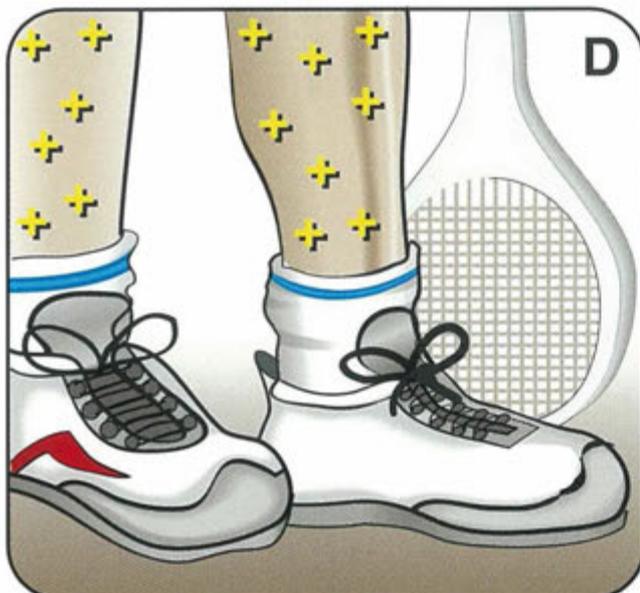
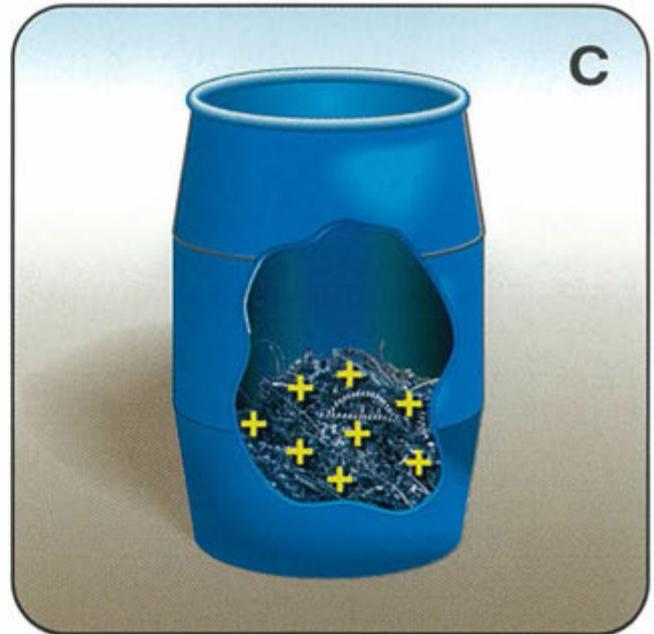
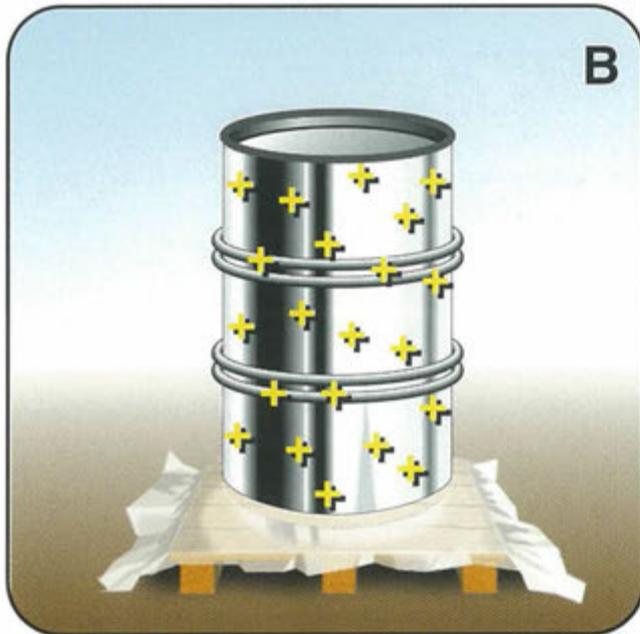
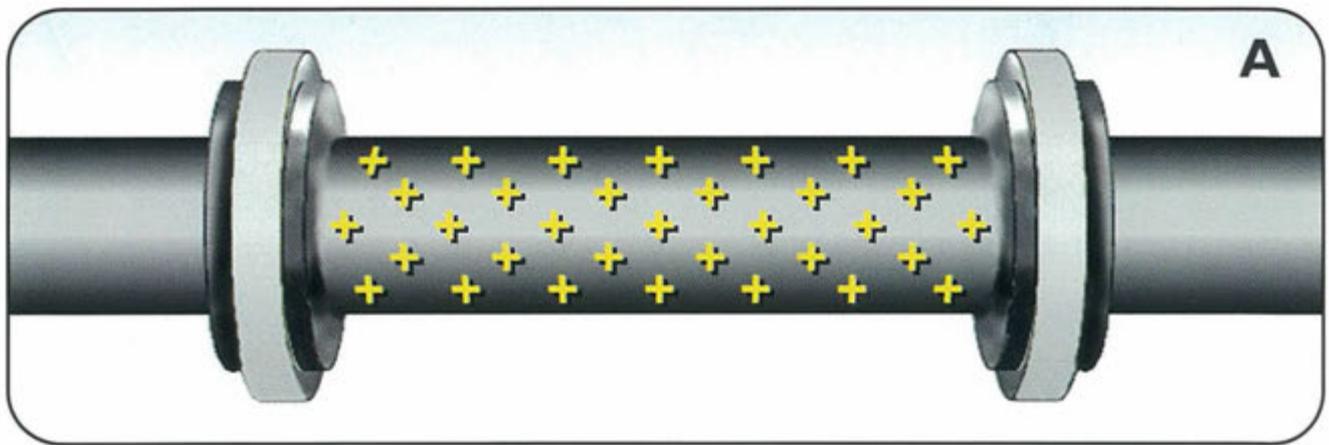


Figura 11: Esempi di accumulo di cariche su parti conduttrici isolate elettricamente da terra – A: tubo con guarnizioni isolanti B: fusto metallico su un foglio isolante C: trucioli di metallo in un fusto di plastica D: persona con scarpe isolanti E: flangia metallica su una tubazione di vetro

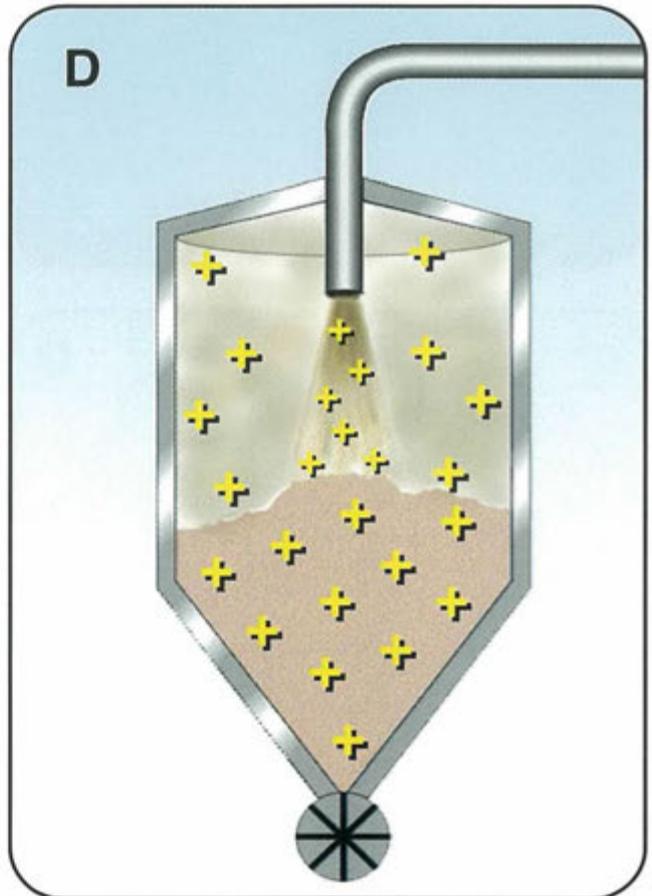
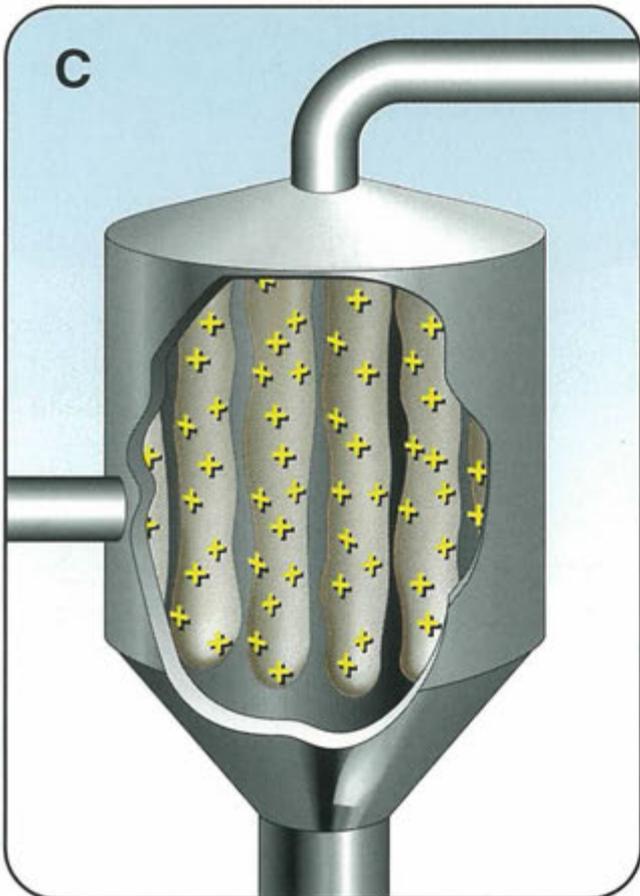
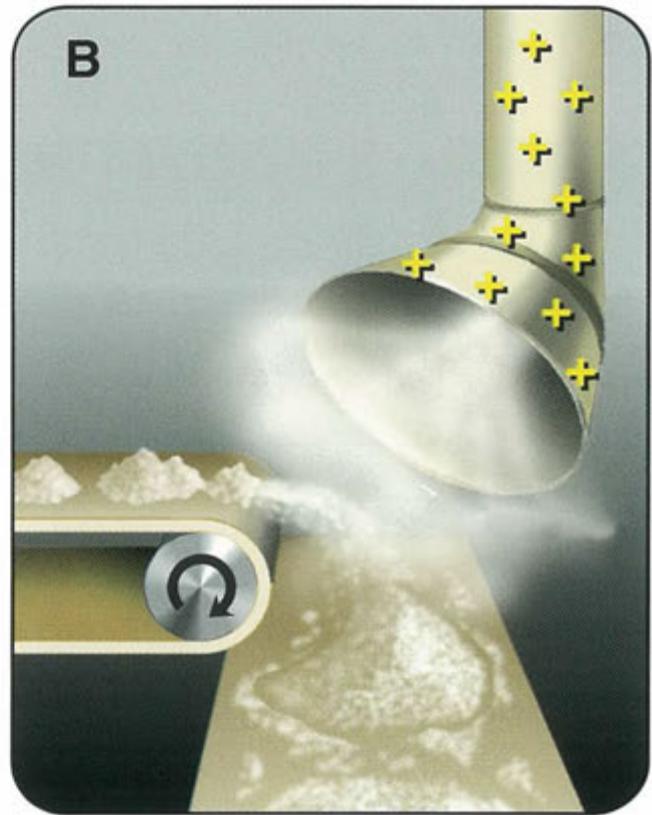


Figura 12: Esempi di accumulo di cariche su superfici di materiali isolanti o prodotti isolanti – A: foglio di polietilene per imballaggi B: manichetta di aspirazione in plastica C: maniche filtranti non conduttrici D: materiale sfuso isolante

**Quando si disperdono le cariche?**

Le cariche si disperdono quando l'oggetto sul quale arrivano le cariche è elettricamente conduttore ed è provvisto di messa a terra.

**Quali grandezze vanno considerate per valutare la conducibilità elettrostatica (dispersione delle cariche)?**

La resistenza elettrica è il fattore determinante per valutare la dispersione delle cariche. A seconda della situazione che occorre valutare, si fa ricorso a differenti grandezze, per esempio:

- alla **resistenza specifica, o resistività**, al fine di conoscere la resistenza di una sostanza solida, liquida o in polvere (costante del materiale);
- alla **conducibilità** quale valore reciproco della resistenza specifica: la conducibilità viene usata specialmente per i liquidi (costante del materiale);
- alla **resistenza superficiale** al fine di valutare la dispersione delle cariche dalla superficie di una sostanza solida;
- alla **resistenza di massa** che, a seconda del materiale e della forma, permette di valutare la resistenza totale fra due punti di un oggetto (per es. resistenza di massa fra l'interno di una scarpa e la superficie esterna della suola);
- alla **resistenza di dispersione** che è la resistenza totale fra un punto e la terra: viene sovente chiamata anche resistenza di dispersione verso terra.

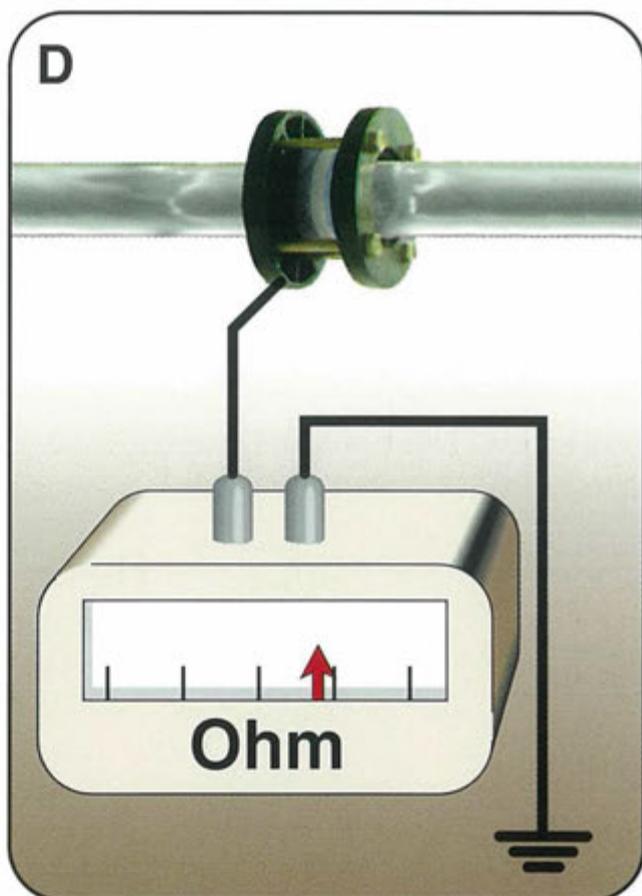
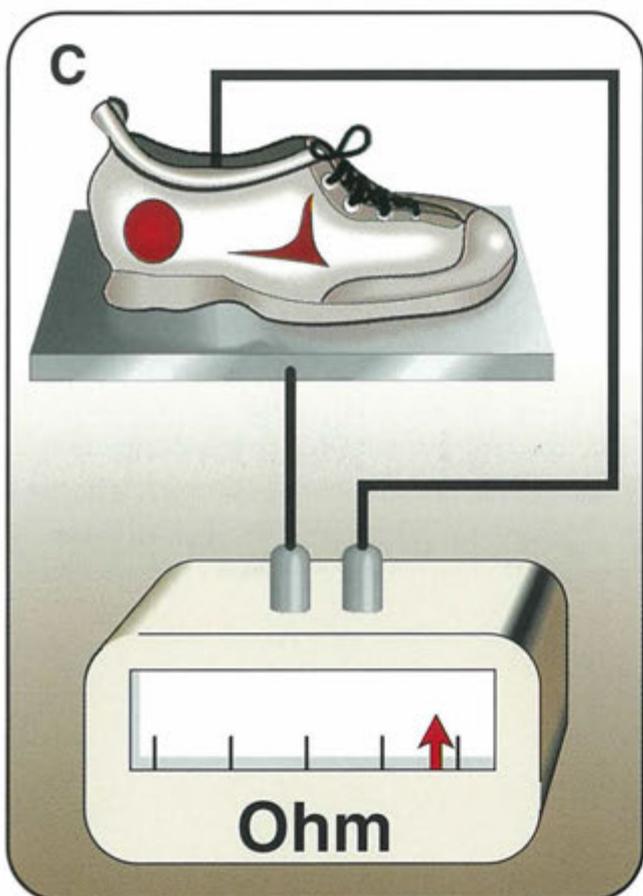
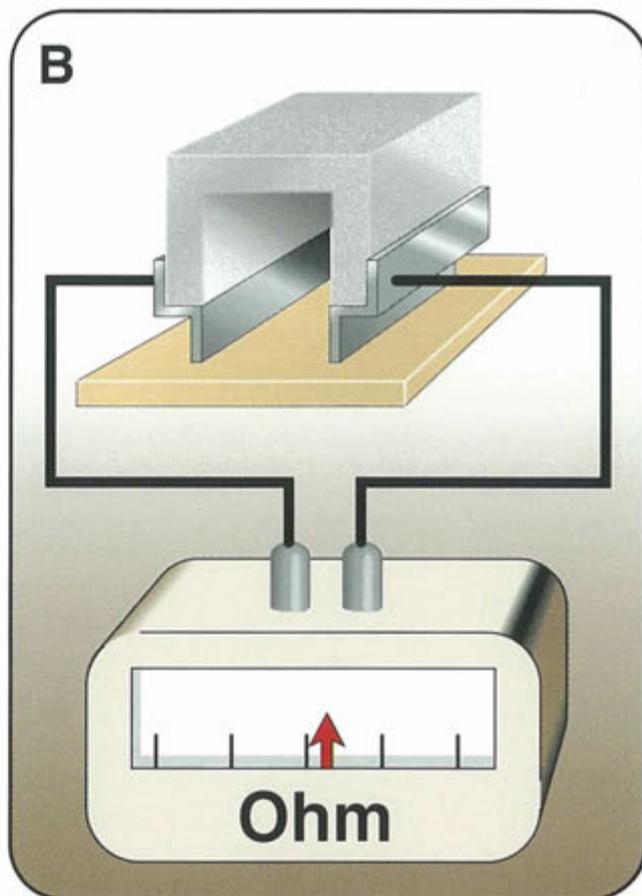
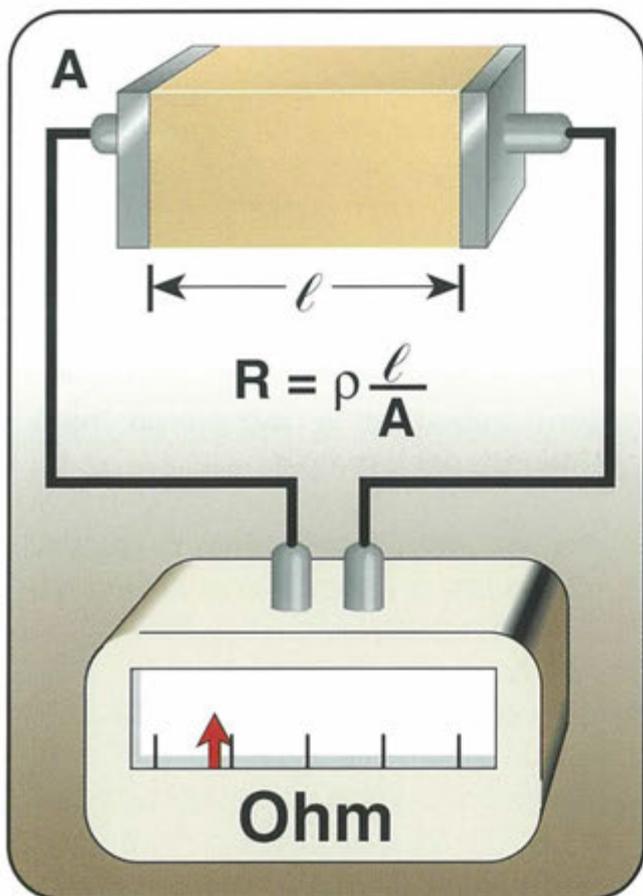


Figura 13: Esempi di misura della resistenza – A: resistenza specifica B: resistenza superficiale C: resistenza di massa D: resistenza di dispersione

**Esistono valori limite sicuri per le grandezze relative alla resistenza?**

I valori limite delle suddette grandezze che permettono una dispersione di cariche senza pericolo (resistenza specifica, resistenza di superficie, ecc.) possono differire nelle diverse direttive nazionali. Nella pratica hanno dato buona prova i seguenti valori, che si riportano a titolo indicativo:

- messa a terra di parti d'impianto: resistenza di dispersione verso terra  $\leq 10^6$  Ohm.
- messa a terra di persone: resistenza di massa delle scarpe e resistenza di dispersione verso terra del pavimento  $\leq 10^8$  Ohm.

