

Trattamento e smaltimento dei rifiuti chimici nella vita quotidiana di laboratorio

Introduzione

Cos'è un rifiuto?

Esistono diverse direttive in materia di trattamento rifiuti e riciclo; al loro interno è anche possibile trovare delle definizioni della parola “rifiuto”: tale viene definito qualsiasi bene mobile destinato ad essere smaltito, oppure il cui smaltimento si rende necessario per la salvaguardia della salute pubblica e per la protezione dell'ambiente. A livello italiano, è stata recentemente introdotta una nuova normativa (D. Lgs. 152/06; parte IV: “Norme in materia di gestione dei rifiuti e di bonifica dei siti inquinati”), che è andata ad abrogare quella precedentemente in vigore, il cosiddetto “Decreto Ronchi” (D. Lgs. 22/97).

Come nascono i rifiuti in laboratorio?

Il ciclo vitale di un composto chimico all'interno di una struttura universitaria ha inizio quando la sostanza stessa viene consegnata ad un operatore (o ad uno studente): nella maggior parte dei casi, essa viene destinata a scopi sintetici o analitici. In seguito all'utilizzo, il materiale originale viene contaminato e si ottengono così sotto-prodotti, oppure solventi e composti chimici esausti: essi devono quindi essere decomposti o smaltiti, nel caso in cui il loro riciclo non sia possibile. Al contrario dei rifiuti chimici industriali, quelli provenienti dai laboratori universitari consistono per lo più di piccoli quantitativi di materiale, anche se sotto forma di miscele altamente complesse. Considerando l'intera struttura universitaria, si ha comunque a che fare con un quantitativo significativo, il cui smaltimento rappresenta una spesa non trascurabile.

Per smaltire correttamente i rifiuti di laboratorio, che possono essere molto diversi tra loro, nonché collocati in luoghi differenti, bisogna considerare attentamente le tipologie di esperimenti condotti e i reattivi che vengono impiegati. Ci sono, ad esempio, alcuni rifiuti pericolosi che non possono essere smaltiti così come sono, ma devono essere trattati preventivamente: ricorrendo a determinate procedure, questi scarti possono essere resi innocui direttamente nel sito della loro produzione. Un vantaggio della de-tossificazione è anche quello di ridurre il rischio di contaminazione di personale inesperto durante la manipolazione di queste sostanze, nonché quello di diminuire le possibilità di incidenti e quindi il rischio di contaminazione ambientale.

Il concetto di “gestione dei rifiuti”:

Evitare, ridurre e smaltire i rifiuti di laboratorio

Per risolvere il problema alla radice, sarebbe naturalmente meglio evitare la formazione di rifiuti: questo è l'obiettivo principale per cui sono state stese svariate leggi sull'argomento. In base a queste direttive, chiunque sviluppi, produca, tratti, processi o distribuisca merci, dovrebbe **evitare la produzione di rifiuti**. Nel caso fosse impossibile evitarne la formazione, **il quantitativo di rifiuti dovrebbe essere ridotto** quanto più possibile tramite una raccolta separata e l'adozione di misure per il riciclo. Per finire, una volta compiuti tutti questi sforzi, i rifiuti rimanenti devono essere **smaltiti “senza rischi”** per la salute e l'ambiente.

Il riutilizzo dei rifiuti di laboratorio può essere realizzato (ad esempio: per reattivi esausti) tramite un'adeguata procedura di riciclo: quello dei solventi usati, è sicuramente il campo di maggiore applicazione. Diversi solventi organici (etanolo, acetone, cloroformio, dietil etere, ecc, ...) vengono raccolti separatamente a livello dei laboratori stessi in cui sono stati utilizzati e destinati alla purificazione tramite distillazione.

Tutti quei processi (nel nostro caso: esperimenti chimici) che comportano la formazione di **un'elevata quantità di rifiuti**, andrebbero rivisti per verificare la possibilità di ridurre il quantitativo degli scarti tramite l'applicazione di misure appropriate (ad esempio: condizioni di reazione alternative, diminuzione dei volumi impiegati, ecc ...). Le procedure di **smaltimento** devono essere attivate solo laddove non sia possibile abbattere in alcun modo (né tramite modifiche del protocollo, né tramite processi di riciclo) le **quantità di rifiuti**.

