

ROBERTO BADIELLO (\*) - ALBERTO BRECCIA (\*)

## **Applicazione di alcuni principi di chimica alle problematiche di sicurezza ed igiene del lavoro (\*\*)**

### **Application of Some Principles of Chemistry to the Problems of Occupational Safety and Hygiene.**

**Summary** - Information on occupational safety and hygiene may be supplied to the students of chemistry from the first propaedeutic courses and further in the courses of Organic Chemistry, Physical Chemistry, Industrial Chemistry and Chemical Plants.

In fact some elementary principles of chemistry may be easily applied to safety problems. In particular some aspects of chemical reactivity, of combustion and fire chemistry, of gas reactions, of corrosion and of metal toxicity are presented and discussed in the light of the elementary notions of thermodynamics, kinetics, redox reactions, gas laws, electrochemistry and properties of transition and post-transition elements.

### *1. Introduzione*

Gli studenti e i neolaureati in materie chimiche mostrano frequentemente carenze culturali nel campo della sicurezza e dell'igiene del lavoro e di conseguenza le aziende trovano difficoltà nella ricerca di giovani disponibili e preparati ad affrontare problemi di natura ambientale e di sicurezza del lavoro.

Anche se negli ultimi anni si sono avuti significativi progressi in tale campo, il mondo accademico italiano è in larga parte responsabile di questa situazione. Purtroppo nell'Università italiana, a parte qualche settore, vige ancora la mentalità che l'attività di studio e ricerca non può essere distratta dalla applicazione delle normative sulla sicurezza e l'igiene del lavoro. L'adeguamento insufficiente delle strutture universitarie alla normativa esistente non è dovuto solo a carenze finanziarie degli Atenei ma anche a questa mentalità.

(\*) Istituto di Scienze Chimiche, Università di Bologna.

(\*\*) Relazione presentata al VI Convegno Nazionale di «Storia e Fondamenti della Chimica» (Cagliari, 4-7 ottobre 1995).

La figura professionale che pertanto esce dall'Università italiana, se si esclude forse l'ingegnere ed il laureato in Scienze Ambientali, è piuttosto incompleta ed incapace di valutare le implicazioni della propria attività nei riguardi sia dei lavoratori che dell'ambiente esterno.

Non si pretende che agli studenti vengano impartite «nozioni» particolari ed approfondite di sicurezza fine a se stessa, ma sarebbero sufficienti informazioni che colleghino le conoscenze di base con gli aspetti più pratici della sicurezza, dell'antinfortunistica e dell'igiene del lavoro.

Negli ultimi decenni lo sviluppo industriale in genere, e quello dell'industria chimica in particolare, sono stati accompagnati da un aumento di incidenti con perdite di vite umane e di beni materiali ed ambientali [1].

Questi eventi dannosi sono imputabili solo in parte a cause accidentali non prevedibili, mentre nella maggior parte dei casi possono essere spiegati con una analisi insufficiente e superficiale del processo chimico, con errori di progettazione, scarsa conoscenza delle proprietà chimico-fisiche e tossicologiche dei reagenti e dei prodotti, errori di gestione, etc.

Numerosi sono i casi di incidenti accaduti in laboratorio riportati in letteratura che ci fanno capire quale energia può essere messa in gioco anche con modeste quantità di materia [2]; alcuni di questi incidenti sono stati certamente provocati dalla mancanza di conoscenze chimiche o per non aver consultato la letteratura. Il fatto significativo è offerto, in qualche caso, dalla sorpresa del ricercatore universitario che apprende, solo dopo una sgradevole esperienza diretta, cose piuttosto ovvie, per esempio che una miscela di un forte ossidante e di un combustibile può reagire in modo esplosivo.

È pertanto importante che i giovani che si preparano ad attività di tipo chimico possano acquisire, fin dai primi anni di studio, quegli elementi che permettano loro, nella professione, interventi logici ed utili per evitare e ridurre gli incidenti e per rimediare in casi di emergenza.