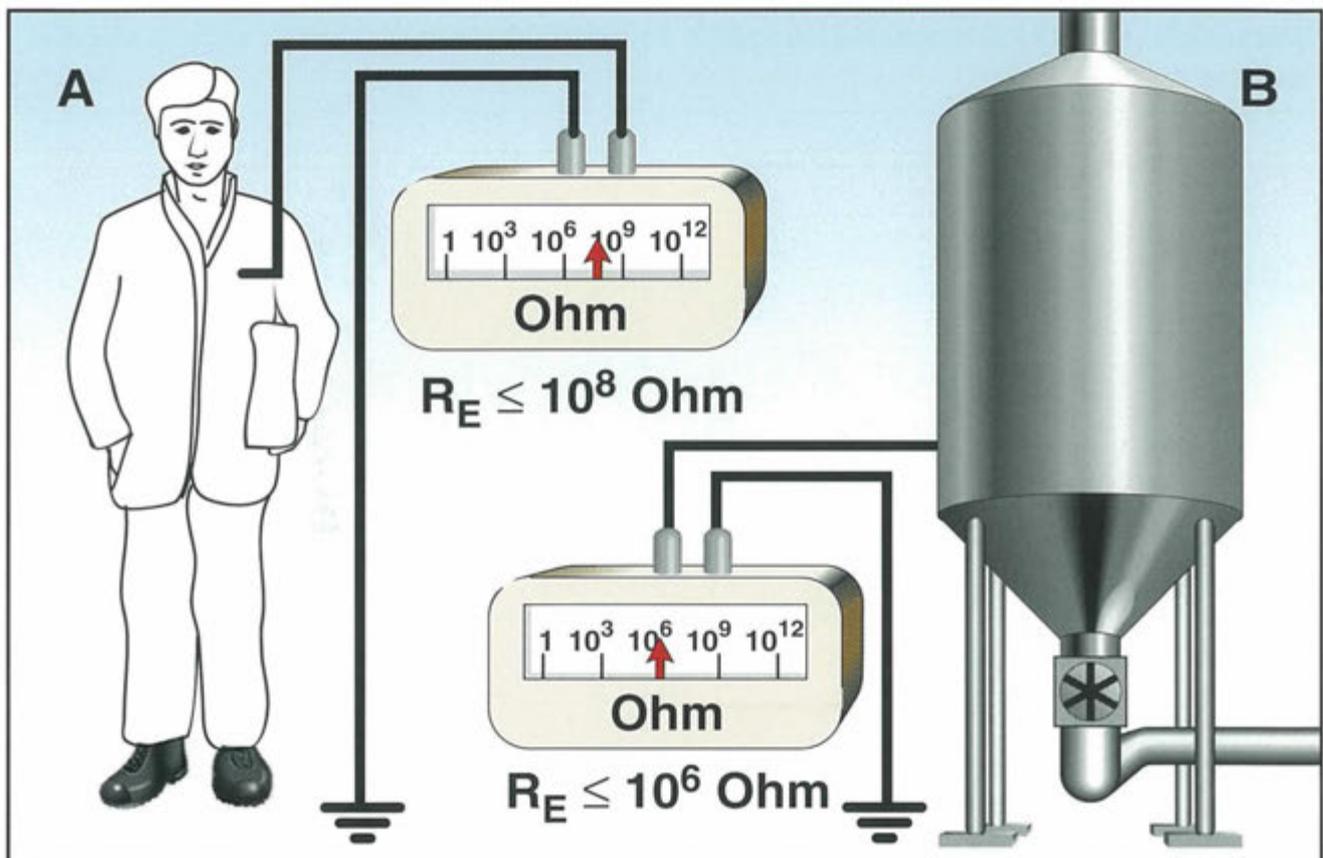


Figura 14: Valori limite superiori della resistenza di dispersione

A: messa a terra di persone B: messa a terra di parti d'impianto

**Le misurazioni della resistenza negli ordini di grandezza utili per valutare i pericoli dell'elettrostaticità richiedono apparecchi speciali e vanno affidate a esperti.**

## Generi di scariche e potere di innesco

Se il campo elettrico raggiunge intensità elevate a seguito di una forte densità di carica (accumulo di cariche in uno spazio limitato), quando viene raggiunta l'intensità di campo disruptiva si verifica una scarica. L'energia liberata dal processo di scarica è determinante per valutare il potere di innesco di una scarica. A seconda della situazione questa energia può essere solo una frazione dell'energia accumulata. Dall'esperienza acquisita e secondo considerazioni teoriche è possibile conoscere a quali condizioni un processo di scarica libera l'intera energia accumulata o solo una frazione di essa.

È possibile individuare diversi generi di scariche a cui possono essere attribuite differenti quantità d'energia e proprietà d'innesco (energie equivalenti), prendendo in considerazione la conducibilità, la forma e l'ubicazione dell'oggetto caricato elettrostaticamente.

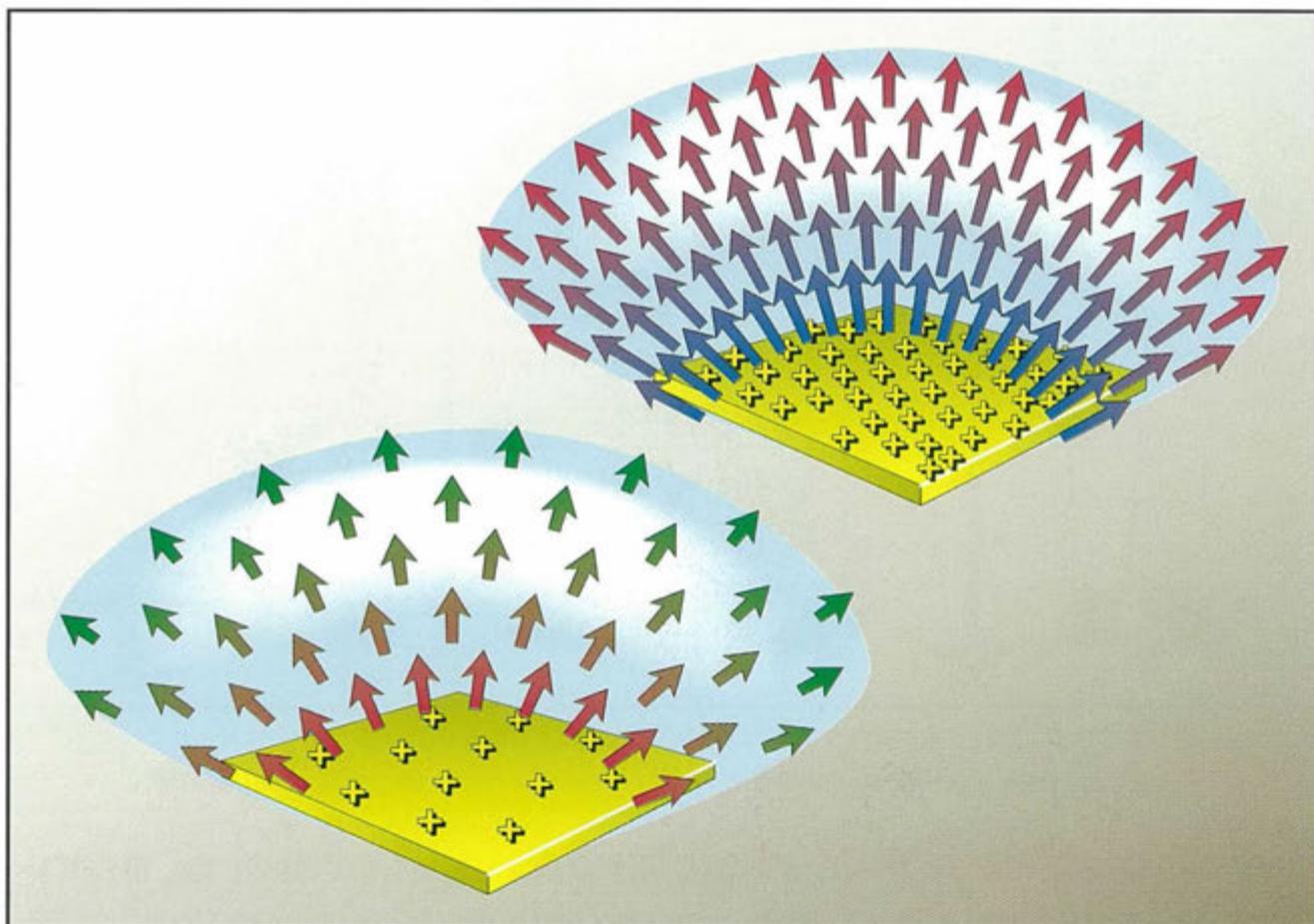


Figura 15: Relazione tra la densità di carica e l'intensità di campo – quanto più alta è la densità di carica, tanto più forte è il campo elettrico (lunghezza delle frecce)

Quando si verifica una scarica?

La scarica si verifica quando il campo elettrico raggiunge l'intensità disruptiva in seguito all'elevata densità di carica spaziale o superficiale (accumulo di cariche).

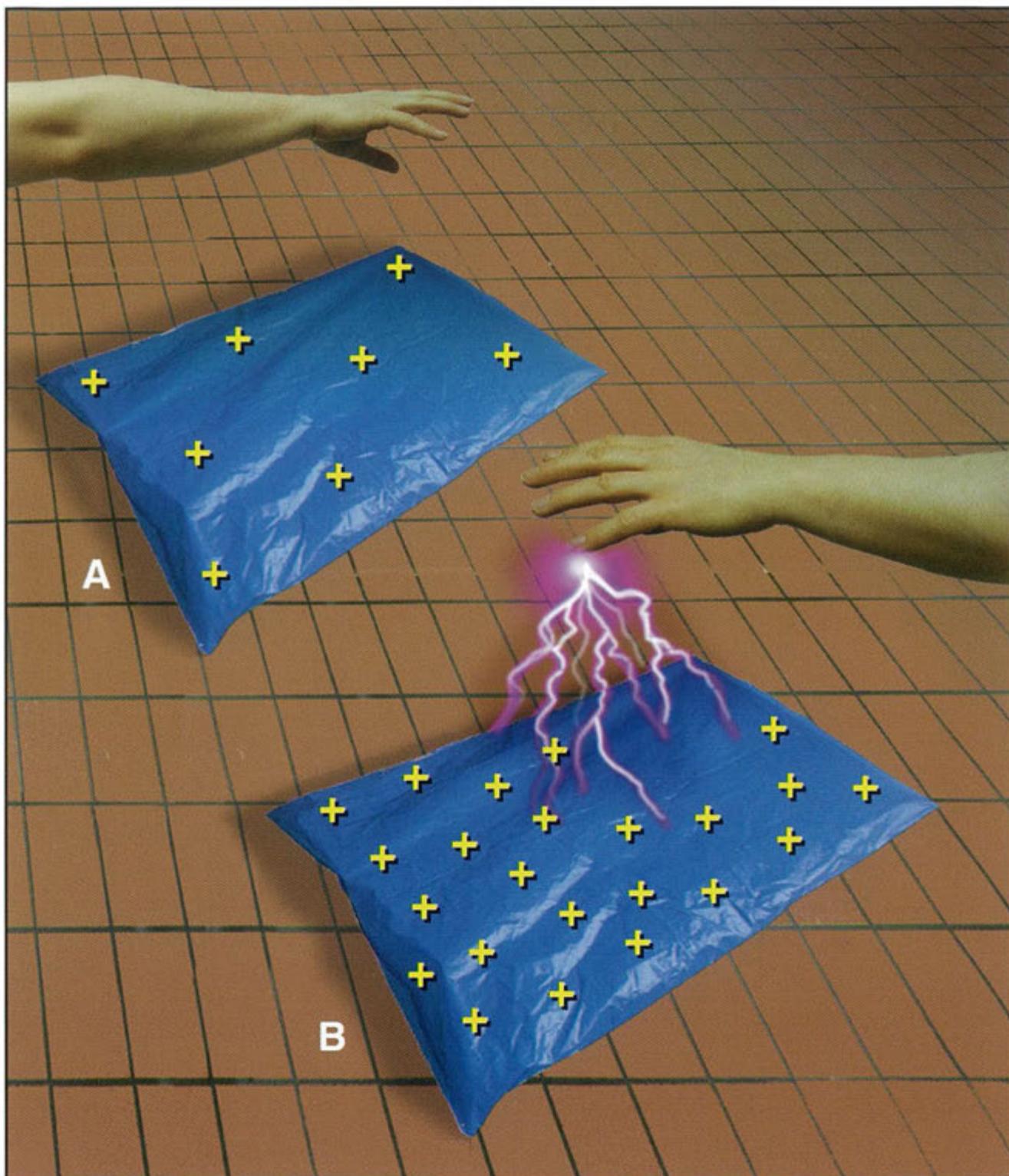


Figura 16: Relazione tra l'intensità di campo e la scarica – A: campo debole ⇔ nessuna scarica B: campo di intensità elevata ⇔ scarica

Quale potere d'innesco ha una scarica?

A seconda della situazione possono verificarsi scariche di differente energia. Il loro potere d'innesco è determinato dalla quantità di energia liberata. Si possono distinguere diversi generi di scariche con differente potere d'innesco.

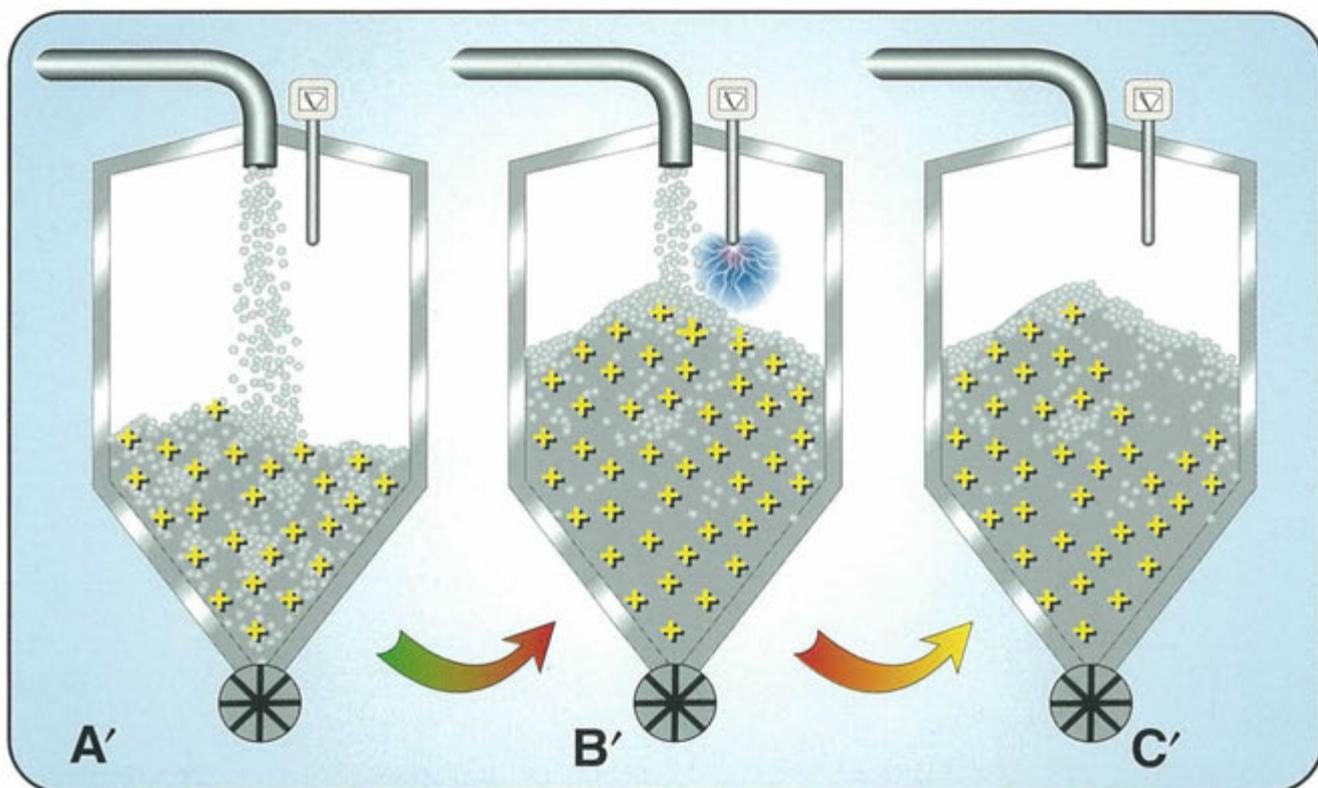
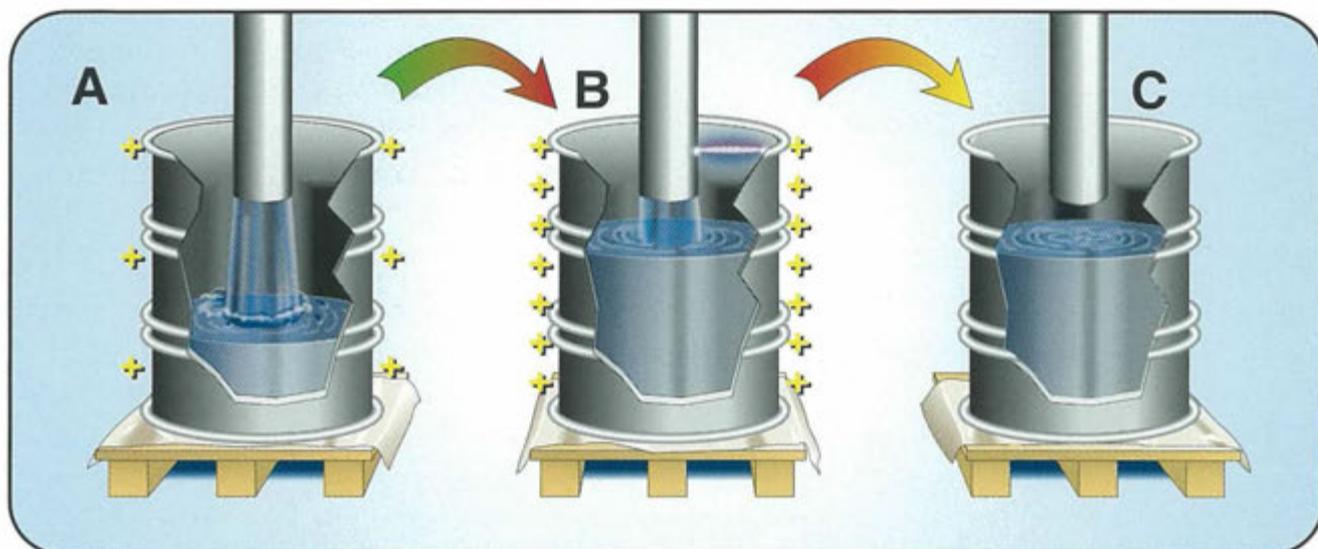


Figura 17: Diversi gradi di scarica da un fusto metallico e da un prodotto isolante in un silo – A: processo di separazione e accumulo di cariche B: scarica disruptiva C: la dispersione delle cariche è completa A': processo di separazione e accumulo di cariche B': scarica ad effluvio C': la dispersione delle cariche si limita ad una piccola zona

**Qual è la sensibilità d'innescò delle miscele esplosibili?**

La possibilità che una miscela esplosibile venga innescata da scariche indotte da cariche elettrostatiche dipende dalla sua energia critica d'innescò.

**Che cosa s'intende per energia critica d'innescò?**

Per energia critica d'innescò di una miscela esplosibile si intende il più basso valore di energia che, in condizioni normali, è capace di innescare una miscela di combustibile ed aria, nelle condizioni di concentrazione considerate.

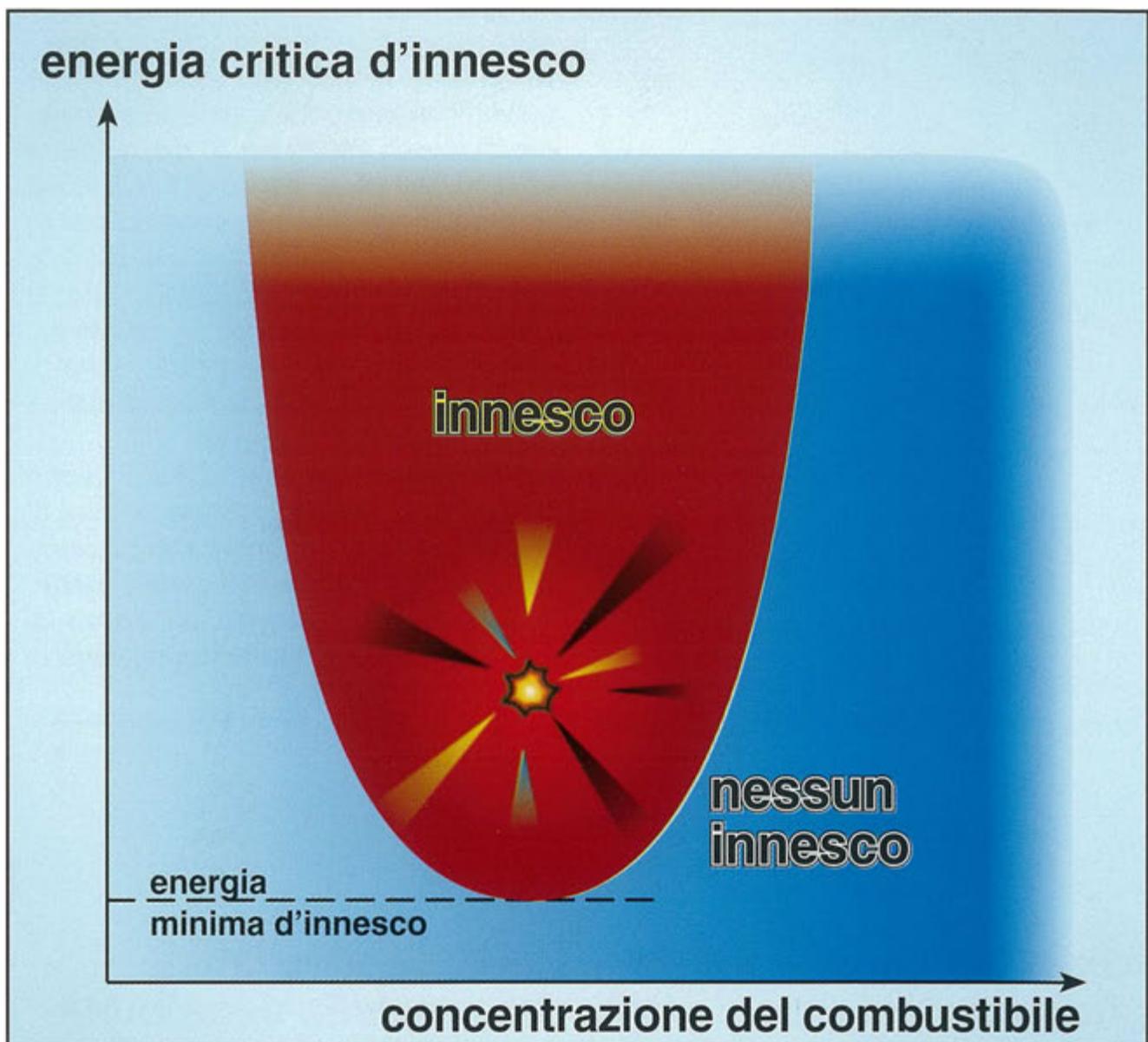


Figura 18: Energia critica d'innescò in funzione della concentrazione del combustibile

**Qual è l'energia minima d'innesco (EMI) delle miscele esplodibili combustibile/aria?**

L'energia minima d'innesco (EMI) è il più basso valore di energia elettrica accumulata in un condensatore che, scaricata in forma di scintilla, è capace di innescare una miscela nelle condizioni ottimali di concentrazione combustibile/aria a condizioni di temperatura e pressione normali. Le miscele vapori di solvente/aria hanno un'energia minima d'innesco attorno a 0,3–1 mJ.