Rifiuti pericolosi in laboratorio

Un gruppo molto importante di rifiuti è quello dei residui di reattivi chimici classificati come pericolosi: per le loro caratteristiche, è assolutamente vietato smaltirli come normali rifiuti domestici, o attraverso la fognatura.

Le tipologie di rifiuti che vengono normalmente classificate come pericolose devono essere raccolte separatamente e consegnate a ditte autorizzate per il loro smaltimento; colui che produce lo scarto deve inoltre fornire tutti i dati necessari per identificare chiaramente il rifiuto con cui si ha a che fare. Per rientrare all'interno di una determinata categoria, inoltre, un rifiuto deve rispettare dei valori limite sia a livello di componenti, che di proprietà complessive. Se possibile, sarebbe meglio evitare di ricorrere a sostanze che presentano costi di smaltimento troppo elevati, sostituendole con specie che non presentano questo genere di problema e posseggono un minor impatto ambientale.

Raccolta dei rifiuti pericolosi

I rifiuti pericolosi devono essere raccolti in appositi contenitori, secondo quanto stabilito dalle normative vigenti in materia; è, innanzitutto, necessario evitare di mescolare tra loro differenti tipologie di scarti. La struttura universitaria stessa deve provvedere a fornire tutti i recipienti necessari per i vari tipi di rifiuti. Una volta pieni, i contenitori vanno restituiti al deposito rifiuti: è molto importante non riempirli oltre il 90% del volume totale, per evitare che del liquido possa fuoriuscire durante il trasporto. I recipienti devono essere chiusi correttamente ed etichettati adeguatamente: in caso contrario, le ditte addette allo smaltimento saranno costrette a rifiutare la tanica; allo stesso modo, anche recipienti danneggiati, con perdite o contaminati con sostanze pericolose sulla parete esterna, verranno respinti.

La regola generale da osservare nel maneggiare rifiuti pericolosi, è quella di evitare nel modo più assoluto di mettere in pericolo le persone e l'ambiente durante lo stoccaggio, il trasporto e lo smaltimento di questi materiali.

Rifiuti acquosi in laboratorio

I rifiuti acquosi di laboratorio vengono definiti come "tutti quei liquidi destinati a finire nel lavandino"; normalmente essi consistono di soluzioni acquose (eventualmente neutralizzate) con un pH compreso tra 6 e 8, non contenenti metalli pesanti.

Per poter smaltire i rifiuti acquosi nel lavandino, è necessario rispettare parametri ben precisi, che sono normalmente fissati a livello di statuti municipali sull'argomento. È, inoltre, proibito diluire i rifiuti acquosi così da rientrare nei parametri indicati. Come esempio, nelle Tabelle 1-3 vengono riportati i valori limite previsti per diversi inquinanti presso l'Università di Braunschweig. Nel caso in cui si dovessero riscontrare nelle fognature valori superiori a quelli indicati, l'ente si troverebbe a dover pagare delle multe; per finire, qualora si avesse a che fare con valori doppi rispetto a quelli fissati, si andrebbe incontro ad azioni legali. Se si dovessero trattare delle sostanze non inserite negli elenchi seguenti, sarebbe possibile destinarle allo smaltimento come rifiuti acquosi solo qualora esse non fossero catalogate come specie pericolose e vi fosse la certezza che non creino problemi per l'ambiente e per il trattamento a livello degli impianti depuratori.