Alcune informazioni di base, utili per gli aspetti di sicurezza, possono essere fornite agli studenti fin dai primi corsi propedeutici di Chimica Generale ed Inorganica e successivamente ancor meglio nei corsi di Chimica Organica, Chimica Fisica, nonché in quelli di Chimica Industriale, di Impianti Chimici e di Impianti della Industria Farmaceutica.

In questa comunicazione verrà presentata la applicazione di alcuni principi elementari descritti nei corsi di Chimica Propedeutica alle problematiche della sicurezza nei laboratori chimici.

## 2. Legge dei gas ideali e reazioni fra gas

L'equazione della legge dei gas ideali permette di operare, nei calcoli stechiometrici relativi alle reazioni fra gas, con variabili sperimentali oltre che con la massa.

Trascurando in questo contesto i sistemi sotto pressione (ad esempio le

bombole) e le reazioni sotto pressione che si fanno avvenire in autoclave, prendiamo in esame le reazioni che implicano sviluppo e successiva analisi di prodotti gassosi. Tali reazioni vanno studiate in apparecchiature da vuoto, costituite essenzialmente da un sistema di pompaggio (pompe rotative e diffusive), da uno di controllo del vuoto e dal corpo vero e proprio della linea da vuoto. Questa è costituita da un sistema di tubi di collegamento, trappole, valvole e rubinetti in vetro pyrex. I gas possono essere trasformati in liquidi (o solidi) mediante trasferimento con variazioni di temperatura e pressione ed intrappolati in contenitori ad immersione raffreddati con gas liquidi tipo azoto, elio od altra miscela refrigerante. Poiché P, V, T possono essere misurati, l'applicazione della legge dei gas ideali può essere utile per calcolare, in prima approssimazione, le moli di gas (n) senza alcuna determinazione ponderale.

Le pressioni all'interno della linea da vuoto sono sempre inferiori alla pressione atmosferica e pertanto il maggior rischio che si deve fronteggiare è rappresentato dalla possibilità di implosioni che potrebbero avvenire a causa di rotture accidentali della linea con danni anche rilevanti soprattutto se l'impatto interessa il viso dell'operatore, in particolare gli occhi.

Le apparecchiature da vuoto devono essere munite oltre che dei quadri di comando, di sistemi di protezione che garantiscano la sicurezza delle operazioni e devono essere utilizzate solo da personale adeguatamente addestrato.

Innanzitutto le linee vanno installate a parete ed in posizione tale da risultare il più possibile protette nei confronti degli urti accidentali, i vasi Dewar, utilizzati come contenitori di gas liquidi o altre miscele frigorifere per le trappole ad immersione, vanno protetti con una struttura metallica esterna od avvolte con nastro adesivo plastificato. Va fatto obbligo agli operatori di proteggersi il viso, o perlomeno gli occhi, con apposite visiere od occhiali in materiale infrangibile. Infine, onde proteggere l'operatore e l'altro personale eventualmente presente nelle vicinanze da rischi derivanti da eventuali implosioni, le linee da vuoto andrebbero dotate di schermi fissi e semifissi in plexiglas [3].

### 3. *Reattività chimica; aspetti cinetici*

Reazioni chimiche non controllate possono causare, anche se avvengono in piccola scala, incendi ed esplosioni, per cui è necessario conoscere i fattori che influenzano i sistemi chimici e le relative reazioni.

Tutte le reazioni chimiche coinvolgono scambi energetici che si manifestano soprattutto sotto forma di calore.