Sostanze molto facilmente innescabili, quali l'acetilene, l'idrogeno e il solfuro di carbonio, se miscelate con aria, hanno valori EMI inferiori a 0,025 mJ.

I valori dell'energia minima d'innesco delle polveri infiammabili hanno un intervallo molto ampio. Non sono poche le polveri che presentano un'energia minima d'innesco inferiore a 10 mJ: talune si trovano persino al disotto di 1 mJ. In via di principio vale la regola secondo cui l'energia minima d'innesco di una miscela polvere/aria è tanto più bassa, quanto più fine e secco è il prodotto, quanto più elevata è la temperatura della nube di polvere e quanto minore è la turbolenza esistente all'interno di essa.

La più piccola aggiunta di gas o vapori infiammabili, anche in concentrazioni al di sotto del limite inferiore d'esplosione della relativa miscela gas o vapore/aria, può abbassare l'energia d'innesco di una miscela polvere/aria (formazione di una miscela ibrida).

**L'energia minima d'innesco è la caratteristica più importante per la descrizione della sensibilità d'innesco di una miscela esplodibile riguardo alla fonte d'innesco «elettricità statica».**

**Qual è l'efficacia d'innesco delle scariche?**

L'efficacia d'innesco di una scarica relativa a una miscela esplosibile è determinata dall'energia critica d'innesco della miscela e dal potere d'innesco (energia liberata) della scarica.

**Quali generi di scariche si conoscono?**

I generi di scariche osservati finora nella pratica sono:

- scarica disruptiva (anche distruttiva)
- effluvio
- effetto corona
- scarica a pennacchio
- scarica da cono di accumulo di materiale (cono di deiezione)

Sono altresì ipotizzabili scariche simili a fulmini di temporali, analoghe a quelle osservate anche nelle nubi di cenere emanate dalle eruzioni vulcaniche, benché fino ad ora non si sia potuto dimostrare che questa forma di scarica sia presente in nubi di polvere generate industrialmente.

Genere di scarica	Efficacia come fonte d'innesco per miscele d'aria e di		
	idrogeno, acetilene ecc. EMI ≤ 0,025 mJ	vapori di solvente EMI > 0,025 mJ	polveri infiammabili asciutte EMI > 1 mJ
scarica disruptiva	+	+	+
effluvio	+	+	(-) <sup>1)</sup>
scarica a pennacchio	+	+	+
effetto corona	(+)	-	-
scarica da cono di accumulo di materiale	+	+	+

<sup>1)</sup> Non è escluso l'innesco di polveri estremamente sensibili.

Tabella 1: Efficacia d'innesco di diverse scariche elettrostatiche

**Che cosa si intende per scarica disruptiva?**

La scarica disruptiva, detta anche distruttiva, è quella scarica che si innesca tra due conduttori, quando la differenza di potenziale ad essi applicata supera un certo valore (potenziale esplosivo o disruptivo), vincendo la rigidità del dielettrico interposto.



*Figura 19: Scarica disruptiva (foto)*

**Quali sono i casi pratici di scariche disruptive?**

Le scariche disruptive accadono di solito quando oggetti conduttori (parti di impianti, recipienti, prodotti, persone, ecc.) che non sono stati messi a terra si caricano, ed esiste contemporaneamente un percorso adeguato per la scarica. Quest'ultima condizione è data, per esempio, quando un altro oggetto conduttore e messo a terra si trova nell'immediata vicinanza così che nello spazio intermedio viene superata l'intensità di campo disruptiva.

Le scariche disruptive possono verificarsi, per esempio:

- su tubi conduttori isolati mediante guarnizioni;
- su persone che calzano scarpe isolanti;
- su recipienti metallici appoggiati su una superficie isolante;
- su liquidi conduttori contenuti in un recipiente di plastica isolante.

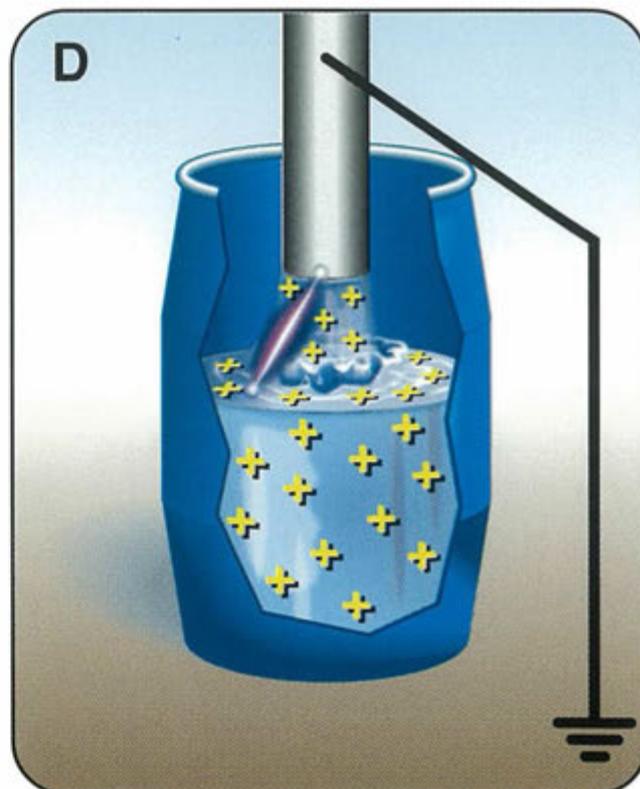
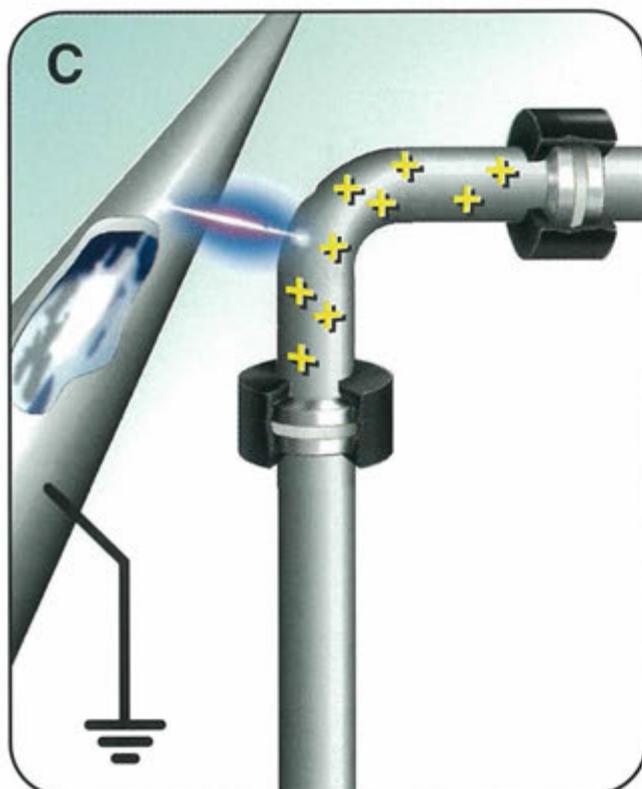
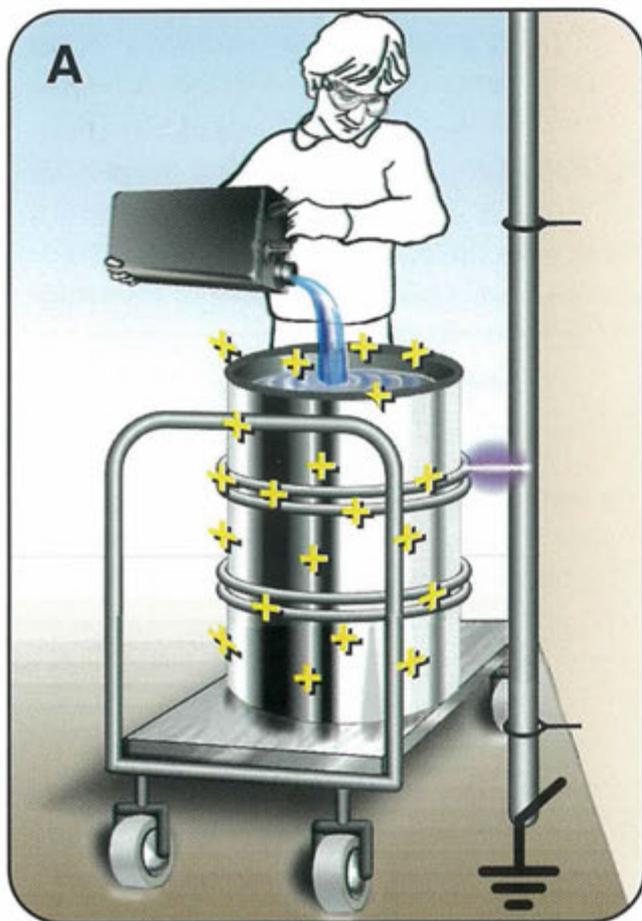


Figura 20: Esempi di casi pratici di scariche disruptive – A: fusto metallico isolato da terra B: persona isolata da terra (scarpe isolanti) C: tubo a gomito isolato mediante guarnizioni D: liquido conduttore isolato mediante il fusto di plastica

**Qual è il potere d'innesco delle scariche disruptive?**

A seguito della scarica disruptiva viene praticamente liberata l'intera energia accumulata sull'oggetto caricato. Quindi l'energia di scarica  $W$  corrisponde all'energia accumulata che può essere calcolata dalla capacità  $C$  e dal potenziale  $U$  dell'oggetto caricato (condensatore) secondo la formula

$$W = \frac{1}{2} C \cdot U^2$$

Le scariche disruptive devono perciò essere considerate capaci di innescare miscele esplosibili gas/aria, vapori/aria e polveri/aria.

<b>oggetto carico</b>	<b>capacità C [pF]</b>	<b>potenziale U [kV]</b>	<b>energia W [mJ]</b>
<b>flangia</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0,5</b>
<b>recipiente (50 l)</b>	<b>50</b>	<b>8</b>	<b>2</b>
<b>persona</b>	<b>150</b>	<b>12</b>	<b>11</b>
<b>fusto metallico (200 l)</b>	<b>200</b>	<b>20</b>	<b>40</b>

Tabella 2: Valori tipici dell'energia di scariche disruptive

**Come evitare le scariche disruptive?**

Le scariche disruptive possono essere evitate con la messa a terra di tutti gli oggetti conduttori (elementi degli impianti, recipienti, prodotti, persone, ecc.).

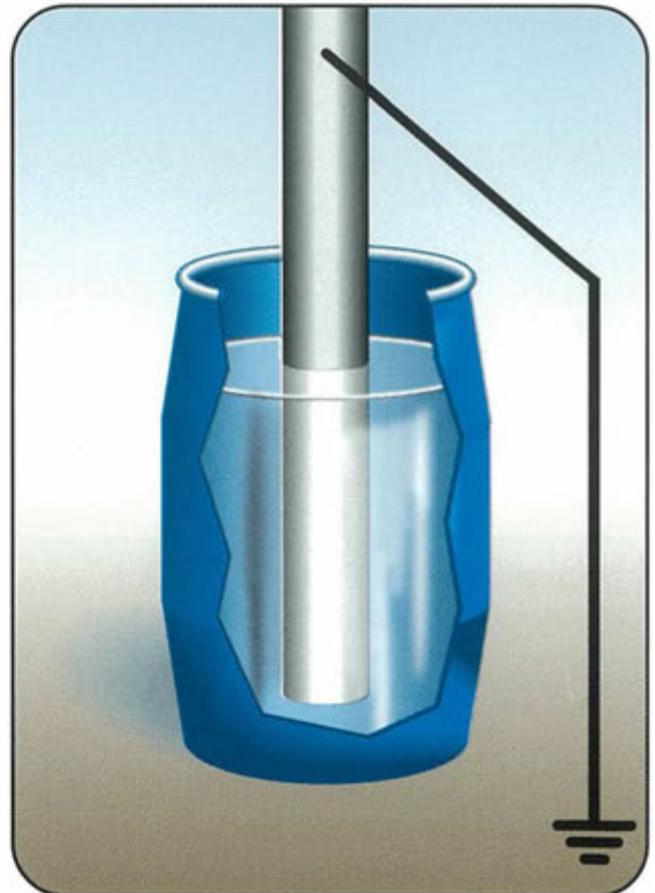
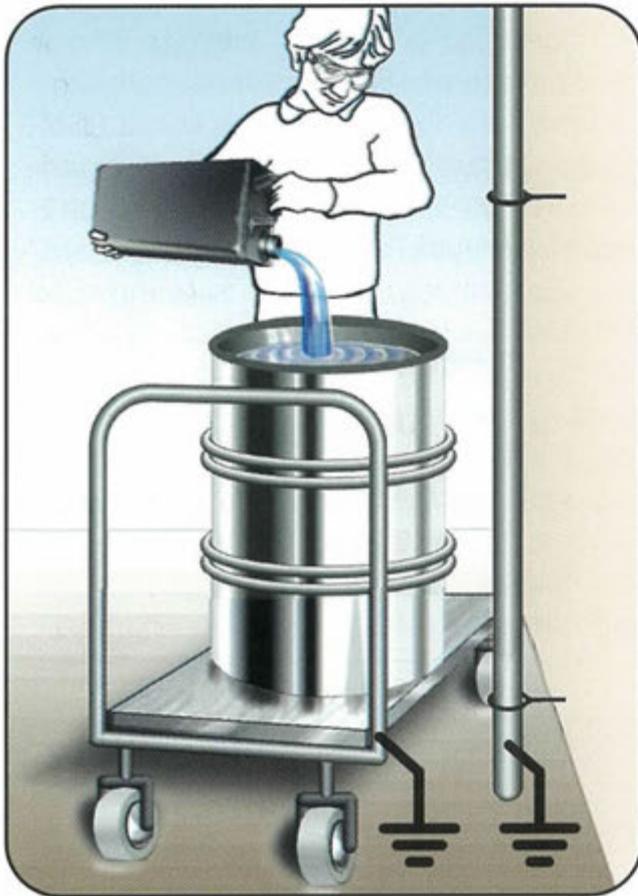


Figura 21: Esempi di come evitare scariche disruptive mettendo a terra tutti gli elementi e i prodotti conduttori (vedi figura 20)

### Che cosa si intende per effluvio?

È una forma di scarica elettrica che si verifica quando una superficie conduttrice, messa a terra e di forma curva (elettrodo) con un raggio di curvatura preferibilmente da 5 fino a 50 mm, viene esposta a un elevato campo elettrico generato, per esempio, da una superficie ad elevata carica elettrostatica di una sostanza non conduttrice. La scarica si propaga nello spazio a partire dal punto della massima curvatura (massima intensità di campo) sotto forma di un canale di scarica a bagliore che si dirama finemente una volta raggiunta una lunghezza di più millimetri.

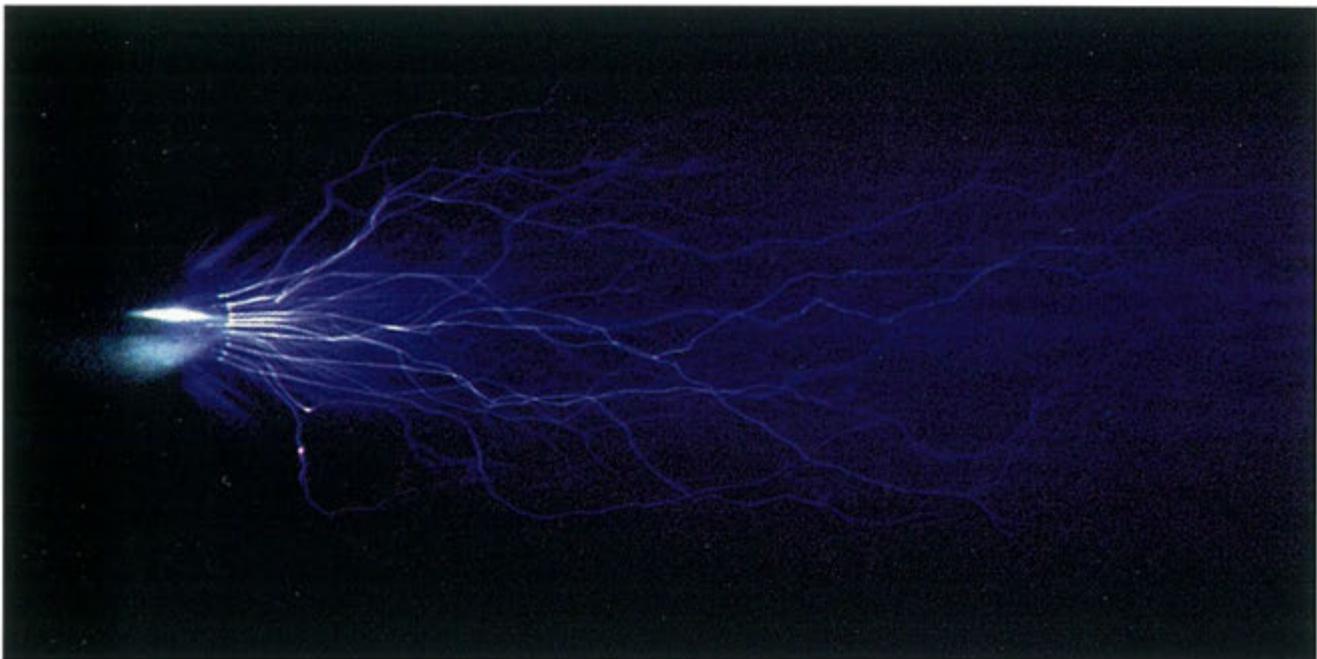


Figura 22: Effluvio (foto)

### Quando capitano in pratica le scariche a effluvio?

Il verificarsi di una scarica a effluvio è fondamentalmente indipendente dal modo in cui viene generato il campo elettrico. Tipici esempi pratici sono:

- avvicinamento di un elettrodo conduttore, quale un attrezzo o la punta delle dita, a una superficie isolante a carica elevata (per es. condotta di plastica per il trasporto di liquidi o polveri,

sacco di plastica, recipiente di plastica, tubo filtrante, srotolamento di fogli di plastica o nastro trasportatore);

- svuotamento di sostanze solide da un sacco di plastica o scuotimento di un sacco di plastica nelle vicinanze di infrastrutture metalliche (per es. in corrispondenza del boccaporto o altra apertura per il carico del materiale in un reattore);
- travaso ad alta velocità di un liquido di bassa conducibilità in una cisterna e avvicinamento della superficie del liquido, che si è caricato elettrostaticamente, alle strutture interne conduttrici della cisterna;
- prelievamento di campioni: l'avvicinamento di un campionatore, conduttore e messo a terra, ad un liquido sulla cui superficie si sono create cariche elettrostatiche elevate;
- presenza di strutture, conduttrici e messe a terra, in una nube di polvere o di goccioline nella quale si sono create cariche elettrostatiche elevate;
- introduzione di un prodotto isolante, in forma pulverulenta, in recipienti, contenitori o sili: avvicinamento del cono di materiale con carica elettrostatica elevata alle strutture interne, oppure immersione di un campionatore, conduttore e messo a terra, o di una sonda per determinare il livello del contenuto;
- presenza di aste per bandiere, alberi di natanti, antenne o piccozze in campi atmosferici intensi (fuoco di Sant'Elmo – ossia effluvio elettrico o anche effetto corona – in caso di temporali).