Importanti parametri per valutare la qualità dei rifiuti acquosi

- Il *valore del pH* deve essere compreso tra 6,0 e 10,5.
- La *temperatura* non deve essere superiore ai 35 °C.
- La *tossicità* dei rifiuti acquosi deve essere bassa, tale da non influenzare i processi biologici a livello degli impianti di depurazione, oppure nello smaltimento e nell'utilizzazione dei fanghi.
- La concentrazione di coloranti nei rifiuti acquosi deve essere bassa, tale da non creare dei cambiamenti di colore a livello degli impianti di depurazione.
- I valori-limite per i *fenoli* sono fissati a 0,025 mg per L di rifiuto acquoso; queste sostanze, infatti, sono responsabili di un cattivo sapore per l'acqua, che è difficile da eliminare durante la purificazione.
- I valori limite per sostanze che consumano l'ossigeno (ad esempio: solfito di sodio, sali di Fe^{II} e tiosolfati) sono fissati a 50 mg per L di rifiuto acquoso.

Tabella 1: Sostanze inorganiche – valori limite (TLV – threshold values) per cationi

Cationi	TLV (mg/L)
Antimonio	0.25
Arsenico	0.05
Bario	1.0
Piombo	0.5
Cadmio	0.05
Cromo, totale	0.5
Cromo(VI)	0.1
Cobalto	1.0
Rame	0.5
Nickel	0.5
Mercurio	0.025
Argento	0.25
Zinco	2.5
Stagno	0.5

Tabella 2: Sostanze inorganiche – valori limite (TLV – threshold values) per anioni

Anioni	TLV (mg/L)
Cianuro	10
Cianuro, facilmente rilasciato	0.5
Fluoruro	25
Solfato	300
Solfuro	1.0

Tabella 3: Valori limite per gruppi di sostanze e specie organiche

Gruppi di sostanze	TLV (mg/L)
Alogeni organici adsorbibili (AOX)	0.5
Idrocarburi alogenati volatili (VOX)	0.25
Idrocarburi alogenati volatili, composti singoli	0.05
Specie organiche	
Idrocarburi alifatici	10
Oli e grassi, saponificabili	125
Idrocarburi aromatici policiclici (IPA)	0.025
Aromatici, totale	0.05
Benzene	0.0025
Etilbenzene	0.025
Toluene	0.025
Xilene	0.03
Stirene	0.03

Nota: Le soluzioni acquose risultanti da processi di estrazione con diclorometano o cloroformio devono essere smaltite come rifiuti pericolosi (contengono idrocarburi clorurati, VOX), oppure devono essere processate in maniera tale da eliminare i VOX, prima di essere smaltite.

Consigli sullo smaltimento dei rifiuti chimici di laboratorio

Solo il personale qualificato si deve occupare della de-tossificazione dei piccoli quantitativi di rifiuti chimici pericolosi in laboratorio; informazioni dettagliate sulle procedure da applicare sono indicate di seguito. Le tipologie di rifiuti descritte sono quelle più frequenti nella pratica di laboratorio quotidiana.

Residui chimici:

I residui chimici, che possono essere smaltiti, sono esclusivamente quelli:

- i cui costituenti sono noti;
- che non sono classificati come esplosivi;
- che non sono radioattivi.

Essi, inoltre, non devono contenere specie altamente tossiche come dibenzodiossine e furani policlorurati (PCDD/F), bifenili policlorurati (PCB), o agenti impiegati in campo bellico.

I contenitori dei rifiuti devono essere etichettati chiaramente, senza tralasciare quelli più piccoli. I recipienti di capienza limitata e le boccette di prodotti provenienti da laboratori didattici possono essere raccolti in appositi contenitori, recanti indicazioni precise circa la loro natura (ad esempio: “prodotti di sintesi dal laboratorio didattico di chimica inorganica, contenuti in boccette”). Nel caso si trovasse del materiale sconosciuto (ad esempio: recipienti senza etichette), sarebbe meglio procedere all’identificazione del composto stesso.

I prodotti chimici classificati all’interno di una certa tipologia di rifiuto andrebbero smaltiti secondo le procedure specifiche della categoria in esame: consideriamo come esempio l’acido cloridrico. Esso appartiene al gruppo “Acidi inorganici, miscele di acidi e mordenti”, quindi non è possibile smaltirlo come residuo chimico.

I vecchi reattivi (poco utilizzati), conservati in recipienti adeguatamente chiusi, andrebbero offerti ad altri gruppi o istituti: bisognerebbe prenderne in considerazione lo smaltimento, solo qualora non ci fosse nessuno interessato (entro un certo limite di tempo).