I pericoli maggiori sono connessi a reazioni che implicano il rilascio di discrete quantità di calore (reazioni esotermiche) ad una velocità troppo elevata per essere assorbita dall'immediato intorno del sistema reagente. Le misure atte a minimizzare i rischi sono perciò dirette a controllare sia l'estensione che la



velocità del rilascio dell'energia; ne consegue quindi che i fattori che influenzano la cinetica di reazione sono molto importanti per avere un quadro esatto della reattività del sistema: ad esempio la temperatura, la capacità dei reagenti ad incontrarsi, la concentrazione dei reagenti e l'effetto dei catalizzatori

Per un possibile controllo della reazione è infatti importante valutare in quanto tempo una determinata quantità di calore viene svolta o, in altri termini, quanto varia la cinetica di reazione al variare della temperatura. Quasi tutte le reazioni chimiche avvengono tanto più velocemente quanto più alta è la temperatura ed un aumento di 10°C raddoppia mediamente la velocità di reazione.

Può essere utilizzata, in questo contesto, l'equazione di Arrhenius

$$k = A \cdot e^{-E/RT}$$

ove  $k$  è la costante di velocità,  $A$  è il fattore di Arrhenius o di frequenza ed  $E$  è l'energia di attivazione, poiché tutte le reazioni chimiche presuppongono uno stato intermedio attivato avente un contenuto energetico superiore a quello iniziale pari al valore di  $E$ .

Il calore generato dalla reazione viene in parte dissipato all'ambiente ed in parte accumulato in un processo di progressivo innalzamento della temperatura. Il calore generato è funzione esponenziale della temperatura mentre quello dissipato è funzione lineare. Se questi effetti si bilanciano la temperatura raggiungerà un valore massimo per poi lentamente decrescere con la diminuzione della concentrazione dei reagenti, altrimenti la velocità della reazione aumenterà in modo esponenziale con l'esplosione ed i relativi effetti dirompenti.

Nelle reazioni eterogenee, cioè fra reagenti in fasi diverse, i reagenti possono entrare in contatto fra loro solo sulla superficie dell'interfaccia fra le due fasi e la grandezza di quest'area determina la velocità della reazione.

Nella combustione dei solidi, le modalità della combustione dipendono, fra le altre cose, dalla pezzatura, definita come rapporto fra il volume e la superficie esterna.

Questo spiega perché è difficile accendere un pezzo di legno di grandi dimensioni con un fiammifero nonostante la fiamma raggiunga i 1000°C mentre è facile accendere pezzi delle dimensioni di un truciolo.

In questo caso la superficie di attacco per l'ossigeno è relativamente grande rispetto al volume sicché è sufficiente una modesta quantità di calore per portarlo alla temperatura di accensione. Se le dimensioni sono molto piccole, le reazioni eterogenee possono essere esplosive ed innescate anche da una modesta scarica elettrostatica. Ciò può accadere nelle falegnamerie con un'alta concentrazione di polvere di legno nell'ambiente ed impianti elettrici non protetti (o con fiamme libere) od in altri ambienti ove ci siano particelle infiammabili nell'aria.

Una esplosione avvenuta in un impianto di sollevamento per il grano a New Orleans, Louisiana, nel 1977, causò la morte di ben 35 persone. L'esplosione

avvenne perché una scintilla innesco la reazione di particelle di grano finemente suddivise e mescolate con l'aria.

La velocità sia delle reazioni omogenee che eterogenee è influenzata dalle concentrazioni di reagenti. È noto che tutti i materiali bruciano più facilmente in ossigeno puro che in aria. I pericoli di una atmosfera composta da ossigeno puro sono stati dimostrati nel 1967 dall'incidente con la morte di tre astronauti, avvenuto in una navicella spaziale Apollo riempita di ossigeno per una esercitazione di volo simulato a Cape Canaveral.

Quando nel primo anno di chimica si affronta il capitolo delle reazioni di ossido-riduzione lo studente dovrebbe essere informato sull'importanza dell'ossigeno molecolare come agente ossidante e, seppur superficialmente, su alcuni aspetti della chimica della combustione e dell'incendio, che possono essere utili fin dalle prime esperienze in laboratorio [4].

In particolare la combustione del carbone e dei composti organici in presenza di una quantità di ossigeno insufficiente può produrre monossido di carbonio che è estremamente velenoso. Per queste ragioni gli ambienti, ove avvengono tali combustioni, devono essere ventilati e con un numero sufficiente di ricambi d'aria per permettere l'ossidazione completa del combustibile.