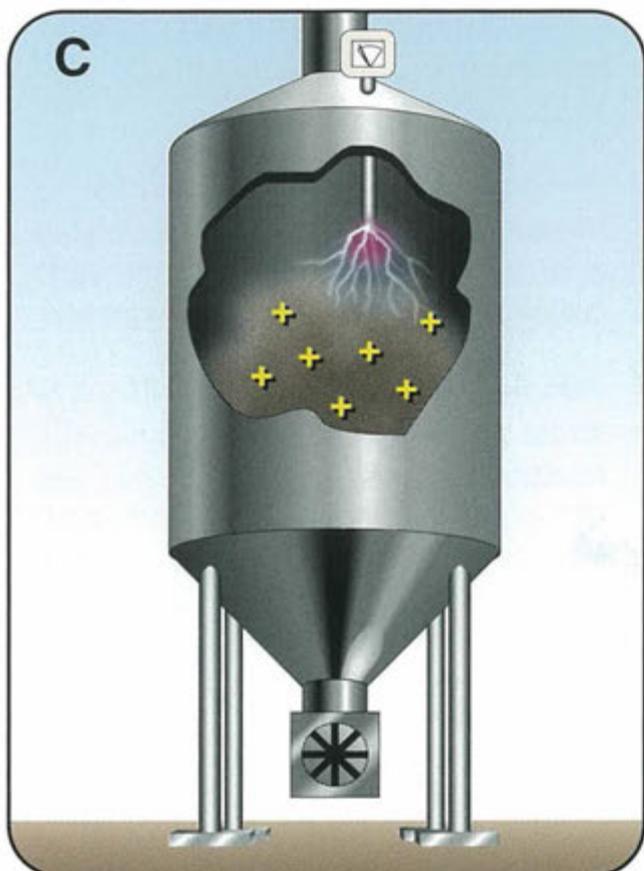
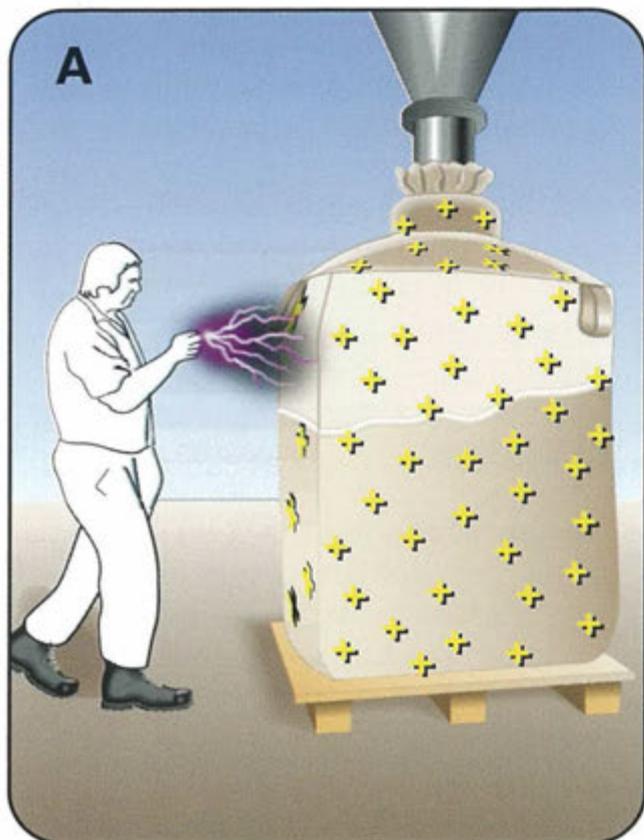


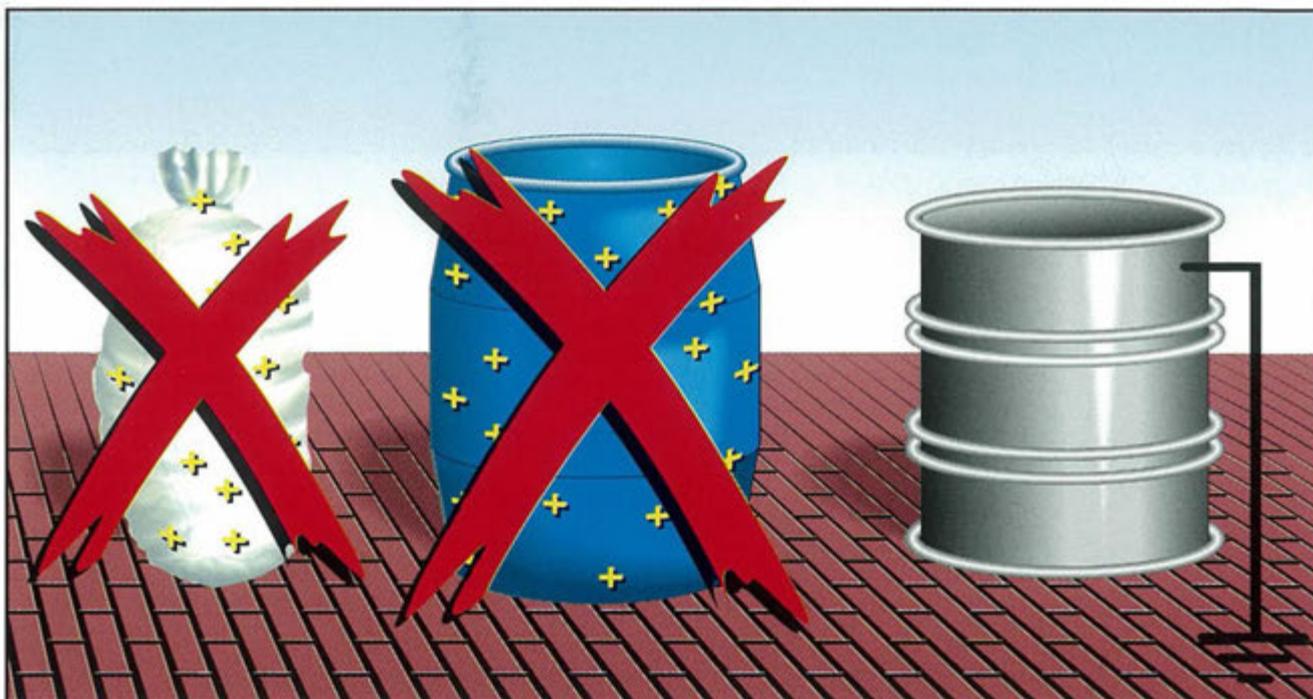
Figura 23: Esempi pratici di scariche ad effluvio dovute a – A: un contenitore per materiale in polvere caricato elettrostaticamente B: un liquido isolante caricato C: una nube di polvere caricata D: una nube temporalesca caricata.

**Qual è il potere d'innesco delle scariche ad effluvio?**

Si rivela oltremodo difficile stabilire l'energia che si sprigiona dai fenomeni d'effluvio. I valori delle misurazioni per l'energia equivalente, determinata in un mezzo gassoso, sono di alcuni mJ. Secondo lo stato attuale delle conoscenze risulta in genere improbabile che i fenomeni d'effluvio elettrico possano innescare miscele di polvere/aria. L'innesco di polveri estremamente sensibili non può però essere escluso con sicurezza. Diversa è invece la situazione nel caso di miscele di gas/aria o vapore/aria: le scariche a effluvio possono innescare dette miscele.

**Come evitare le scariche a effluvio?**

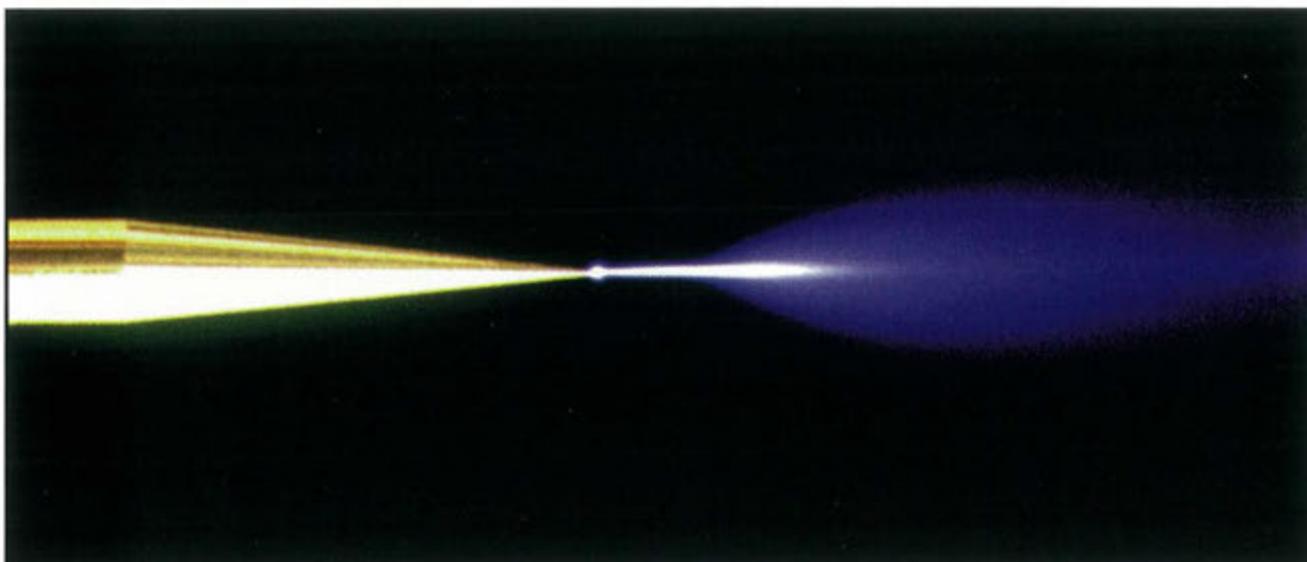
I fenomeni d'effluvio possono essere evitati se si riesce ad escludere la formazione di campi elettrici intensi. A questo scopo si può, per esempio, usare materiali conduttori con appropriata messa a terra, limitare la superficie degli oggetti non conduttori oppure adottare misure di schermatura.



*Figura 24: Usare recipienti conduttori con messa a terra (e non sacchi o fusti di plastica) per evitare scariche ad effluvio*

**Che cosa si intende per effetto corona?**

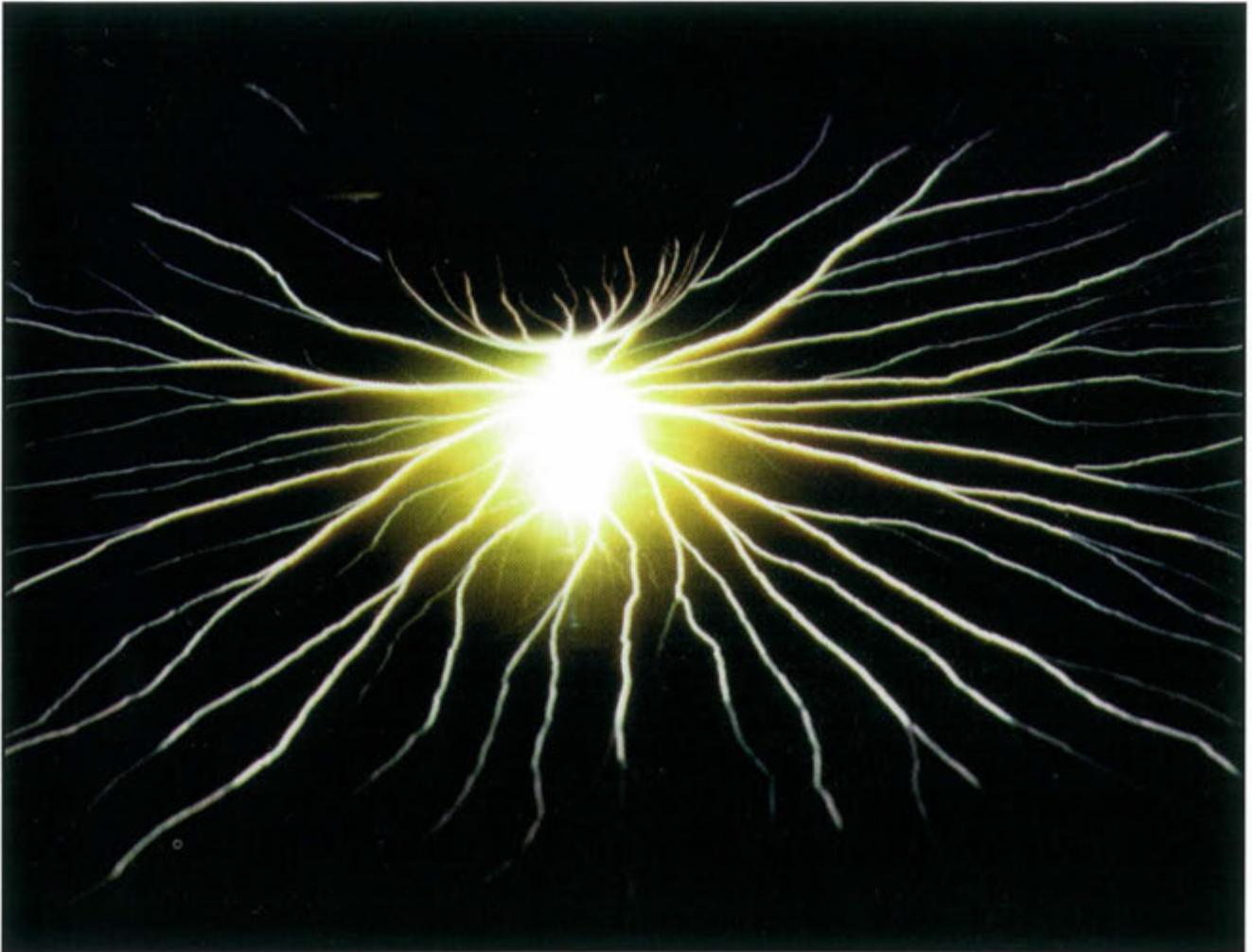
L'effetto corona (detto anche scarica dalle punte) è un caso particolare di effluvio. Se il raggio di curvatura degli elettrodi messi a terra, posti in un campo elettrico intenso, è molto piccolo ( $<1$  mm), il campo elettrico viene concentrato solo nella immediata vicinanza delle punte. Ne consegue una scarica debolissima che è limitata allo spazio direttamente attorno alle punte e che ha quasi sempre un decorso continuo. Non si ritiene opportuno entrare in dettaglio sull'effetto corona, dato che nelle stesse condizioni possono verificarsi scariche a effluvio molto più ricche d'energia.



*Figura 25: Effetto corona (foto)*

**Che cosa si intende per scarica a pennacchio?**

È una forma di scarica lungo la superficie di un sottile strato dielettrico (isolante) caricato ad alta intensità e con segni contrapposti su ambedue i lati. Lo strato dielettrico può esistere in forma di parete autoportante o in forma di rivestimento di una superficie metallica.



*Figura 26: Scarica a pennacchio (foto)*

## Quando capitano in pratica le scariche a pennacchio?

Sono necessari accumuli di cariche elettrostatiche dovuti a processi di separazione ad alta velocità e a materiali ad alta resistenza dielettrica, come quelli, per esempio, che si verificano durante le seguenti operazioni :

- trasporto pneumatico di polvere ad alta velocità attraverso tubazioni isolanti o tubazioni conduttrici provviste di rivestimento interno isolante;
- trasporto di liquidi isolanti ad alta velocità attraverso tubazioni isolanti o tubazioni conduttrici provviste di rivestimento interno isolante;
- rimbalzo di particelle di polvere che si susseguono continuamente sulla stessa superficie dell'isolatore o su una piastra metallica rivestita con materiale isolante (per es. all'interno di separatori di polvere o sul parabrezza di un aeroplano che vola attraverso una nuvola contenente particelle di ghiaccio o polvere);
- scorrimento veloce di nastri trasportatori o cinghie di trasmissione isolanti o rivestiti solo su un lato con materiale elettricamente conduttore;
- riempimento di contenitori e sili isolanti con prodotti non conduttori, aventi elevate cariche elettrostatiche.

I processi di separazione provocati manualmente (per es. strofinamento di superfici isolanti, svuotamento di polvere da un sacco di plastica) non sono normalmente sufficienti per provocare densità elettriche superficiali tali da generare scariche a pennacchio.

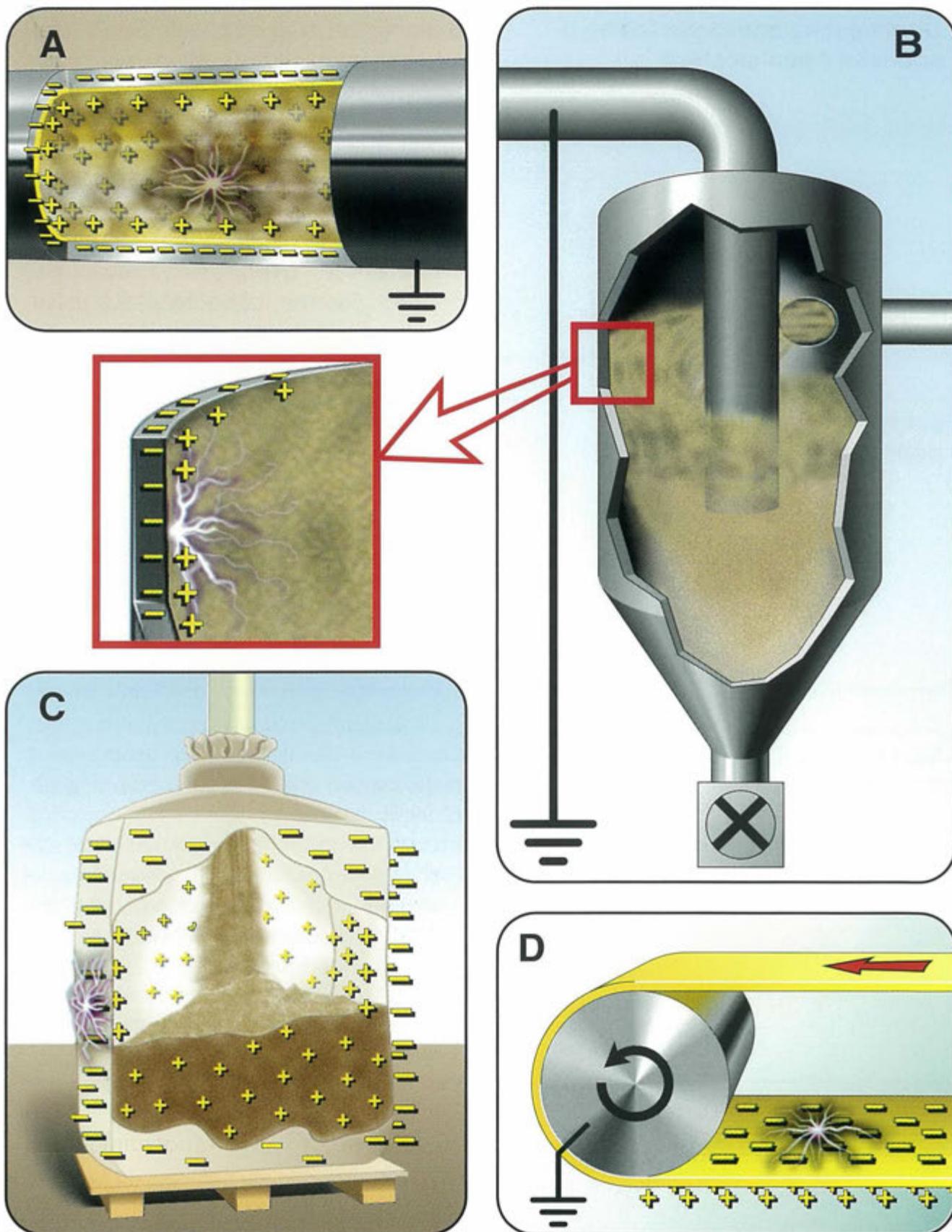


Figura 27: Esempi pratici di scariche a pennacchio  
 A: in una tubazione con rivestimento interno isolante  
 B: in un separatore di polvere con rivestimento interno isolante  
 C: su un contenitore in materiale isolante  
 D: su un nastro trasportatore isolante che scorre veloce

**Quale potere d'innescò hanno le scariche a pennacchio?**

È una forma di scarica elettrica che libera una gran parte dell'energia totale accumulata. L'energia accumulata può essere calcolata secondo le formule valide per un condensatore a piastre e può raggiungere alcuni Joule già per superfici di 0,1 m<sup>2</sup> caricate elettricamente. Si deve quindi prevedere che le scariche a pennacchio inneschino miscele gas/aria, solvente/aria e polvere/aria.

**Come evitare le scariche a pennacchio?**

Questa forma di scarica può essere evitata facendo uso di sostanze conduttrici o sostanze a bassa resistenza dielettrica. Possono essere accettati strati isolanti (come rivestimento di una superficie metallica o come parete autoportante) con una tensione disruptiva inferiore a 4 kV: su questi strati d'isolamento non si verificano scariche a pennacchio.

**Sono possibili anche altre forme d'innescò?**

Durante il riempimento di grandi sili e cisterne con materiali sfusi ad alto potere isolante (per es. stoccaggio pneumatico di polimeri) sono stati constatati singoli casi di scariche sulla superficie del materiale sfuso, le cosiddette scariche da cono di accumulo (o scariche da cono di deiezione). Per valutare la formazione e il potere d'innescò di queste scariche occorre possedere conoscenze tecniche specifiche.

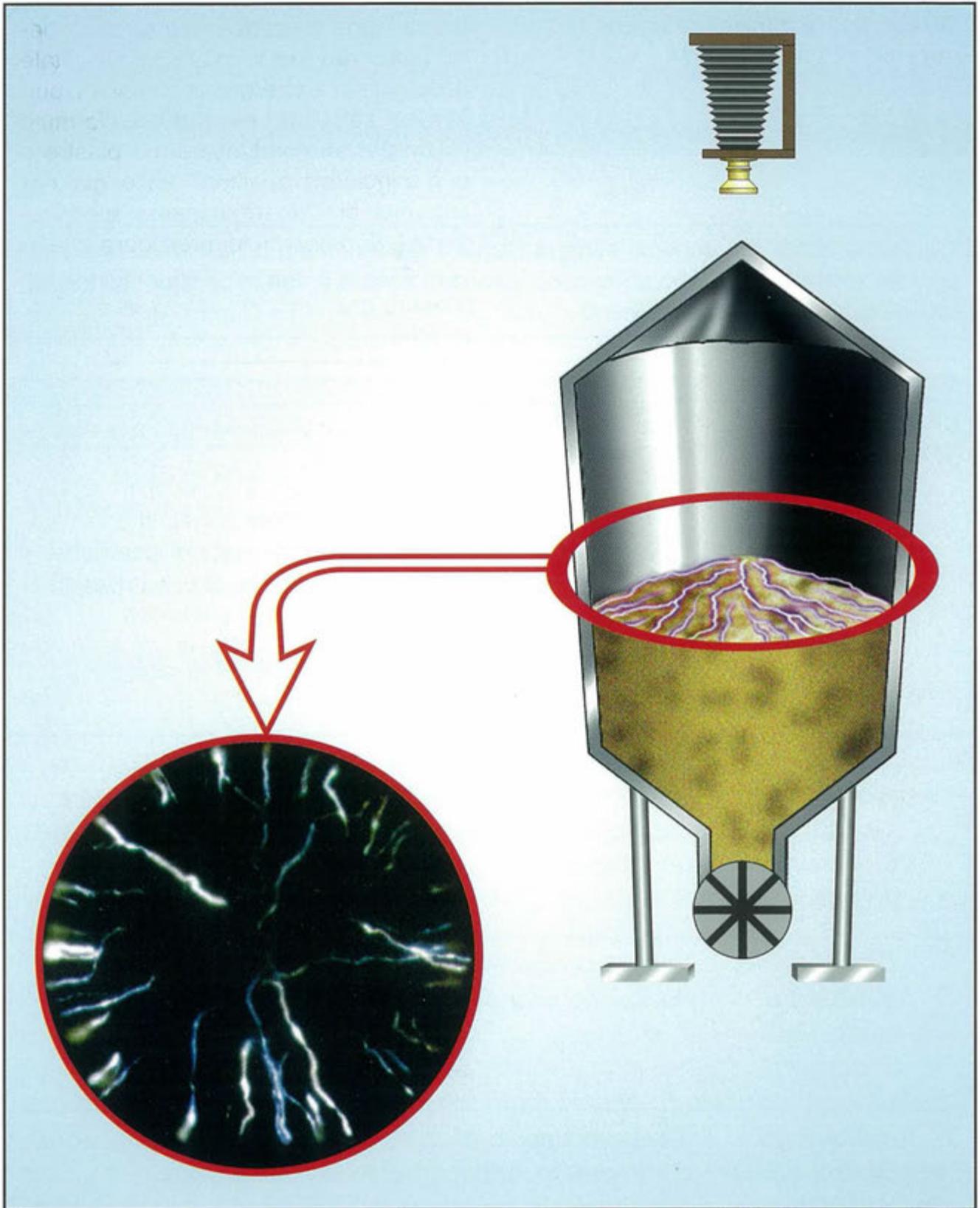


Figura 28: Scarica da cono di accumulo di materiale (foto)

# Misure contro i pericoli d'innescio dovuti a cariche elettrostatiche

Conformemente allo schema sempre identico dei fenomeni dalla formazione delle cariche elettrostatiche fino all'innescio, possono essere prese in considerazione differenti categorie di provvedimenti.