Esiste anche l’opzione della restituzione dei reattivi o dei solventi (comprati in quantità superiore al necessario): tale possibilità viene offerta dalle stesse case produttrici; la Merck, ad esempio, propone questo servizio sotto il nome di Retrologistics[®]. Dopo aver annotato tipologia e quantità di ogni sostanza, viene eseguito un controllo minuzioso per la verifica delle condizioni del composto stesso; il materiale proveniente dai recipienti più piccoli viene riunito. Superate le analisi e il controllo qualità, queste specie vengono quindi destinate all’impiego in campo produttivo e/o sintetico; nel caso in cui il riutilizzo non sia possibile, la ditta stessa provvede allo smaltimento, secondo le normative specifiche.

Acidi inorganici, miscele di acidi e mordenti

Il pH di queste soluzioni è inferiore a 6; per appartenere a questa categoria, le soluzioni non devono contenere:

- Cianuri (in caso contrario si formerebbe acido cianidrico!);
- Ioni ammonio (valore massimo consentito: 0,1 mol/L);
- Qualsiasi tipo di sostanza organica (ad esempio: solventi, grassi e oli).

Gli acidi esausti contenenti acido nitrico (ad esempio: le miscele nitranti) devono essere neutralizzati, quindi smaltiti come “Acque di risciacquo e lavaggio”.

Le soluzioni acide che non contengono metalli pesanti o altre sostanze pericolose possono essere neutralizzate con idrossido di sodio o carbonato acido di sodio (in quantità equimolare all’acido), quindi smaltite attraverso la fognatura.

Basi, miscele basiche e mordenti

Questa categoria di rifiuti comprende tutti quegli scarti liquidi con un pH superiore a 8 (presenza di ioni idrossido); per appartenere a questa categoria, le soluzioni non devono contenere:

- Cianuri;
- Ioni ammonio (valore massimo consentito: 0,1 mol/L, in caso contrario si avrebbe la formazione di ammoniaca);
- Qualsiasi tipo di sostanza organica (ad esempio: solventi, grassi e oli).

Le soluzioni basiche che non contengono metalli pesanti o altre sostanze pericolose possono essere neutralizzate con acido cloridrico (in quantità equimolare alla base), quindi smaltite attraverso la fognatura.

Acque di risciacquo e lavaggio, contenenti sali metallici

Questa categoria di rifiuti comprende tutte quelle soluzioni acquose di sali metallici, non contenenti:

- Cianuri;
- Ioni ammonio (valore massimo consentito: 0,1 mol/L);
- Qualsiasi tipo di sostanza organica (ad esempio: solventi, grassi e oli).

I volumi delle soluzioni acquose di questo tipo possono essere notevolmente ridotti, adottando adeguate procedure di concentrazione.

Residui di metalli alcalini

Durante l'anidificazione dei solventi organici, si ottengono residui di metalli alcalini, nella maggior parte dei casi sodio o potassio. Per trattare questi scarti, è necessario aggiungervi goccia a goccia etanolo o *i*-propanolo; una volta terminato, le soluzioni risultanti devono quindi essere neutralizzate e smaltite come solventi non alogenati.

Metalli pesanti

I metalli pesanti presenti nelle soluzioni acquose possono essere precipitati come solfuri o carbonati. Una volta ottenuto il sale, esso deve essere filtrato, seccato e smaltito come rifiuto solido.

Rifiuti contenenti mercurio (Hg elementare)

Questa categoria di rifiuti comprende il mercurio elementare (ad esempio: termometri e manometri rotti, moduli contenenti mercurio, lampade UV a vapori di mercurio, mercurio proveniente da pompe a diffusione, ecc, ...), che deve essere raccolto separatamente. Il mercurio esausto recuperato viene trattato e riutilizzato a livello di appositi impianti. I composti a base di mercurio non fanno parte di questa classe di rifiuti, bensì di quella dei "reattivi fini".