#### 4. *Reattività chimica; aspetti termodinamici*

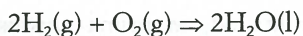
Si è già detto che alle reazioni chimiche è sempre associata una certa variazione di energia. Tale energia non è solo quella determinata dal calore o entalpia di reazione ( $H$ ) ma anche da un'altra funzione termodinamica, l'entropia ( $S$ ). L'entropia descrive il grado di disordine di un sistema ed ogni evento, accompagnato da un aumento di entropia, tende ad essere spontaneo. Le reazioni tendono sempre a muoversi verso stati di equilibrio caratterizzati da una bassa energia e da un alto disordine. L'equazione che combina queste forze trainanti assume l'espressione dell'energia libera di Gibbs

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

È questo il completo indice termodinamico che ci indica la spontaneità o meno di una reazione chimica.

Valori di  $\Delta G < 0$  indicano reazioni termodinamicamente possibili (a quella temperatura), mentre valori positivi indicano che la reazione (a quella temperatura) è termodinamicamente impossibile.

Pertanto le leggi della probabilità statistica non sono le sole da prendere in esame, ma si dovranno considerare anche le variazioni energetiche che avvengono nel corso dell'evento. Per esempio se consideriamo la reazione fra idrogeno ed ossigeno gassosi nella formazione di acqua liquida:



si osserverà che le molecole di reagenti gassosi rappresentano una situazione più disordinata rispetto al raggruppamento di due atomi di idrogeno ed uno di ossigeno nelle molecole di acqua liquida. Basandoci solo sul concetto di variazione di entropia osservata per questa reazione, la stessa sembrerebbe non spontanea. Ciò non è assolutamente vero come dimostrato dagli incidenti avvenuti in laboratorio od in ambiente scarsamente protetto ove venga impiegato idrogeno.

La reazione spontanea dell'idrogeno con l'ossigeno contenuto nell'aria portò, nel 1937 nel New Jersey, alla esplosione del dirigibile rigido tedesco Hindenburg riempito con il gas leggero idrogeno. Il disastro causò la morte di trenta persone e fece sì che negli aerostati l'idrogeno fosse sostituito da gas inerti, come l'elio e quindi assolutamente incombustibili.

Nella reazione suddetta fra idrogeno ed ossigeno, la forte natura esotermica della variazione di entalpia compensa la variazione negativa di entropia. Per determinare, pertanto, se una trasformazione chimica o fisica sia spontanea, è necessario analizzare l'importanza relativa delle variazioni di energia e di entropia.

Nel caso dell'impiego di idrogeno in laboratorio, lo studente deve sapere, fin dai primi anni di studio, che è necessario non usare fiamme libere, lavorare in ambiente con impianti elettrici protetti onde evitare scintille, e provvisti di sensori in modo tale da interrompere automaticamente il flusso di idrogeno quando il gas abbia raggiunto una concentrazione pericolosa nell'ambiente.

## 5. *Reattività chimica e struttura*

Nel trattare le reazioni redox in laboratorio, con le relative applicazioni in campo analitico e preparativo, ed i più comuni agenti ossidanti e riducenti, è opportuno far presente che i forti agenti ossidanti, ad esempio il permanganato, il cromato ed il bicromato, vanno maneggiati con cautela, evitando il loro contatto con materiali organici. Essi mettono facilmente a disposizione l'ossigeno necessario per la formazione dei normali prodotti di ossidazione delle sostanze organiche, quindi sono potenziali responsabili di incendi.

I solventi organici vanno sempre compartimentati in reagentari realizzati in materiale resistente al fuoco ed isolati dagli ossidanti inorganici, cosa che non sempre avviene nei laboratori didattici e di ricerca.

La conoscenza della struttura di un composto organico può fornire utili indicazioni circa la sua stabilità. È noto che molti raggruppamenti atomici, quando sono presenti in una molecola, sono indice di instabilità, per esempio lo sono i composti acetilenici, gli azo ed i diazocomposti, i nitroso ed i nitrocomposti, gli epossidi, i perossidi, i perclorati etc.