Obiettivo	Provvedimenti
<b>Evitare cariche elevate</b> (Figura 29)	Mantenere bassa la velocità di accumulo delle cariche limitando le velocità di separazione e trasporto. Favorire la dispersione non pericolosa delle cariche usando materiali conduttori e ricorrendo alla messa a terra. Neutralizzare la carica usando ionizzatori attivi o passivi.
<b>Evitare scariche capaci di innescare</b> (Figura 30)	Giudicare il potere d'innescio delle possibili scariche e la sensibilità d'innescio delle possibili miscele esplodibili. Escludere le scariche in grado di causare un innescio.
<b>Evitare atmosfere esplodibili</b> (Figura 31)	Evitare concentrazioni esplodibili di combustibile riducendo il tenore d'ossigeno (inertizzazione).
<b>Limitare gli effetti dell'esplosione in modo da renderli il meno distruttivi possibile</b> (Figura 31)	Misure di tipo costruttivo, p. es. sfogo della pressione d'esplosione, soffocamento dell'esplosione.

Tabella 3: Provvedimenti di protezione

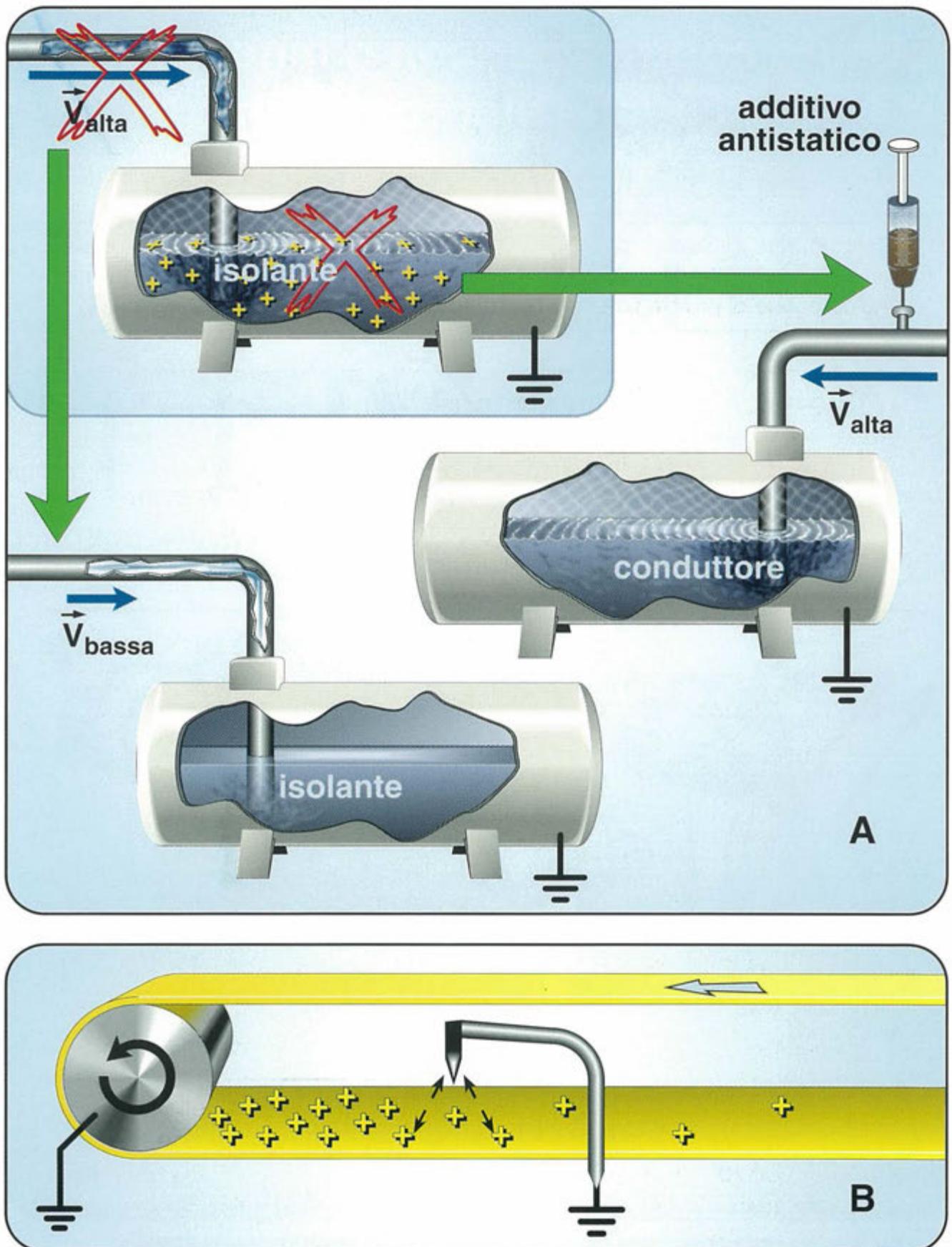


Figura 29: Esempi pratici per evitare cariche elevate  
 A: nel caso di liquidi isolanti: aumentare la conducibilità aggiungendo un additivo antistatico, oppure limitare la velocità del flusso  
 B: nel caso di superfici di solidi isolanti: neutralizzare la carica

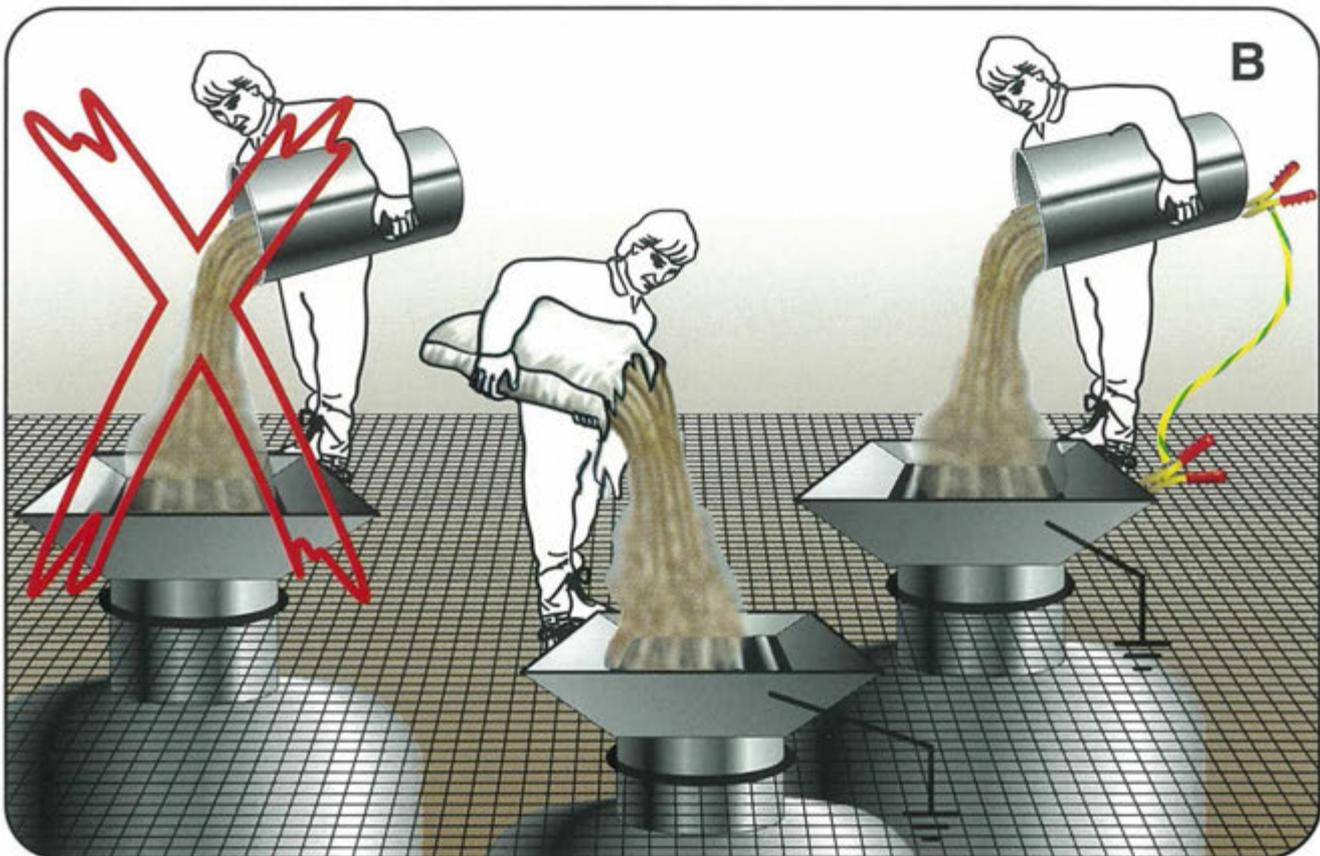
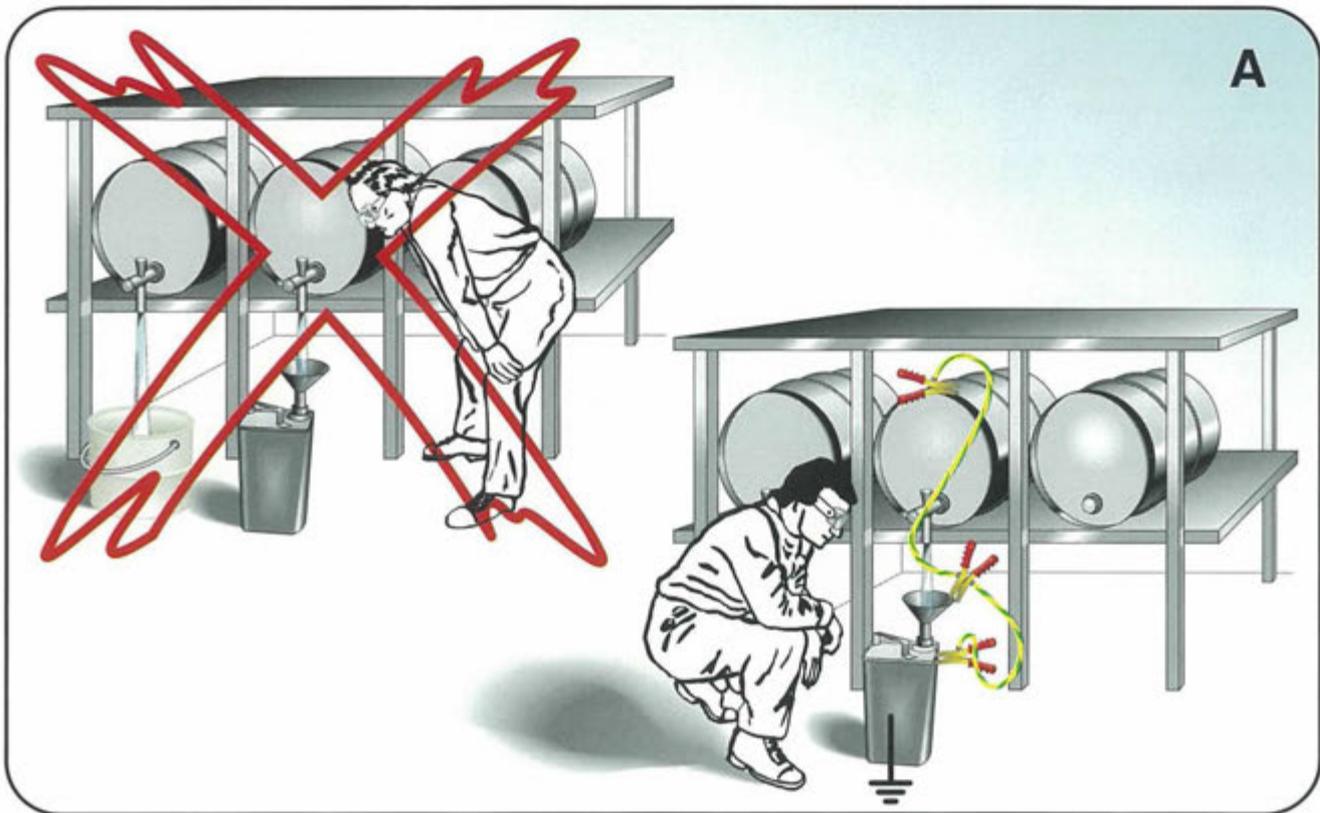


Figura 30: Esempi pratici per evitare scariche capaci di produrre un innesco  
 A: travaso di liquidi infiammabili: usare solo recipienti conduttori e ricorrere alla messa a terra B: travaso di polveri infiammabili: mettere a terra tutti i conduttori; recipienti di plastica piccoli (sacchi, fusti) sono ammissibili se non vi sono gas né vapori infiammabili

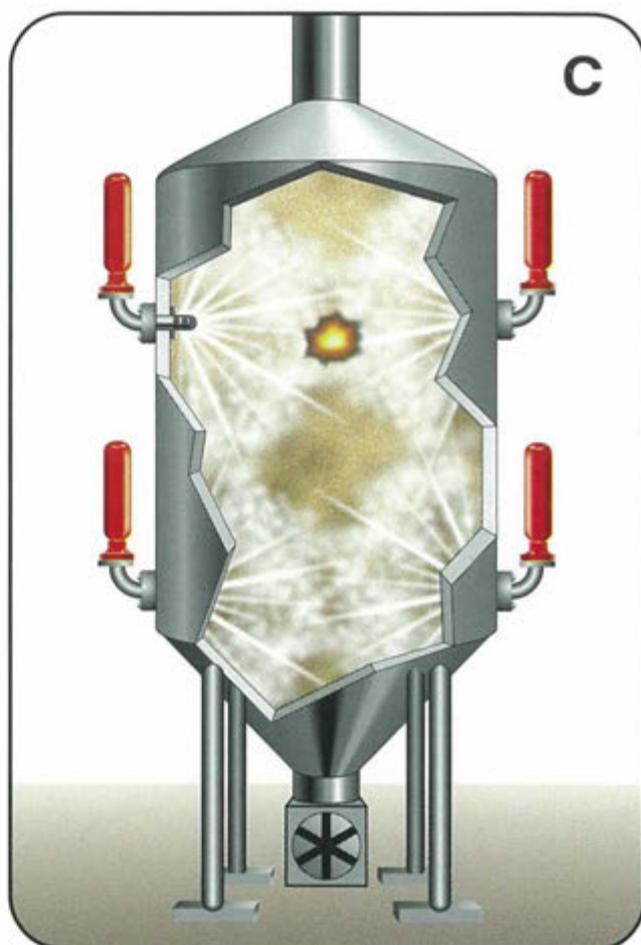
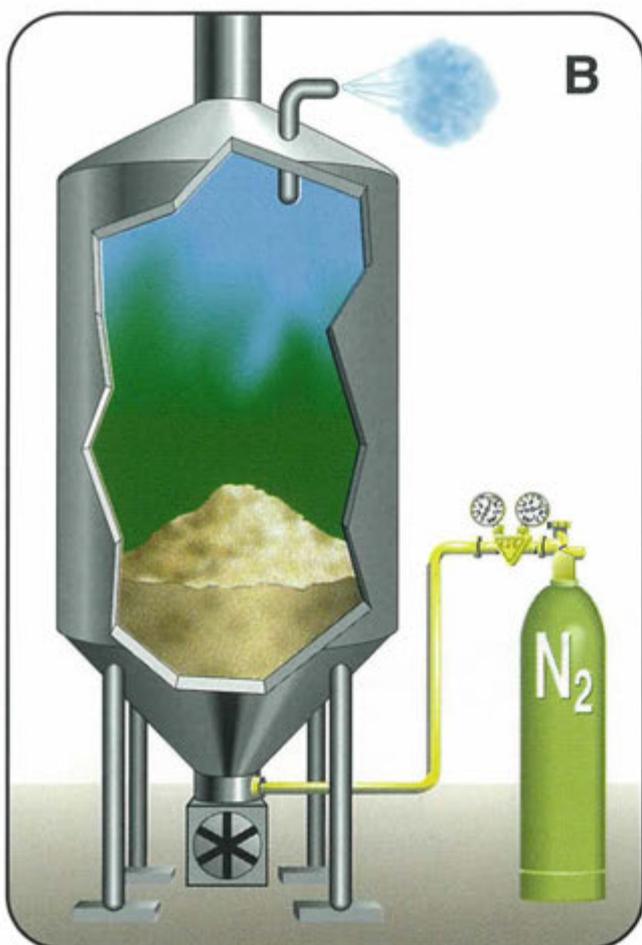
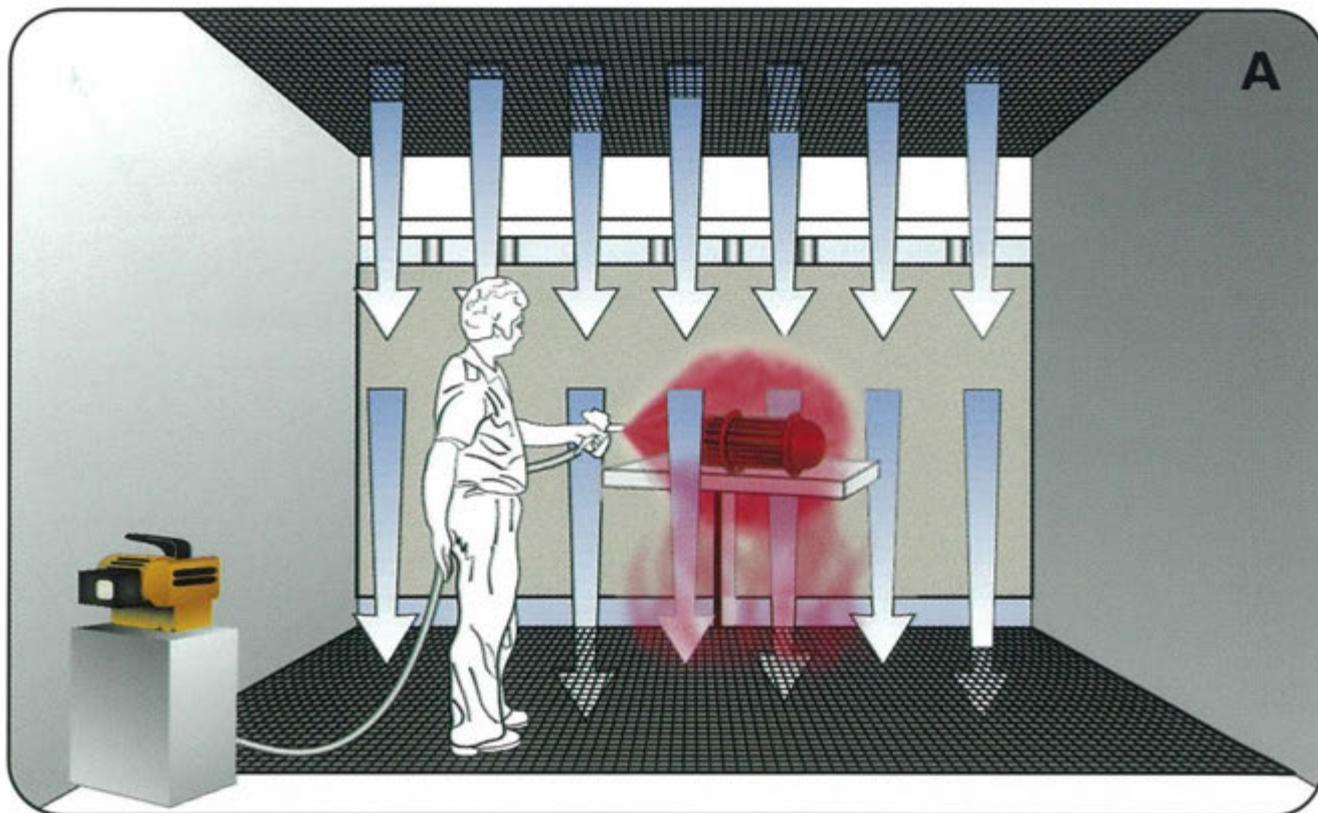
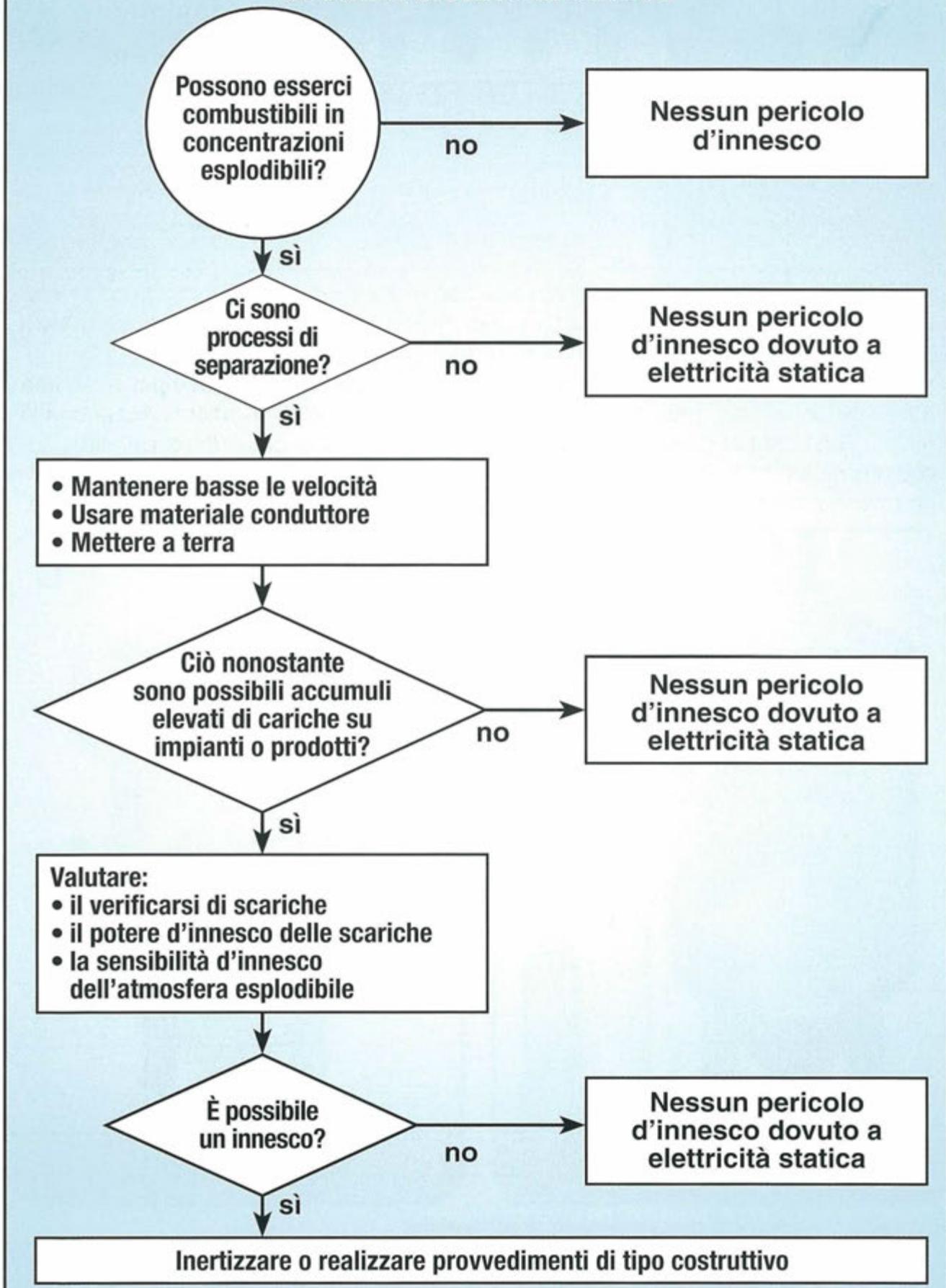


Figura 31: Esempi di provvedimenti di protezione

- evitare atmosfere esplosibili: – A: ventilare B: inertizzare
- misure di tipo costruttivo: – C: soffocamento dell'esplosione

## Schema decisionale per valutare i pericoli d'innescio dovuti a elettricità statica



# Maneggio di liquidi e gas infiammabili

Per valutare esattamente i pericoli dovuti a gas e liquidi infiammabili e i provvedimenti da adottare occorre conoscere le proprietà delle sostanze, quali la conducibilità e il punto d'infiammabilità (dei liquidi) come pure l'energia minima d'innescò.