Soluzioni e rifiuti contenenti argento

Queste specie devono essere raccolte separatamente e processate secondo le normative in materia.

Acido cianidrico e cianuri

Reattivi chimici tossici come l'acido cianidrico e i suoi sali (cianuri) non devono assolutamente essere versati nelle acque di scarico; al contrario, essi devono essere de-tossificati tramite ossidazione; su scala di laboratorio, la procedura più adatta è l'ossidazione con soluzioni di ipoclorito di sodio: questo processo permette, infatti, passando tramite

l'intermedio cianato, di ottenere sostanze innocue, come anidride carbonica, azoto e ioni cloruro. Un'alternativa è l'ossidazione in ambiente basico (pH 10-11) ad azoto e anidride carbonica. Per verificare la completa ossidazione della molecola, è possibile ricorrere al kit "Merckoquant" per cianuri.

Nota: Lo smaltimento dei cianuri non deve essere assolutamente fatto da studenti all'interno dei laboratori didattici di base: si raccomanda la presenza di un supervisore esperto (un tutore o un responsabile di laboratorio); è sufficiente sbagliare un passaggio per andare incontro alla formazione di acido cianidrico e di dicianogeno.

Solventi non contenenti alogeni

Tutti i composti organici possono essere smaltiti come solventi non contenenti alogeni, a patto che rispettino le seguenti condizioni:

- È ammessa la presenza degli elementi C, H, N, Na, O, P, e S;
- Non ci devono essere alogeni, nemmeno di tipo inorganico (ad esempio: sali);
- Queste soluzioni devono essere liquide a temperatura ambiente;
- Nel caso si avesse a che fare con dei solidi, sarebbe meglio scioglierli in un solvente adatto.

Il valore del pH deve essere compreso tra 6 e 9 (se fosse necessario, neutralizzare la soluzione). I solventi organici non alogenati andrebbero riciclati quanto più possibile.

Solventi contenenti alogeni

I solventi alogenati devono essere raccolti separatamente e processati secondo norme ben precise, oppure consegnati a ditte specializzate: è assolutamente vietato miscelare questi solventi con altre tipologie.

Per essere smaltita come solvente contenente alogeni, una specie:

- Può contenere gli elementi C, H, N, O, P, S, F, Cl, Br e I;
- Deve essere liquida a temperatura ambiente;
- Se solida, deve essere sciolta in un solvente adatto;

Il valore del pH deve essere compreso tra 6 e 9 (se fosse necessario, neutralizzare la soluzione). I solventi organici alogenati andrebbero riciclati quanto più possibile.

Bombole sotto pressione

Le bombole sotto pressione devono essere controllate periodicamente, a seconda del gas che contengono. Qualsiasi bombola non utilizzata deve essere restituita ad una ditta specializzata (solitamente la stessa che lo produce) 6 settimane prima della data di controllo prevista (verificare sul lato della bombola stessa). Nel caso in cui la data di controllo fosse già passata e la bombola risultasse ancora sotto pressione, sarebbe necessario adottare speciali precauzioni per il trasporto. Questa tipologia di bombola sotto pressione deve essere smaltita solo da compagnie specializzate (ed eventualmente predisposta per il riutilizzo), affrontando costi elevati.

Le bombolette spray possono essere smaltite in appositi contenitori adibiti a tale scopo, solo dopo aver controllato che siano perfettamente vuote.

Pulizia dell'attrezzatura di laboratorio

La pulizia dell'attrezzatura di laboratorio (dopo il suo impiego in esperimenti chimici) può essere una procedura in cui vengono creati rifiuti pericolosi, che devono quindi essere smaltiti secondo le norme in materia.

È assolutamente vietato utilizzare sostanze estremamente infiammabili, molto tossiche, tossiche, cancerogene, teratogene o mutagene per la pulizia dell'attrezzatura.

Inadatti a tale scopo risultano quindi: dietil etere (estremamente infiammabile), benzene (tossico, cancerogeno) e tetraclorometano (tossico, cancerogeno).