In genere questi gruppi atomici tendono a decomporsi formando prodotti termodinamicamente più stabili; il calore di formazione di un composto organico è un indice diretto di stabilità ed, in prima approssimazione, può aiutare ad



individuare un composto pericoloso. Un altro elemento strutturale importante è il bilancio di ossigeno, (Bo), cioè la quantità di ossigeno contenuto in una molecola. Questo parametro condiziona la possibilità di combustione anche in assenza di aria indirizzando la decomposizione verso prodotti termodinamicamente più stabili (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O). Indicando con C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>N<sub>p</sub>O<sub>q</sub> la formula bruta di un composto, il Bo sarà dato da:

$$Bo = z - 2x - 1/2(y - q)$$

Per valori di Bo < 0 si avrà difetto di ossigeno e quindi combustione incompleta; per valori di Bo > 0 la combustione avverrà completamente anche in assenza di aria.

In questo contesto può essere utile accennare che le sostanze chimiche pericolose sono classificate ed etichettate con simboli di pericolo raffiguranti i rischi principali (esplosive, ossidanti, infiammabili, tossiche, nocive, corrosive, irritanti, etc.) e che esse vanno sempre accompagnate da una scheda di sicurezza che deve contenere secondo criteri standard, informazioni sulla composizione, identificazione dei pericoli, stabilità, reattività, tossicità e molti altri dati utili ai fini della prevenzione dei rischi nelle varie fasi lavorative, di stoccaggio e di trattamento dei rifiuti [5].

## 6. Corrosione chimica

La corrosione delle strutture metalliche esposte ad un ambiente aggressivo è un fenomeno diffuso su cui si sono concentrati molti sforzi miranti a contenerlo.

Si intende per corrosione l'insieme delle reazioni che avvengono, per lo più spontaneamente, fra un materiale e l'ambiente, tali da provocare ossidazione e conseguente degrado del materiale stesso. La caratteristica dei metalli di corrodersi dipende dalle proprietà chimiche del metallo e dall'aggressività dell'ambiente. Tuttavia tutti i processi di corrosione si sviluppano con reazioni elettrochimiche, nelle quali lo scambio di cariche elettriche costituisce l'aspetto fondamentale della reazione.

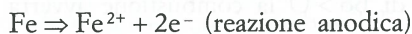
Nel caso dei metalli, le cariche elettriche necessarie alla reazione elettrochimica della corrosione, sono forniti dagli elettroni esterni degli atomi, che partecipano a tenere uniti i vari atomi della struttura metallica. Se gli elettroni sono allontanati dalla loro primitiva funzione, l'atomo di metallo si trasforma in ione libero, cioè non più legato alla struttura metallica. Lo ione ha la possibilità di migrare nell'ambiente ed è destinato a legarsi chimicamente con altre sostanze, dando luogo ad ossidi e/o sali.

Molti metalli reagiscono direttamente con l'ossigeno, anche se non in maniera spettacolare e veloce, come nelle combustioni di composti organici, in cui si liberano calore e luce, e tali reazioni di ossidazione sono indicate come corrosione.

Per la corrosione chimica è indispensabile che il metallo si trovi in contatto contemporaneamente sia con l'ossigeno che con l'acqua. In ambito tecnologico il principale agente aggressivo è l'ossigeno disciolto in acqua, a cui si possono aggiungere altri agenti meno importanti come l'anidride carbonica, l'anidride solforosa, gli ioni cloruro, etc.

La corrosione umida è un fenomeno di natura essenzialmente elettrochimica.

In termini chimici la reazione di corrosione può essere descritta come l'insieme delle seguenti due reazioni mutuamente indispensabili che, ad esempio nel caso del ferro, danno luogo a:



Globalmente le due reazioni danno luogo alla reazione di corrosione espressa da:



L'idrossido di ferro (II) viene rapidamente ossidato dall'aria ad idrossido di ferro (III) che si trasforma spontaneamente in ossido idrato di ferro (III), ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{XH}_2\text{O}$ ), chiamato ruggine.