Le raccomandazioni generali riportate di seguito servono da esempio su come affrontare in pratica i pericoli d'innescò dovuti a cariche elettrostatiche. Accanto alle misure illustrate nel presente opuscolo, esiste la possibilità di adottare, per situazioni speciali, altre misure protettive o ricorrere a provvedimenti aggiuntivi. Non si ritiene opportuno citare valori limite, in quanto essi possono differire da paese a paese.

**Maneggiando liquidi infiammabili in presenza di aria, a temperature superiori al punto di infiammabilità, bisogna sempre presumere l'esistenza di miscele esplodibili.**

## Quando e in che modo si crea pericolo?

- I liquidi infiammabili possono formare miscele esplosibili vapori/aria, sempre che la temperatura non sia sufficientemente al di sotto del punto di infiammabilità (vedi opuscolo AISS «Esplosioni di gas»).
- I liquidi infiammabili, quando vengono nebulizzati (nebbia di goccioline), possono creare un'atmosfera esplosibile anche a una temperatura inferiore al punto di infiammabilità del liquido.
- I gas infiammabili possono generare miscele esplosibili gas/aria (vedi figura 2).
- I liquidi in fase di scorrimento, travaso, miscelazione e nebulizzazione, possono accumulare su sé stessi o su elementi di impianti, recipienti, ecc. elevate cariche elettrostatiche (vedi figura 32).

L'aggiunta di quantità minime di sostanze solide insolubili (sospensioni) o di liquidi non miscelabili (emulsioni) può generare sul liquido cariche elettrostatiche oltremodo elevate (vedi figura 33).

I gas puri scorrendo non si caricano. In pratica però i gas contengono spesso come impurità particelle o goccioline capaci di caricarsi (vedi figura 34).

A causa di processi secondari (per es. il camminare, lo strofinamento della superficie di un isolatore, il movimento che compie un nastro trasportatore) possono generarsi cariche di alta entità (vedi figura 8 e 35).

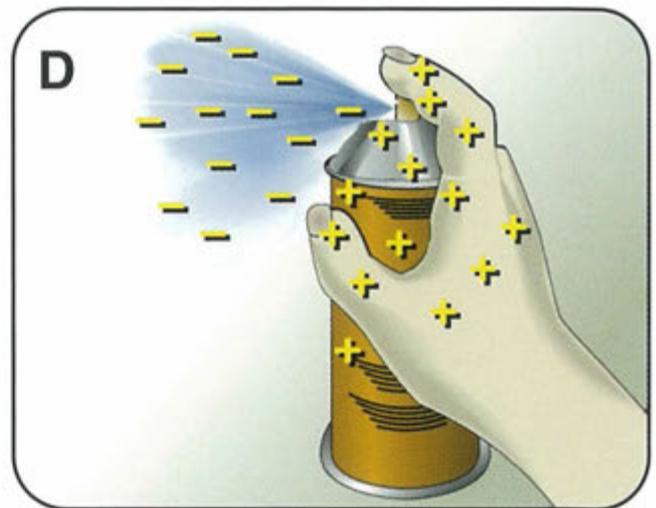
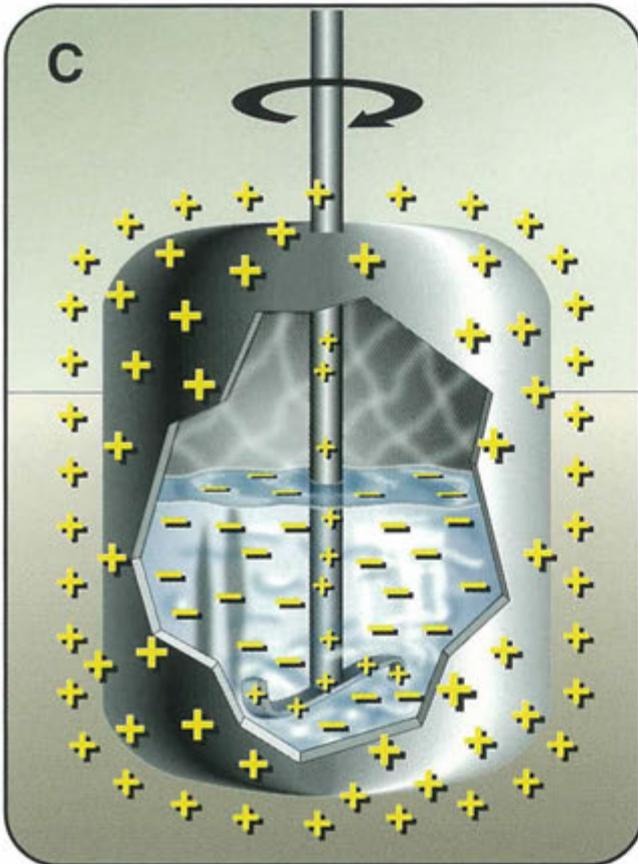
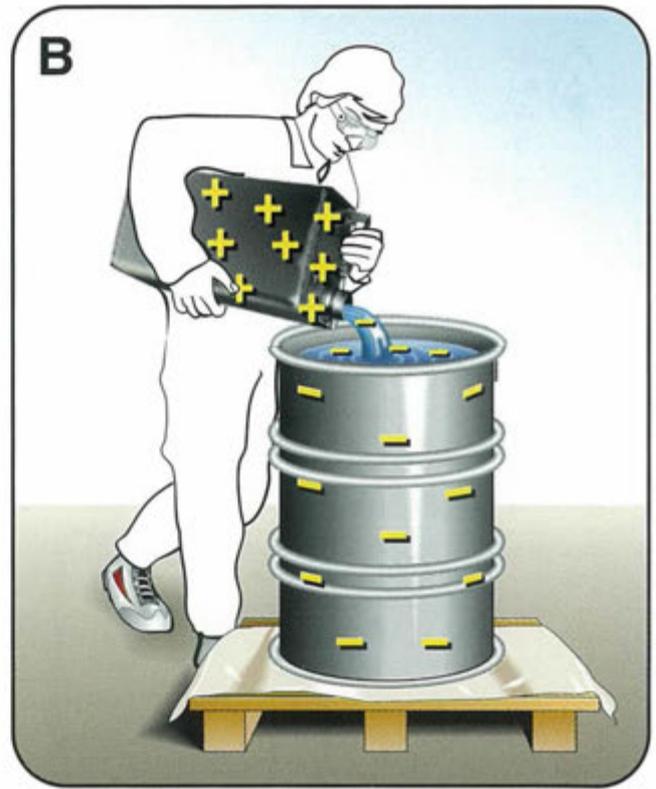
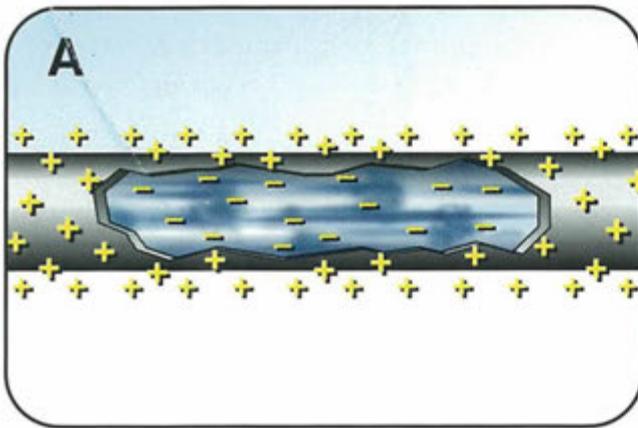


Figura 32: Esempi pratici dell'accumulo elevato di cariche

A: flusso di liquido non conduttore in un tubo (di plastica, di metallo, di vetro)

B: travaso di un liquido non conduttore

C: rimescolio di un liquido non conduttore

D: nebulizzazione di un liquido (conduttore o no)

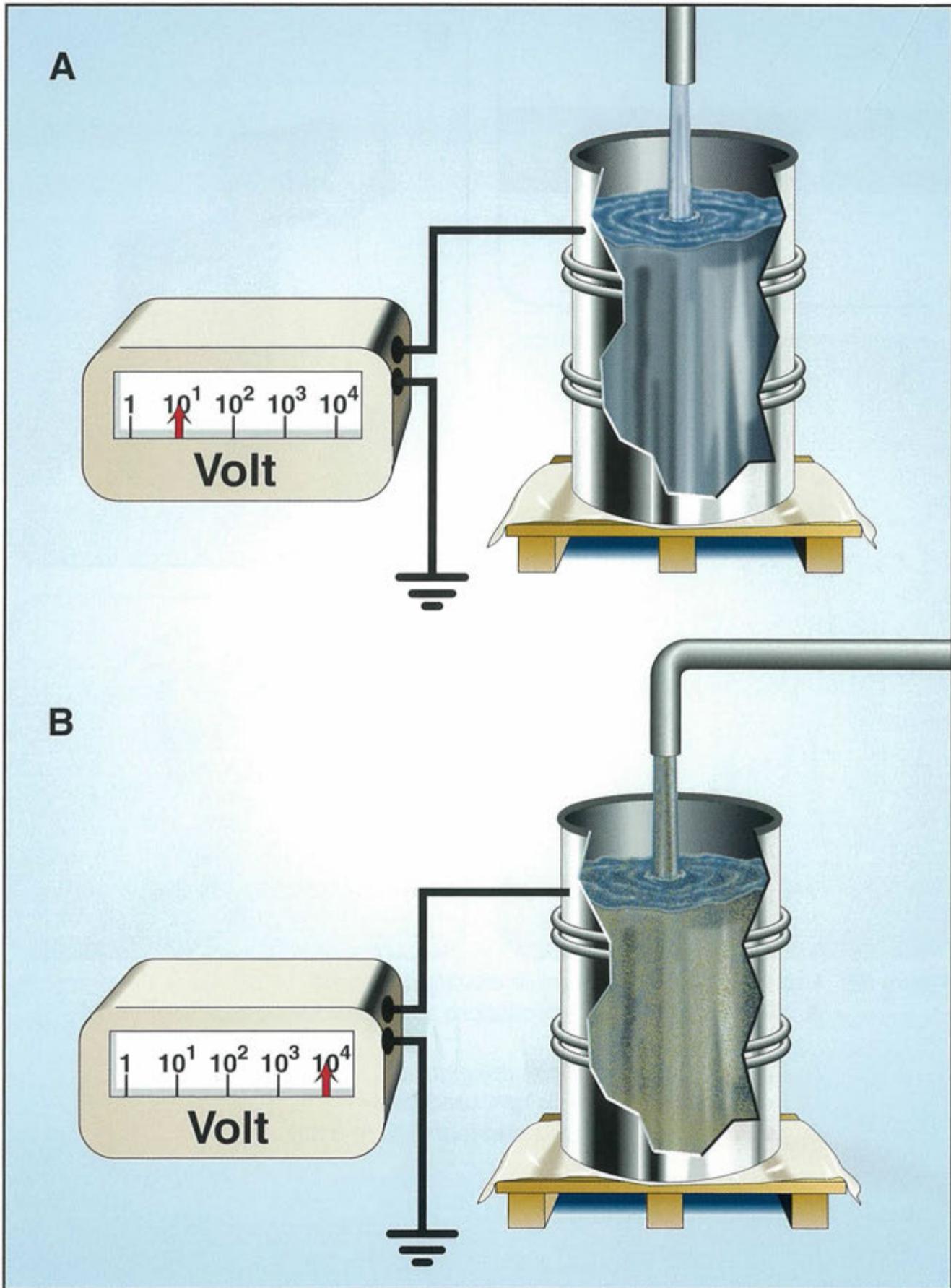


Figura 33: Aumento della carica di un liquido, dovuto all'aggiunta di una sostanza solida insolubile (sospensione)

A: liquido puro  $\leftrightarrow$  carica bassa    B: sospensione  $\leftrightarrow$  carica elevata

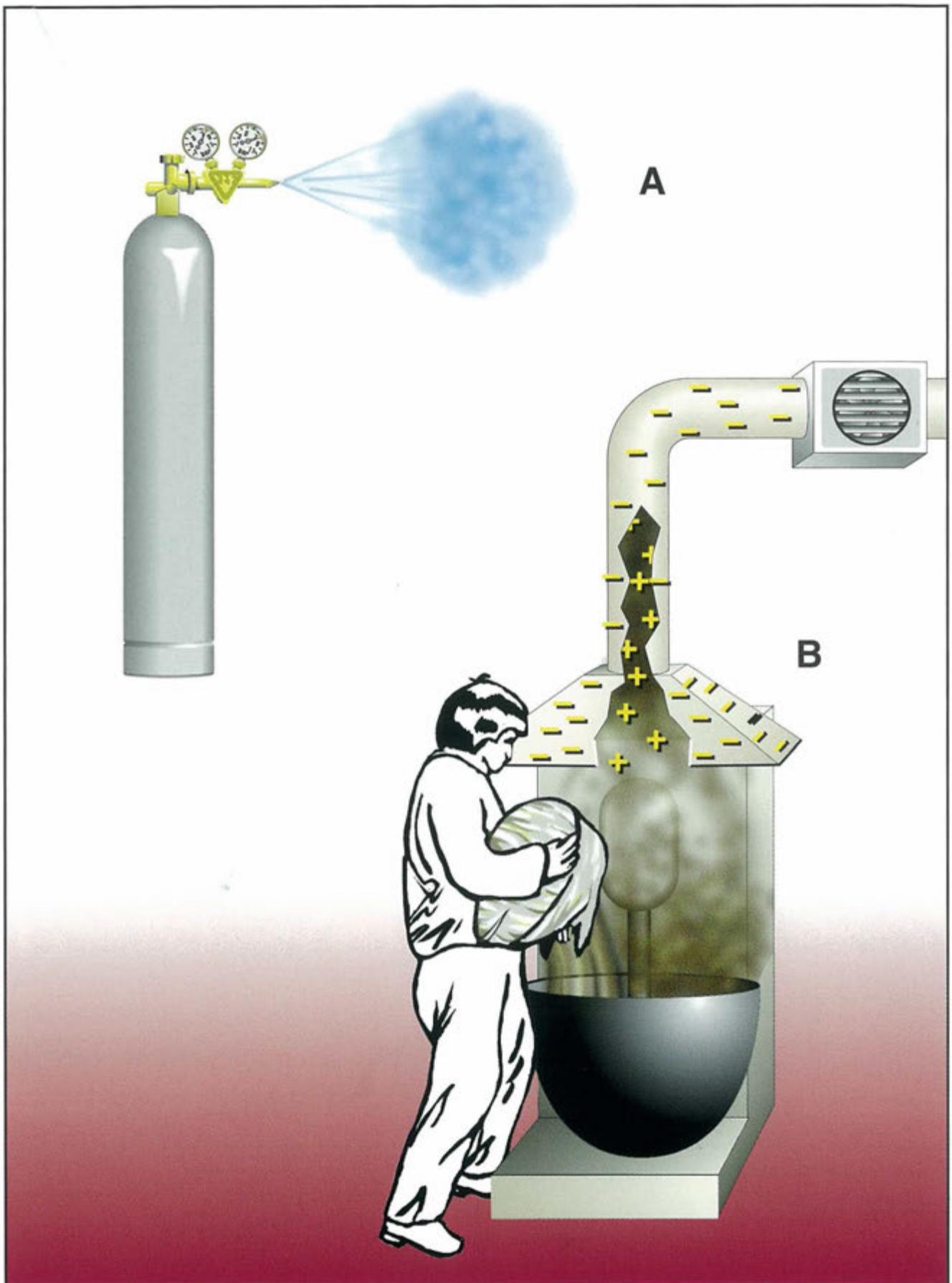


Figura 34: Flusso di gas (fenomeno di separazione)

A: flusso di aria pura ⇔ nessuna carica B: flusso di aria inquinata di polvere ⇔ accumulo di cariche sulle particelle di polvere



Figura 35: Accumulo elevato di cariche dovuto a strofinio (processi secondari)

**Quali generi di scariche devono essere evitati?**

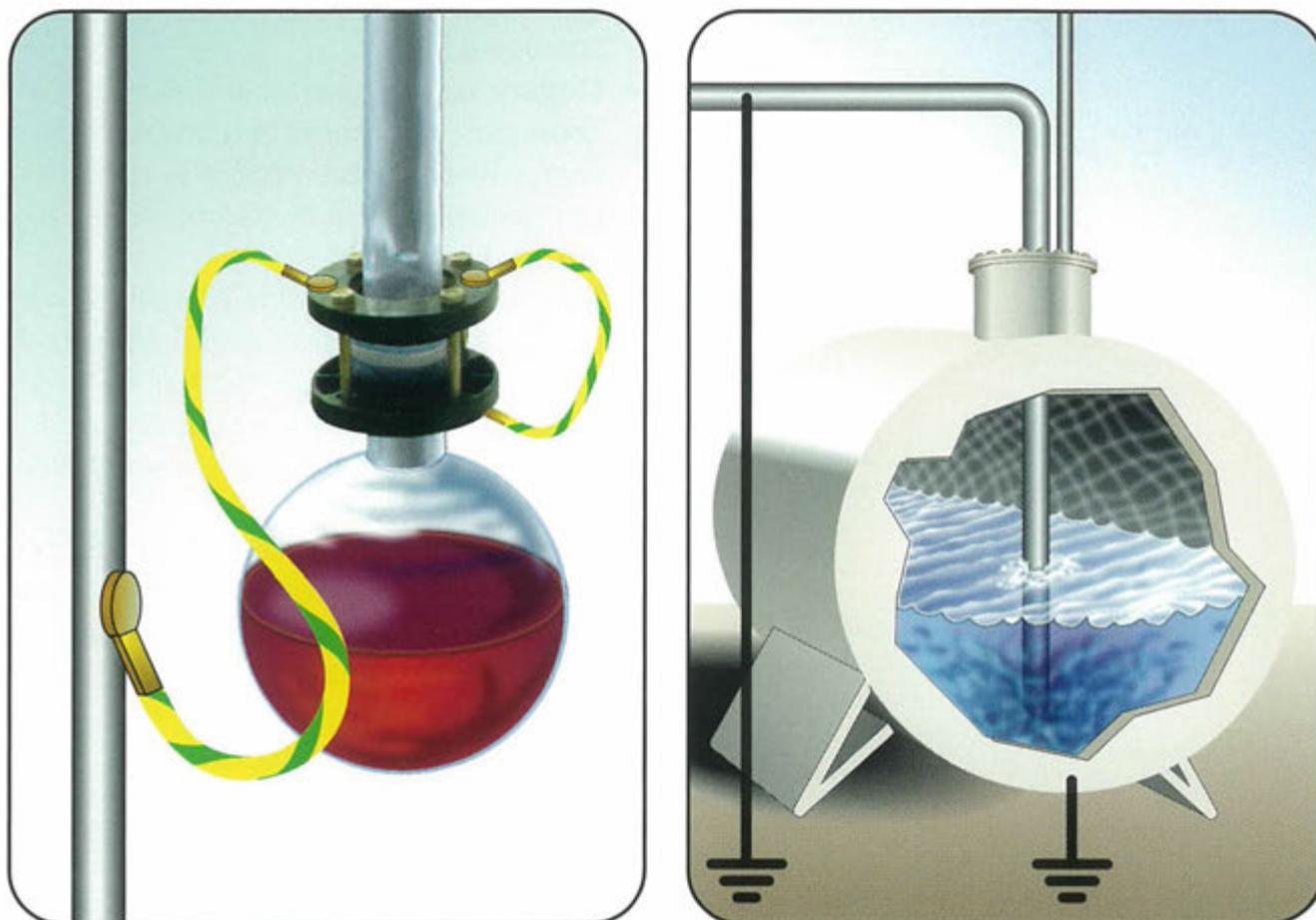
- Le scariche disruptive
- le scariche a effluvio
- le scariche a pennacchio.

Gli effetti a corona devono essere evitati solo in presenza di gas estremamente sensibili all'innesco, quali idrogeno, acetilene, solfuro di carbonio.