I residui organici presenti sulla vetreria possono essere sciolti in un solvente adatto (ad esempio: acetone, *i*-propanolo, ligroina): le soluzioni risultanti devono essere raccolte e riciclate tramite distillazione; per finire, i residui di distillazione possono essere smaltiti come "solventi non alogenati" (contenuto di alogeni < 2%), oppure come "solventi alogenati" (contenuto di alogeni > 2%). È assolutamente vietato versare queste sostanze nell'acqua di scarico!

I residui incrostati possono essere trattati (nella maggior parte dei casi) con una soluzione satura di permanganato di potassio: essa deve essere versata nel recipiente da pulire insieme allo stesso volume di una soluzione di idrossido di sodio (20% p/v). L'utilizzo di acido cromico per questo scopo è assolutamente vietato, viste le sue proprietà cancerogene (è proibito usare una sostanza cancerogena, se esiste un suo sostituto!).

Esistono altri agenti (alcalini) per la pulizia, come saponi, soluzioni di etanolo e *i*-propanolo contenenti KOH (prestare attenzione alle istruzioni per evitare incendi!), oppure prodotti commerciali come l'Extran (Merck), che è in grado di degradare facilmente residui organici in presenza d'aria. Durante l'utilizzo di bagni pulenti fortemente alcalini, è necessario indossare guanti e occhiali di protezione: bisogna, infatti, evitare qualsiasi contatto con la pelle e gli occhi, così da proteggere unghie, polpastrelli e cornea. Le soluzioni esauste del pulitore di laboratorio Extran sono normalmente biodegradabili: nel caso fossero state contaminate con agenti chimici pericolosi per l'ambiente, esse andrebbero, tuttavia, neutralizzate e smaltite come "soluzioni contenenti sali".

I residui inorganici presenti sulla vetreria possono essere sciolti in acidi o basi diluiti, se necessario. Agenti pulenti fortemente ossidanti, come l'acido solforico concentrato, l'acido nitrico concentrato o il perossido d'idrogeno, andrebbero impiegati solo qualora le altre misure di pulizia avessero fallito.

Come si effettua in pratica lo smaltimento dei rifiuti in laboratorio?

Per mostrare le tipologie di rifiuti che si possono incontrare durante un processo chimico e per analizzare le corrette procedure di smaltimento da adottare, viene riportato (come esempio) uno degli esperimenti NOP.

Esempio:

NOP-Nr. 1001

Nitrazione del toluene a dare 4-nitrotoluene, 2-nitrotoluene e 2,4-dinitrotoluene

Gestione dei rifiuti

Durante il work up della miscela di reazione si ottengono i rifiuti di laboratorio elencati di seguito, per ognuno dei quali vengono brevemente descritte le modalità di smaltimento.

A. Miscela nitrante e acqua ghiacciata

Dopo l'estrazione del prodotto e la separazione della fase organica, si ottiene una frazione acquosa fortemente acida (pH 1), visto il contenuto di acidi minerali (acido nitrico e acido solforico). Questo rifiuto deve essere innanzitutto neutralizzato, quindi smaltito come rifiuto pericoloso, nella categoria "Acque di risciacquo e lavaggio". La neutralizzazione può essere effettuata aggiungendo una quantità equimolare di idrossido di sodio, oppure di carbonato acido di sodio (in quest'ultimo caso, prestare particolare attenzione all'abbondante formazione di schiuma per lo svolgimento di CO₂).

B. Soluzione di carbonato acido di sodio e acqua di lavaggio

Questa fase alcalina può essere impiegata per neutralizzare la soluzione acida precedentemente citata, quindi può essere smaltita come rifiuto pericoloso, nella categoria "Acque di risciacquo e lavaggio".

C. Agente essiccante esausto (solfato di sodio)

Il solfato di sodio utilizzato per seccare la fase organica può essere raccolto (dopo rimozione del solvente tramite evaporazione) in un recipiente dedicato; una volta riempito il contenitore, il tutto può essere smaltito nella categoria "solidi inorganici".

D. Cicloesano evaporato tramite evaporatore rotante

Una volta raccolto un quantitativo adeguato, i solventi esausti evaporati devono essere processati tramite distillazione.

E. Acque madri di ricristallizzazione

I residui delle acque madri contenenti etanolo o metanolo possono essere smaltiti come solventi organici non alogenati; nel caso i volumi raccolti fossero elevati, sarebbe opportuno recuperare i solventi tramite distillazione.

F. Residui di distillazione nei recipienti

I residui di distillazione presenti nei palloni e tutti gli altri scarti organici devono essere sciolti (ad esempio) in acetone; le soluzioni risultanti possono quindi essere smaltite come solventi esausti non alogenati.

Procedure di smaltimento: cosa succede ai rifiuti raccolti?

Di seguito, viene presentata una delle possibili vie di smaltimento dei rifiuti di laboratorio.

Dopo un'attenta raccolta dei rifiuti nei vari istituti e laboratori dell'università, le taniche e i recipienti originali (per quanto riguarda i reattivi della chimica fine) vengono trasferiti in un centro di stoccaggio: si raccomanda di effettuare questi trasferimenti ad intervalli regolari, così da ridurre il quantitativo di rifiuti presenti nei laboratori.

Nel caso in cui il deposito fosse piuttosto lontano dal sito di produzione e i rifiuti dovessero essere trasportati su strade aperte al traffico, sarebbe necessario ricorrere ad autoveicoli specifici, secondo le norme vigenti in materia. Nel caso in cui fosse una ditta esterna a farsi carico dei vari rifiuti, sarebbe necessario trasferirli nel veicolo adibito alla raccolta.

È vietato effettuare travasi da una tanica all'altra a livello dei depositi di stoccaggio, salvo i casi in cui si verificano degli incidenti. Durante queste procedure, infatti, c'è sempre il rischio che si inneschino delle reazioni esotermiche o che si svolgano dei composti volatili (ad esempio: solventi esausti): questi fenomeni richiederebbero, tuttavia, misure di sicurezza più rigide (di quelle normalmente adottate) per il deposito.



Figura 1: Fotografia di un deposito di stoccaggio. In primo piano è possibile osservare dei bidoni di solvente vuoti, che vengono separati dai rifiuti chimici immagazzinati (sullo sfondo).

I rifiuti devono essere collocati lontano dai materiali originali, ad esempio lasciando un'elevata distanza tra i primi e i secondi (Figura 1). In caso di perdite, è molto importante evitare che il contenuto dei recipienti bucati possa raggiungere le altre zone del deposito: a questo proposito, è necessario adottare particolari misure tecniche, in funzione dello stato e della composizione dei rifiuti con cui si ha a che fare.

Tutti i contenitori consegnati al deposito devono essere controllati e sottoposti ad analisi visiva. Il produttore del rifiuto deve, inoltre, fornire un “documento di smaltimento”, che certifichi la natura del rifiuto (NB: questa dichiarazione ha valore legale). Durante il trasporto, gli scarti vengono pesati: i piccoli quantitativi devono essere suddivisi in base al loro pericolo e impacchettati; per finire, essi vengono stoccati in un posto ben preciso, insieme a rifiuti della stessa categoria.

Il contenuto dei vari raggruppamenti deve essere registrato su una lista insieme al nome del rifiuto, al codice UN (numero di quattro cifre per merci pericolose; questo codice viene esposto su sfondo arancione dai veicoli che trasportano il materiale), alle dimensioni del pacco e alla sua provenienza. L'originale di tale lista deve rimanere nel deposito di stoccaggio, mentre una prima copia deve essere consegnata alla ditta responsabile dello smaltimento (che può così compilare il certificato di accettazione dello scarto) e una seconda viene affissa sul pacco contenente il rifiuto.

I rifiuti di cui si fa carico il deposito di stoccaggio devono essere registrati tramite un apposito software informatico: i file relativi servono per monitorare la situazione del deposito e svolgono la funzione di veri e propri certificati. Essi permettono di bilanciare le entrate e le uscite di rifiuti, nonché di gestire le procedure di smaltimento e le bolle di accompagnamento.