## Quali misure possono essere adottate?

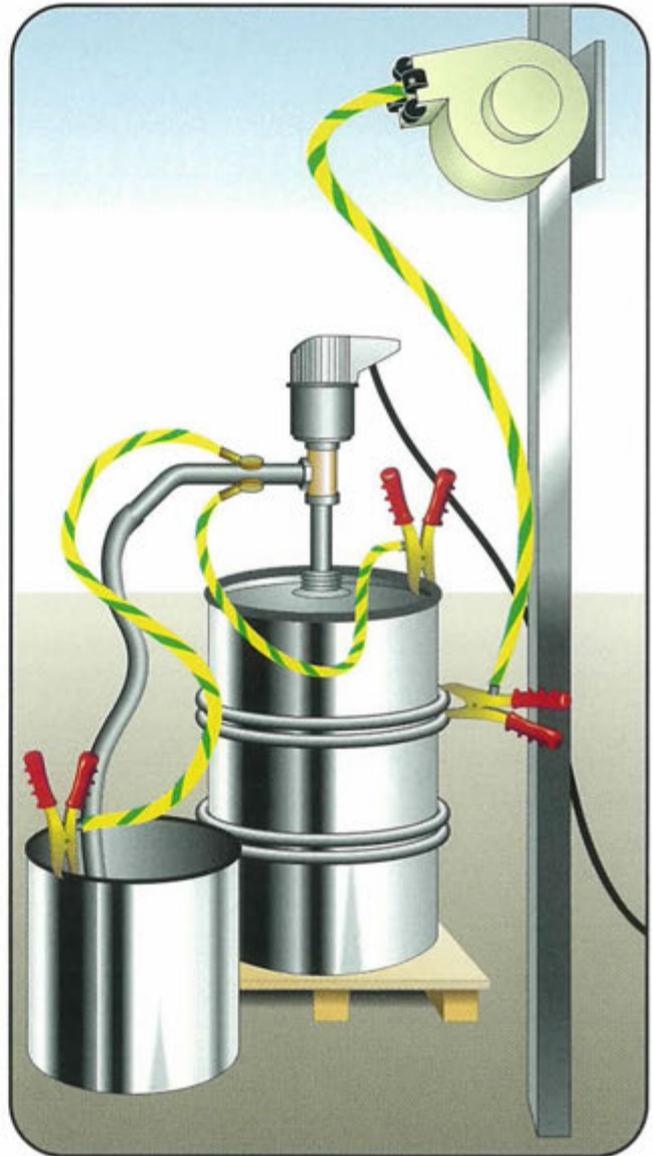
- Usare unicamente tubi, tubi flessibili, recipienti, ecc. conduttori e predisporre la loro messa a terra (le sostanze isolanti sono consentite solo per tubi di piccolo diametro e per recipienti di modesto volume).
- Se si usano rivestimenti interni isolanti, per esempio in tubi, tubi flessibili e recipienti, occorre osservare esigenze particolari (in funzione dello spessore del rivestimento, della conducibilità del liquido, ecc.).
- Mettere a terra gli elementi d'impianto conduttori incorporati in tubazioni (valvole, saracinesche, ecc.) e in contenitori (galleggianti, tubi d'alimentazione, agitatori, ecc.).
- Mettere a terra le flange metalliche su condotte di vetro di diametro elevato.
- Introdurre il tubo d'alimentazione fino a toccare il fondo del recipiente.
- Limitare la velocità di scorrimento della sostanza.
- Evitare la nebulizzazione di un liquido usando tubi d'alimentazione con bocca di scarico della forma appropriata. Per la spruzzatura di liquidi (per es. a scopo di pulizia) possono essere necessarie misure speciali.
- Predisporre la messa a terra per le persone (scarpe e pavimenti conduttori).
- Evitare l'introduzione a boccaporto aperto di sostanze solide in un solvente infiammabile, in quanto così facendo l'inertizzazione non è più garantita. Se non fosse possibile usare un circuito chiuso, eseguire l'operazione servendosi di contenitori conduttori, messi a terra, e badare che per le persone e per gli eventuali mezzi impiegati (imbuti, tubi di scarico, ecc. sempre del tipo conduttore) sia stata predisposta la messa a terra.
- In caso di cariche elevate entro spazi

limitati (per es. srotolamento di fogli di carta o di plastica) provvedere a neutralizzarle con ionizzatori passivi o attivi. Gli ionizzatori dovrebbero essere installati solo da personale tecnico competente e in assenza di gas e vapori estremamente sensibili all'innescò, quali ad es. idrogeno, acetilene o solfuro di carbonio.



*Figura 36: Esempi pratici di misure di sicurezza durante l'utilizzo di liquidi infiammabili: mettere a terra flange metalliche su tubazioni di vetro o di plastica. Riempire recipienti e cisterne grandi attraverso tubi pescanti, limitare la velocità del flusso, migliorare la conduttività del liquido.*

**Sospensioni ed emulsioni di liquidi infiammabili non conduttori vanno maneggiate solo sotto condizioni inerti.**



*Figura 37: Esempi pratici di misure di sicurezza durante l'utilizzo di liquidi infiammabili: usare solo recipienti conduttori, mettere a terra durante le operazioni di travaso. Tutti gli elementi d'impianto conduttori (p. es. anche la pompa) vanno messi a terra durante il travaso, le persone vanno messe a terra tramite scarpe e pavimenti conduttori.*

**La messa a terra delle persone, di tutti gli elementi dell'impianto, dei prodotti, degli imballaggi ecc. conduttori è una delle misure più importanti per evitare cariche pericolosamente elevate.**

# Maneggio di sospensioni ed emulsioni di liquidi infiammabili

Per poter valutare esattamente sia i pericoli insiti nelle sospensioni e nelle emulsioni di liquidi infiammabili, sia le misure specifiche da adottare, occorre conoscere alcune caratteristiche delle sostanze, quali la conducibilità e il punto di infiammabilità, nonché l'energia minima di innesco della rispettiva miscela vapore/aria.

## Quando e in che modo si crea pericolo?

- La carica elettrostatica delle sospensioni e delle emulsioni è, in generale, molto superiore a quella dei liquidi puri.
- Durante il maneggio di sospensioni ed emulsioni non conduttrici è praticamente impossibile evitare cariche di entità pericolosa anche con l'uso di impianti conduttori, messi a terra. Non sono noti i valori limite sicuri per velocità di trasporto e miscelazione (agitazione), ecc.
- Per il resto, i pericoli insiti nelle sospensioni e nelle emulsioni di liquidi infiammabili sono per principio analoghi a quelli dei liquidi infiammabili puri.

## Quali generi di scariche devono essere evitati?

Devono essere evitati gli stessi generi di scariche come durante l'utilizzo di liquidi e gas puri infiammabili. Bisogna comunque ricordare che, a prescindere dal tipo di impianto, con sospensioni ed emulsioni di liquidi non conduttori è pressoché impossibile evitare scariche a effluvio dovute ad accumulo di cariche sul prodotto, e devono quindi essere adottate misure speciali.

Quali misure devono essere adottate?

- Durante la manipolazione (p. es. centrifugazione, filtrazione, pompaggio) di sospensioni ed emulsioni infiammabili **non conduttrici** devono essere adottate misure atte a evitare atmosfere esplodibili (per es. inertizzare, lavorare al disotto del punto di infiammabilità).
- Durante la manipolazione di sospensioni ed emulsioni infiammabili **conduttrici** devono essere adottate le normali misure richieste per i liquidi puri infiammabili.

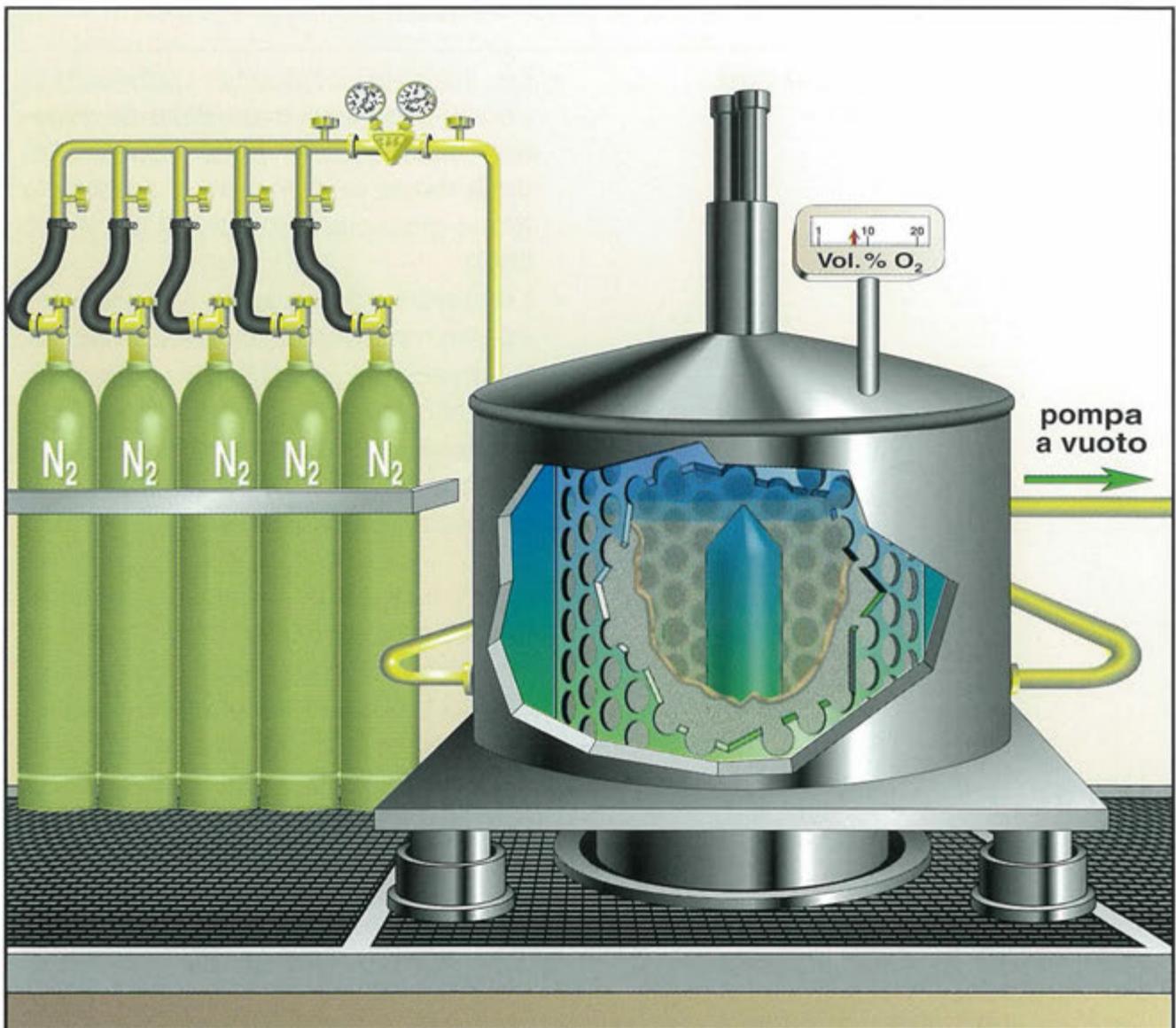


Figura 38: Esempio di misura di protezione dalle esplosioni durante la manipolazione di sospensioni ed emulsioni di liquidi infiammabili: inertizzazione di una centrifuga

# Maneggio di materiali sfusi infiammabili in assenza di gas e vapori infiammabili

Per poter valutare esattamente sia i pericoli insiti nei materiali sfusi infiammabili, sia le misure specifiche da adottare, occorre conoscere alcune caratteristiche delle sostanze, quali la resistenza specifica del materiale sfuso e l'energia minima di innesco della rispettiva miscela polvere/aria.

## Quando e in che modo si crea pericolo?

- Le miscele esplosibili polvere/aria possono formarsi maneggiando materiali infiammabili sfusi (polveri di dimensione < 0,5 mm o prodotti a grana grossolana frammista a polvere fine).
- I materiali sfusi, quando vengono per esempio trasportati, travasati, macinati, mescolati, scaricati o setacciati, possono accumulare su sé stessi o su elementi di impianti, recipienti, ecc. pericolose cariche di alta entità.
- Processi secondari (per es. il camminare, il movimento che compie un nastro trasportatore) possono generare cariche pericolosamente elevate.

In presenza di gas o vapori infiammabili possono formarsi miscele ibride, il che rende necessario un esame speciale della situazione. Ciò dev'essere tenuto presente nel valutare i pericoli (p. es. nell'introduzione a boccaporto aperto di una sostanza solida in un solvente infiammabile, vedi pag. 57).

**Molte polveri hanno un'energia minima d'innesco così bassa da poter essere innescate per «elettricità statica».**

**Quali generi di scariche devono essere evitati?**

- Le scariche disruptive
- le scariche a pennacchio
- le scariche da cono di accumulo materiale.

Allo stato attuale delle conoscenze le scariche a effluvio sono da considerare tollerabili, se non sono presenti polveri con un'energia minima d'innesco estremamente bassa.

Allo stato attuale delle conoscenze le scariche a corona sono da considerare tollerabili.

**Quali misure devono essere adottate?**

- Mettere a terra i recipienti, gli apparecchi, gli elementi d'impianto, ecc. conduttori.
- Per la manipolazione su scala industriale (volumi > 2 m<sup>3</sup>) di materiali infiammabili sfusi altamente isolanti, usare solo recipienti, apparecchi, elementi di impianti, ecc. conduttori e messi a terra. Non applicare nessun rivestimento interno isolante.
- Usare materiale conduttore per costruire le tubazioni di trasporto pneumatico. Non applicare nessun rivestimento interno isolante oppure usare rivestimenti con potere dielettrico ridotto (tali che la tensione disruptive sia < 4 kV).
- Maneggiando materiale sfuso capace di creare miscele polvere/aria oltremodo sensibili all'innesco, predisporre la messa a terra delle persone (scarpe e pavimento conduttori).
- Per il riempimento di grandi sili e serbatoi con materiale sfuso altamente isolante ed infiammabile possono essere necessarie (a seconda dell'energia minima di innesco, della distribuzione granulometrica del materiale, ecc.) altre misure di protezione contro le esplosioni, oltre a quelle tendenti ad evitare le fonti di innesco efficaci.

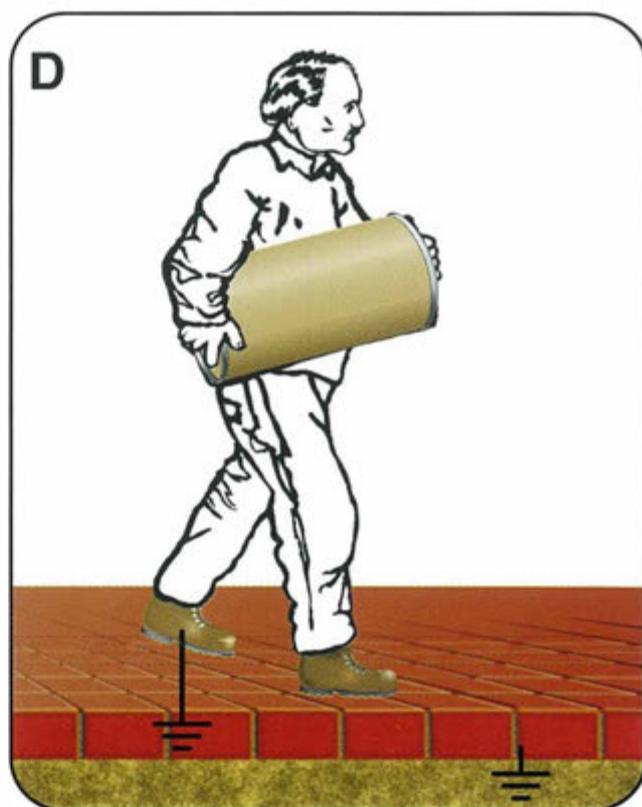
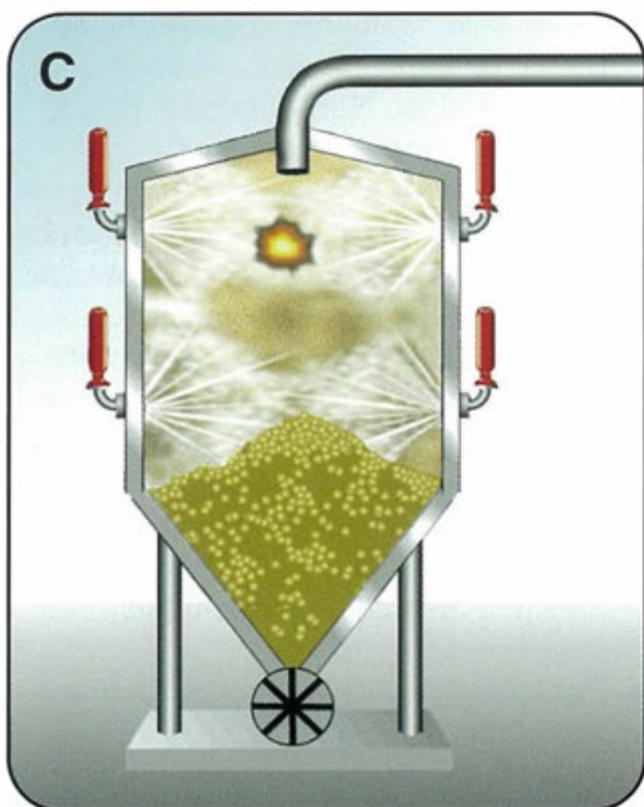
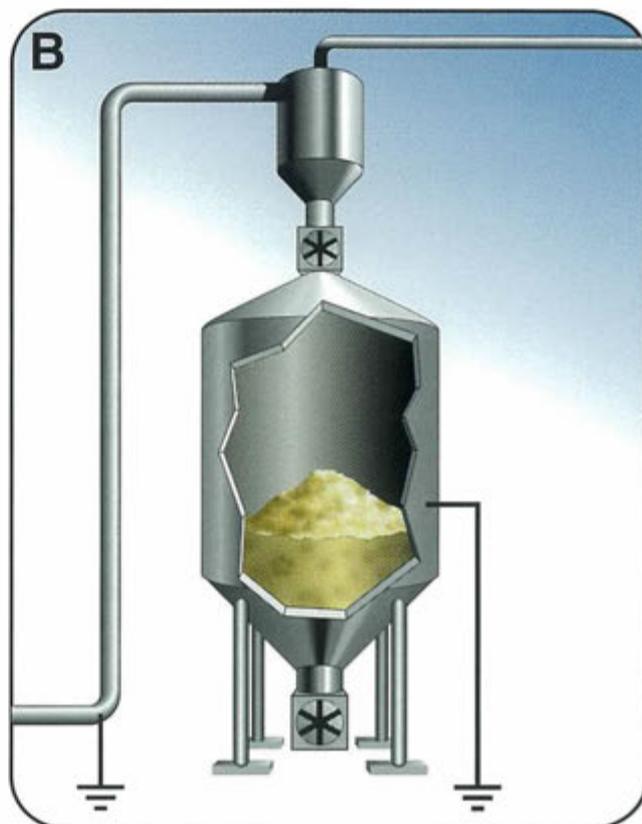
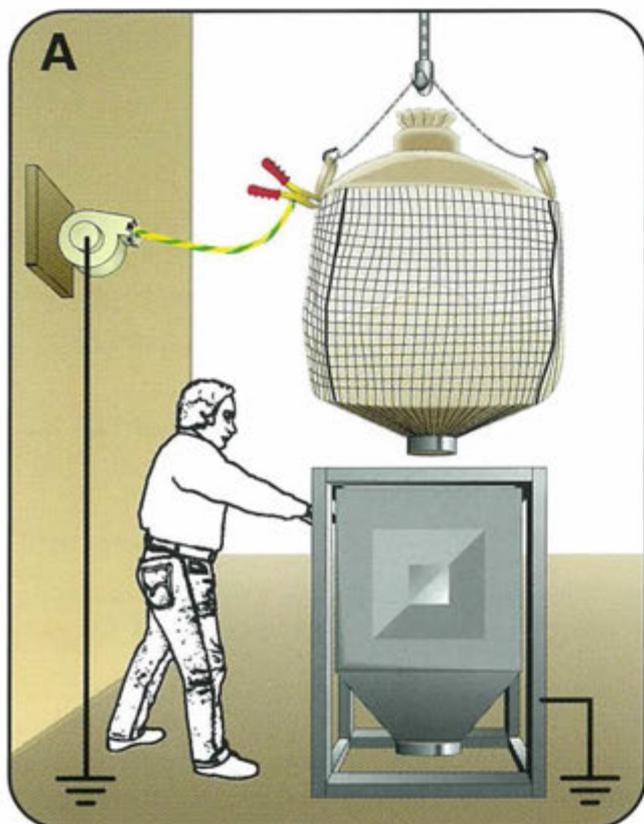


Figura 39: Esempi pratici di misure di sicurezza durante la manipolazione di polveri infiammabili – A: messa a terra di tutti i recipienti e imballaggi conduttori durante il travaso B: messa a terra di tutti gli elementi conduttori dell'impianto C: misure di tipo costruttivo (p. es. soffocamento dell'esplosione) D: messa a terra delle persone durante la manipolazione di materiale sfuso molto sensibile all'innesco

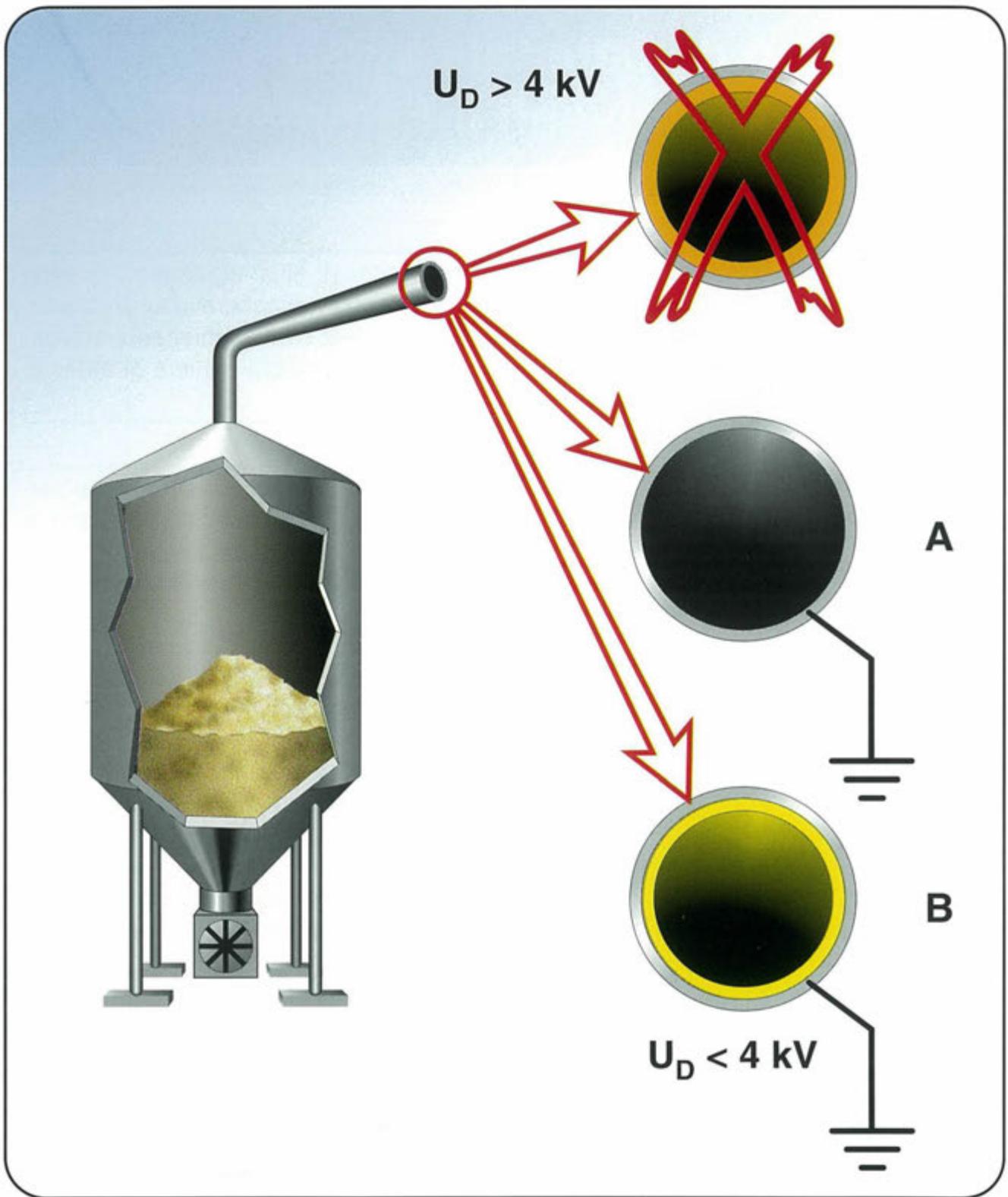


Figura 40: Esempi pratici di misure di sicurezza per il trasporto pneumatico di polveri infiammabili – A: messa a terra di tutti gli elementi conduttori e rinuncia a rivestimenti interni isolanti del condotto B: messa a terra di tutti gli elementi conduttori e rivestimento interno del condotto con uno strato che abbia una tensione disruptiva inferiore a 4 kV

**Materiale sfuso isolante, contenente solvente, va maneggiato solo sotto condizioni inerti.**

# Maneggio di materiale sfuso contenente solventi infiammabili

Per valutare esattamente sia i pericoli insiti nei materiali sfusi contenenti solventi infiammabili, sia le misure specifiche da adottare, occorre conoscere alcune caratteristiche delle sostanze, quali la conducibilità del materiale sfuso contenente solventi, il punto di infiammabilità del liquido infiammabile e l'energia minima di innesco della rispettiva miscela vapore/aria.