Un deposito di stoccaggio deve essere dotato di una unità di controllo (laboratorio analisi), adibita all'ispezione di campioni casuali di rifiuti, per verificare le dichiarazioni fornite dai produttori stessi dello scarto.



Figura 2: Immagine di contenitori ASP per conservare e trasportare rifiuti.

I contenitori dei rifiuti vengono prelevati periodicamente da ditte specializzate, che si occupano del loro smaltimento. Se necessario, le unità più piccole vengono riunite insieme in recipienti adatti al trasporto, quindi caricate su camion speciali e trasportate agli impianti di

smaltimento: esistono leggi ben precise da rispettare sull'argomento, che assicurano la massima sicurezza durante questo delicato passaggio.

Il trasporto può essere reso più semplice se i contenitori che si utilizzano per lo stoccaggio sono adatti anche al trasporto: tutto ciò è realizzabile adottando dei recipienti ASP, che sono approvati per entrambi gli scopi indicati. I rifiuti consegnati al deposito possono quindi essere controllati e immediatamente posizionati in questi contenitori (Figure 2 e 3).

ASP sta per “Contenitori di raccolta per rifiuti pastosi (Collection Container for Pasty Wastes)”; essi possono contenere materiale pastoso e/o solido e sono adatti anche per recipienti più piccoli, contenenti (a loro volta) rifiuti liquidi. Questi contenitori rappresentano quindi dei sistemi di stoccaggio e trasporto intrinsecamente sicuri, grazie al loro design e alle misure tecniche di protezione che stanno alla base della loro progettazione.



Figura 3: Contenitore ASP aperto con taniche di raccolta

Per la raccolta separata delle diverse tipologie di rifiuti, che differiscono tra loro per la pericolosità (liquidi infiammabili, residui chimici del laboratorio organico, residui chimici del laboratorio inorganico, acidi, basi), sono disponibili quattro contenitori ASP diversi; è, inoltre, presente un quinto recipiente ASP di riserva. Una volta riempiti, i contenitori ASP vengono caricati su appositi veicoli di trasporto e destinati agli impianti di smaltimento.

Trattamento dei rifiuti pericolosi tramite le compagnie addette allo smaltimento

I rifiuti liquidi sono destinati ad essere inceneriti ad alta temperatura presso un impianto dedicato a tale scopo. Il trattamento dei gas di spurgo di questi stabilimenti permette di evitare la diffusione di inquinanti nell'ambiente.

I rifiuti inorganici liquidi vengono trattati a livello di un reattore (mantenuto sotto costante agitazione) in più passaggi, ricorrendo di volta in volta a reagenti differenti. Alcuni dei costituenti più pericolosi (ad esempio: i metalli pesanti) vengono precipitati come solidi e separati dalla fase liquida tramite una camera di filtrazione sotto pressione. La fanghiglia risultante viene smaltita in uno scarico per rifiuti pericolosi o in un sito di smaltimento interrato. Il filtrato, invece, viene neutralizzato e inviato all'unità di trattamento delle acque di scarico. Per assicurare la qualità dei processi e per certificare che vengano rispettati i limiti previsti dalla legge, vengono effettuati diversi test analitici.

Di seguito vengono riportati (come esempio) alcuni dei trattamenti specifici per i rifiuti liquidi inorganici:

- I cianuri vengono ossidati in un ambiente fortemente basico ($\text{pH} > 12$) con ipoclorito di sodio, fino a cianato, quindi ad anidride carbonica e azoto. È, inoltre, possibile ossidare i cianuri (su scala tecnica), servendosi dell'ozono;
- I nitriti vengono ossidati a nitrati tramite perossido d'idrogeno in ambiente leggermente acido ($\text{pH} 3,5-4,5$);
- Il cromo(VI) – cromato – viene ridotto a cromo(III) tramite bisolfito di sodio in ambiente fortemente acido ($\text{pH} 2$);
- I fluoruri vengono precipitati come sali di calcio, tramite aggiunta di una soluzione di idrossido di calcio (lime milk);
- I metalli pesanti vengono precipitati come idrossidi in ambiente basico, oppure come solfuri in ambiente acido.