## Quando e in che modo si crea pericolo?

- Se il materiale sfuso contenente solvente è isolante, sussiste un notevole pericolo di innesco a causa della presenza contemporanea di una miscela esplosibile vapore di solvente/aria e della carica elettrostatica elevata che si accumula sul materiale sfuso. C'è da notare che i materiali solidi sfusi isolanti si caricano in misura molto maggiore rispetto ai liquidi isolanti.
- Maneggiando materiali sfusi isolanti, contenenti solventi, è praticamente impossibile evitare cariche pericolosamente elevate anche se si ricorre a impianti conduttori e provvisti della messa a terra.
- Per il resto, i pericoli insiti nei materiali sfusi contenenti solventi infiammabili sono per principio analoghi a quelli dei liquidi infiammabili puri.

## Quali generi di scariche devono essere evitate?

Devono essere evitati gli stessi generi di scariche come per il maneggio di liquidi e gas puri infiammabili. A prescindere dal tipo di impianto, con sospensioni ed emulsioni di liquidi non conduttori è però pressoché impossibile evitare scariche a effluvio dovute ad accumulo di cariche sul prodotto e devono quindi essere adottate misure speciali.

Quali misure devono essere adottate?

- Per la manipolazione di materiali sfusi non conduttori, che contengono solventi infiammabili, devono essere adottate misure atte a evitare atmosfere esplodibili (per es. inertizzare, lavorare al disotto del punto di infiammabilità).
- Per la manipolazione di materiali sfusi conduttori, che contengono solventi infiammabili, devono essere adottate le normali misure richieste per i liquidi puri infiammabili.

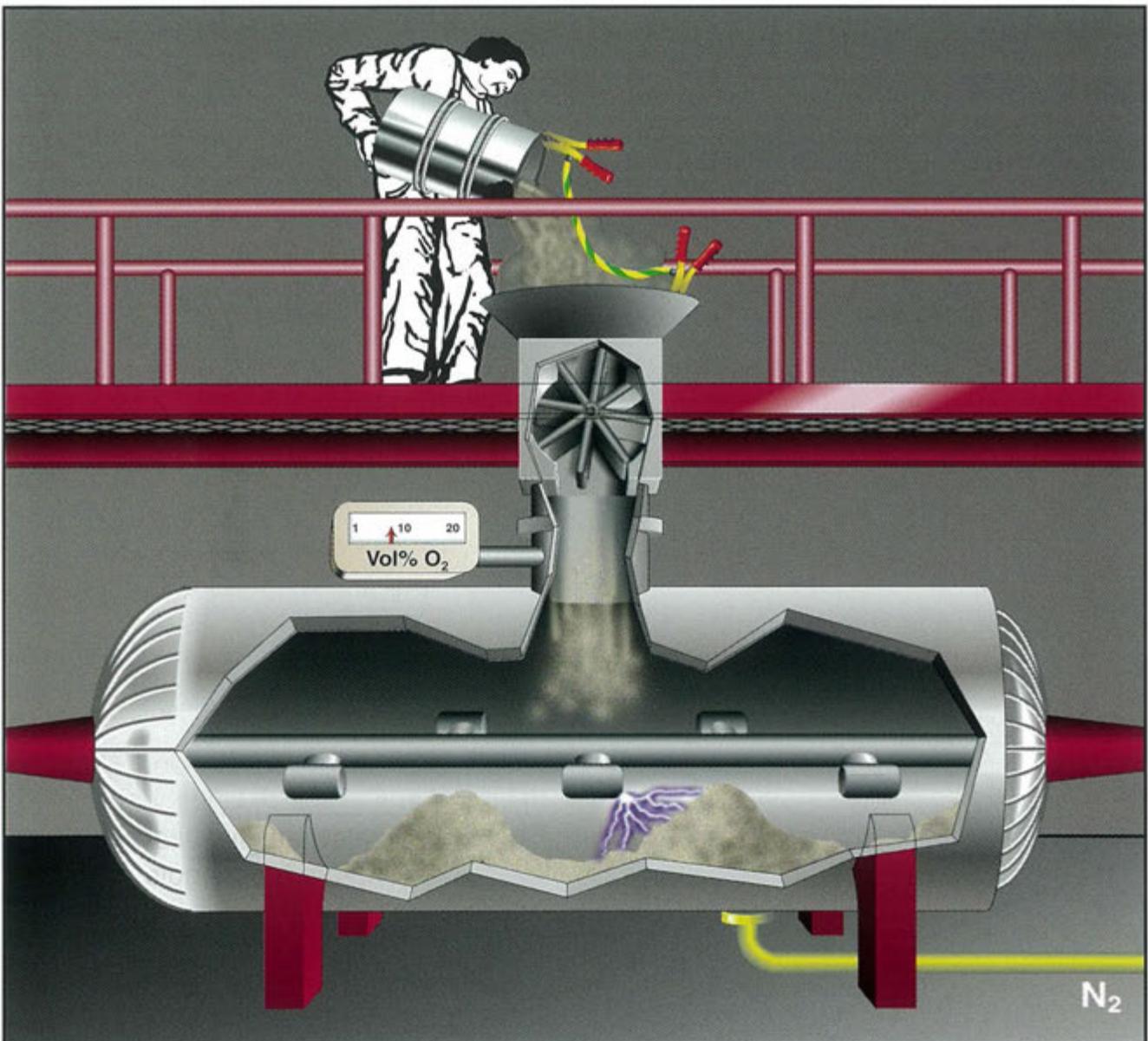


Figura 41: Esempio pratico di misura di protezione dalle esplosioni durante l'impiego di materiale sfuso contenente solvente: introduzione a circuito chiuso del materiale in un essiccatore a pale inertizzato

# Bibliografia

## Letteratura

Lüttgens G., Glor M., Understanding and Controlling Static Electricity, Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1989

Lüttgens G., Glor M., Elektrostatische Aufladungen begreifen und sicher beherrschen, Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 3a edizione completamente riveduta, 1993

Glor M., Electrostatic Hazards in Powder Handling, Research Studies Press Ltd., Letchworth, Hertfordshire, 1988

## Direttive

Expert Commission for Safety in the Swiss Chemical Industry (ESCIS), Static Electricity, Rules for Plant Safety, ESCIS-Booklet No. 2, Suva, Settore chimica, Lucerna, 1988

Richtlinien für die Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen, Richtlinien «Statische Elektrizität», Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, ZH 1/200, Ausgabe Oktober 1989

Beispielsammlung zu den Richtlinien «Statische Elektrizität», Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, ZH 1/200, Merkblatt T 033 4/92

VDI 3673, Part 1, Pressure Venting of Dust Explosions, 1994

British Standards Institution, Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity, General Considerations, B.S. 5958: 1981 Part 1, London

British Standards Institution, Code of Practice for Control of Undesirable Static Electricity, B.S. 5958: 1982 Part 2, London

NFPA 77, Static Electricity, National Fire Protection Association, 1988

# Indice

## A

acetilene 30, 31, 56, 58  
additivo antistatico 47  
agitatore, agitazione 53, 57, 60  
atmosfera esplodibile 13, 15, 46, 49, 50,  
52, 61, 66, 67

## B

benzina 8, 18  
brace 10

## C

camminare 16, 52, 62  
campionatore 37  
campo elettrico, intensità del – 11, 19,  
26, 27, 32, 36, 39, 40  
capacità 34  
carica **11**, 16, 19, 28, 29, 46, 47, 50–57,  
60, 62, 66  
–, densità di 26  
–, –, spaziale 27  
–, –, superficiale 27, 42  
cariche  
–, accumulo di 12–15, **20**, 21, 22, 26  
–, dispersione delle 12–14, **23**, 25, 28,  
46  
–, neutralizzazione delle 46, 47, 58  
–, separazione delle 12–15

centrifuga 61  
cinghia di trasmissione 42  
combustibile 9, 29, 50  
–, concentrazione del 29, 46  
condensatore 34, 44  
conducibilità, conduttore **18**, 19, 20, **23**,  
36, 39, 41–44, 47, 50, 51, 53, 54,  
57–61, 63–67  
corona, effetto 31, **40**, 56, 63

## E

effluvio, scarica a 28, 31, **36**, 37–39, 56,  
60, 63, 66  
elettrodo 36, 40  
emulsione 20, 52, 60, 61  
energia 26, 28, 29, 31, 34, 39, 44  
– d'innesco, critica **29**  
– d'innesco, minima **29**, 30, 31, 51, 60,  
62, 63, 66  
– equivalente 26, 39  
– di scarica 34  
eptano 18  
esano 18  
esplosione 9  
–, pericolo di 8  
–, sfogo della pressione 46  
–, soffocamento della 46, 49, 64  
essiccatore 67

## F

fiamma 10  
filtrazione 16, 61  
filtro 20, 22, 36  
flangia 34, 57, 59  
foglio di plastica 36, 58  
fusto metallico 18, 20, 21, 28, 32–34  
fuoco 10  
– di Sant’Elmo 37

## G

galleggiante 57  
gas, miscela -/aria 8, 9, 30, 39, 44, 52,  
55–58, 62, 66

## I

idrocarburi 18  
idrogeno 30, 31, 56, 58  
induzione 19  
inertizzare 46, 49, 50, 57, 61, 67  
innesco 13, 15, 29, 31, 39, 44, 46, 50  
–, efficacia di 10, 26, 31, 48  
–, potere di 26, 28, 31, 44, 46, 50  
–, sensibilità di 10, 29, 31, 39, 46, 50, 56,  
58, 63, 64  
ionizzatore 46, 58  
isolante 18, 19, 20, 22, 32, 36–39,  
41–45, 47, 52, 53, 57–61, 63–67

## L

liquido 8, 16, 18, 20, 23, 32, 33, 37, 38,  
42, 47, 48, 51–54, 57–60, 66  
–, goccioline di (*v. anche nebbia*) 8, 20,  
37, 52  
–, flusso di 16, 52, 53

## M

macinare 62  
materiale sfuso 16, 18, 20, 22, 23, 44,  
62–67  
–, contenitore per 38, 42, 43  
mescolare 62  
messa a terra 12, 25, 34, 35, 46, 48,  
57–59, 63–65  
metallo  
–, polvere di 20  
–, recipiente di 18, 20, 21, 28, 32–35  
–, tubo di 20, 35  
miscela  
–, esplodibile 8, 9, 10, 29–31, 34  
–, ibrida 30, 62

## N

nastro trasportatore 16, 36, 42, 43, 52,  
62, 65  
nebbia 8, 9  
nebulizzazione 16, 52, 53, 57

## O

ossigeno 9, 46

## P

pavimento 16, 20, 25, 57, 58, 63  
persona 12, 19–21, 25, 32–34, 57, 58,  
62–64  
plastica  
–, recipiente 18, 21, 32, 33, 37, 39, 48  
–, tubazione di 20, 37, 53, 59  
–, sacco di 19, 20, 37, 39  
polietilene (PE) 18  
polimeri 44  
polipropilene (PP) 18  
politetrafluoroetilene 18  
polivinilcloruro (PVC) 18

polvere, nube di –, miscela -/aria 8, 9,  
20, 30, 31, 34, 37–39, 42, 44, 48, 52,  
55, 62–65  
pompa 58  
pompaggio 42, 60, 61  
punto di infiammabilità 51, 52, 60, 61,  
66, 67

## R

raggio di curvatura 36, 40  
recipienti 16, 33, 34, 36, 37, 42, 48, 52,  
57–59, 62–64  
resistenza 18, 23  
–, specifica **23**, 24, 25, 62  
–, superficiale **23**, 24, 25  
–, di massa **23**, 24  
–, di dispersione **23**, 24, 25  
– dielettrica 42, 44, 63, 65  
resistività **23**  
rivestimento 41–44, 57, 63, 65  
riempimento 63

## S

sacco 16  
saracinesca 57  
scarica 10, 11, **12**, 13, 15, **26**, 27–29, 31,  
46, 48, 50, 56, 60, 66  
–, canale di 36  
–, generi di **26**, 28, **31**  
–, percorso per la 32  
– disruptiva 28, 31, **32**, 33–35  
– ad effluvio 28, 31, **36**, 37–40, 56, 60,  
63, 66  
– a pennacchio 31, **41**, 42–44, 56, 63  
– dalle punte 31, **40**, 56, 63  
–, da cono di accumulo 31, **44**, 45, 63  
scarpe, soles 19–21, 24, 25, 32, 33, 57,  
58  
scintilla 10  
separatore 16, 43, 62  
separazione, processi di – 12, 15, **16**, 17,  
18, 28, 50, 55

setacciare 62  
sfuso *v. materiale sfuso*  
silo 37, 42, 44, 63  
solfuro di carbonio 30, 56, 58  
solvente, vapore di – 30, 31, 57, 62, 66,  
67  
sonda di livello 37  
sospensione 16, 20, 52, 54, 60, 61  
srotolare 16  
strofinare 52, 56  
svuotamento 16, 37, 42

## T

temporale 31  
tensione disruptiva 44, 63, 65  
toluolo 18  
trasporto 42, 60, 61  
– di liquidi 42  
– pneumatico, tubazioni di 16, 42, 43, 65  
– velocità di 46, 47  
travaso 16, 48, 52, 53, 58, 62, 64  
tubazioni, tubo 16, 21, 32, 33, 42, 43, 53,  
57

## V

valvola 57  
vapore di solvente 8, 9, 30, 34, 39, 52,  
57, 60, 62, 66  
velocità di trasporto, di scorrimento 46,  
47, 57, 59

## X

xilolo 18

# Serie di pubblicazioni AISS – Protezione contro le esplosioni

**AISS**

Sezione industria chimica  
Gruppo di lavoro  
«Protezione contro le esplosioni»:

Protezione dalle esplosioni da polveri (it./ted./ingl./fr./span.) (1987)

Protezione dalle esplosioni di gas, vapori e nebbie infiammabili in miscela con aria (it./ted./ingl./fr.) (1988)

Sicurezza degli impianti a gas liquefatti (propano e butano) (it./ted./ingl./fr.) (1992)

Elettricità statica – pericoli di innesco e misure di protezione (it./ted./ingl./fr.) (1997)

Indirizzo per le ordinazioni: AISS Sezione chimica  
Kurfürsten Anlage 62  
D-69115 Heidelberg, Germania

**AISS**

Sezione sicurezza delle macchine  
Settore di lavoro «Esplosioni di polveri».

Fondamenti per la prevenzione delle esplosioni di polveri

- Misure di protezione di carattere preventivo e costruttivo (ted./ingl./fr.) (1987)
- Raccolta di esempi (ted./ingl./fr.) (1990)

Soffocamento dell'esplosione (ted./ingl./fr.) (1990)

Determinazione delle caratteristiche di infiammabilità ed esplodibilità di polveri (ted./ingl.) (1995)

Indirizzo per le ordinazioni: AISS Sezione sicurezza delle macchine  
Dynamostrasse 7–11  
D-68165 Mannheim, Germania

## LA AISS E LA PREVENZIONE DEGLI INFORTUNI SUL LAVORO E DELLE MALATTIE PROFESSIONALI

La Commissione tecnica permanente della AISS per la prevenzione degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali riunisce specialisti di tutto il mondo operanti per la sicurezza sul lavoro. Essa promuove l'attività in questo settore e svolge studi speciali su temi quali il ruolo che la stampa, la radio e la televisione svolge nell'ambito della sicurezza sul lavoro, oppure strategie di sicurezza negli ambienti di lavoro, nel traffico stradale e negli ambienti domestici. Si occupa inoltre del coordinamento delle attività che le otto Sezioni internazionali per la prevenzione degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali, con segretariati in diversi paesi, svolgono in vari rami industriali ed economici. Tre altre Sezioni si dedicano alle tecniche di informazione nel settore della sicurezza sul lavoro, ai lavori di ricerca specifici, nonché all'addestramento e all'istruzione sulla prevenzione degli infortuni sul lavoro e delle malattie professionali.

Le attività delle Sezioni internazionali della AISS comprendono:

- lo scambio di informazioni fra associazioni e organi interessati alla prevenzione dei rischi professionali;
- l'organizzazione di congressi per commissioni di specializzazione e gruppi di lavoro, di tavole rotonde e di colloqui a livello internazionale;
- l'esecuzione di indagini e studi;
- la promozione di lavori di ricerca;
- la pubblicazione di informazioni specifiche.

Ulteriori informazioni sull'attività e sul lavoro in generale svolti dalla AISS nel settore della sicurezza sul lavoro si trovano nel volantino «Sicurezza in tutto il mondo», ottenibile presso il Segretariato generale dell'AISS in lingua tedesca, inglese, francese e spagnola.

### I MEMBRI DELLE SEZIONI INTERNAZIONALI

Ogni Sezione internazionale della AISS ha tre categorie di membri:

- membro effettivo** i membri effettivi e associati della AISS, Ginevra e di altre organizzazioni senza scopi di lucro possono inoltrare la domanda di adesione quale membro effettivo;
- membro associato** altre organizzazioni e aziende industriali possono diventare membri associati, purché dispongano di conoscenze del settore d'attività della Sezione;
- corrispondente** esperti individuali possono diventare membri corrispondenti di una Sezione.

Per ottenere ulteriori informazioni e questionari d'adesione rivolgersi direttamente alla segreteria delle singole Sezioni.

**ALMENO UNA DELLE SEGUENTI SEZIONI DELLA AISS PER LA PREVENZIONE DEI RISCHI PROFESSIONALI CORRISPONDE ANCHE AL VOSTRO CAMPO D'ATTIVITÀ: NON ESITATE A CONTATTARLA.**

---



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'AGRICULTURE  
Bundesverband der landwirtschaftlichen  
Berufsgenossenschaften  
Weissensteinstrasse 72  
D-34131 KASSEL-WILHELMSHÖHE  
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour LA SÉCURITÉ des MACHINES  
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel  
und Gaststätten  
Dynamostrasse 7-11  
D-68165 MANNHEIM  
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'INDUSTRIE CHIMIQUE  
Berufsgenossenschaft  
der chemischen Industrie  
Kurfürsten Anlage 62  
D-69115 HEIDELBERG  
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'INDUSTRIE MINIÈRE  
Bánské projekty Ostrava  
(Design Consulting Engineering Centre)  
Havlickovo náměstí 38  
CZ-730 16 OSTRAVA 1  
République tchèque



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour LE BÂTIMENT et LES TRAVAUX PUBLICS  
Organisme professionnel de prévention du  
bâtiment et des travaux publics (OPPBTP)  
Tour Amboise  
204, Rond-Point du Pont-de-Sèvres  
F-92516 BOULOGNE-BILLANCOURT  
France



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour LA RECHERCHE  
Institut national de recherche  
et de sécurité (INRS)  
30, rue Olivier-Noyer  
F-75680 PARIS CEDEX 14  
France



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'ÉLECTRICITÉ  
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik  
und Elektrotechnik  
Gustav-Heinemann-Ufer 130  
D-50968 KÖLN  
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'ÉDUCATION à la PRÉVENTION  
DES ACCIDENTS  
Caisse régionale d'assurance maladie  
d'Île-de-France (CRAMIF)  
17-19, place de l'Argonne  
F-75019 PARIS  
France



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'INFORMATION  
Association nationale pour la prévention  
des accidents du travail (ANPAT)  
88, rue Gachard, Boîte 4  
B-1050 BRUXELLES  
Belgique



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour LE SECTEUR SANTÉ  
Berufsgenossenschaft für  
Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege  
Pappelallee 35-37  
D-22089 HAMBURG  
Allemagne



COMITÉ INTERNATIONAL DE L'AISS  
pour L'INDUSTRIE MÉTALLURGIQUE  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt  
Adalbert-Stifter-Strasse 65  
A-1200 WIEN XX  
Autriche