La corrosione dei componenti negli impianti industriali può incidere negativamente sul processo produttivo, causando anche danni, per la riduzione dell'efficienza termica e per la eventuale fuoriuscita di prodotti; è pertanto necessaria una attenta manutenzione, riparazione e sostituzione di parti metalliche danneggiate e tutto ciò viene ad incidere sul costo del prodotto.

Un fenomeno di concentrazione della corrosione di grande importanza in elettrotecnica può avvenire nei dispersori di terra in contatto con due strati di terreno a diversa permeabilità di ossigeno, come ad esempio uno strato superficiale di sabbia ed uno strato più profondo di argilla. Lo strato sabbioso superficiale maggiormente a contatto con l'atmosfera e spesso molto umido favorisce la reazione catodica dell'ossigeno che richiama elettroni dalla reazione anodica localizzata nella porzione di terreno argilloso anaerobico più umido a causa del drenaggio dello strato sabbioso superiore.

Conseguenza di tale meccanismo è una corrosione concentrata su una piccola zona che può essere in grado, in breve tempo, di interrompere la continuità della dispersione, con grave pericolo per l'utente.

Un modo per impedire la corrosione dei metalli consiste nella verniciatura, nella passivazione o nella ricopertura con altri metalli.

Un altro modo per impedire la corrosione è la cosiddetta protezione catodica [6]. Essa consiste nel collegare ad esempio il ferro con un metallo che è



ossidabile più facilmente, ad esempio lo zinco. Quest'ultimo metallo costituisce l'anodo e tende ad ossidarsi, impedendo così al ferro di corrodersi.

In questo caso anche se i due metalli sono uniformemente esposti all'azione aggressiva dell'ambiente, la reazione anodica si concentrerà sul metallo meno nobile, sul quale si concentrerà la corrosione.

Questo tipo di corrosione che si verifica quando due metalli diversi, in contatto elettrico, sono esposti ad un ambiente aggressivo, prende il nome di corrosione galvanica e può essere facilmente compresa anche dallo studente dei primi anni se si tien conto del concetto della cosiddetta scala delle nobiltà del metallo. Questa caratteristica elettrochimica non è altro che la diversa attitudine dei metalli di passare dallo stato di atomo metallico allo stato di ione. L'elencazione dei metalli per grado decrescente di nobiltà prende il nome di «scala delle nobiltà». È noto, infatti, dalla scala delle nobiltà termodinamica, che l'oro, l'argento, il platino sono metalli incorrodibili, mentre lo zinco, il ferro e l'alluminio possono essere corrosi facilmente. In pratica bisogna però tenere conto che la scala di nobiltà in ambiente umido od in ambiente aggressivo può essere diversa da quella termodinamica per alcune variazioni nell'elenco dei metalli.

La tecnica della protezione catodica, sebbene non definita da alcuna normativa nazionale, è esplicitamente citata in varie occasioni dalla Norma CEI 64-2 sulla messa a terra delle masse a scopo protettivo [7].

## 7. Tossicologia dei metalli

È bene che fin dai primi anni lo studente di materie chimiche sappia che esiste una disciplina, la tossicologia industriale, che si occupa dello studio e della definizione degli effetti biologici provocati dai prodotti chimici.

In particolare la tossicità intrinseca di una sostanza dipende da diversi fattori come lo stato fisico (gas, vapore, polvere, fumo, aerosol, etc.), la struttura chimica (sostanza idrofila o idrofoba), le vie di penetrazione nell'organismo (respiratoria, per ingestione, attraverso la cute) e l'azione tossica (sostanze allergizzanti, cancerogene, mutagene, etc.).

L'avvelenamento da metalli pesanti (di transizione e di post transizione) può essere un semplice esempio di tossicologia industriale facilmente comprensibile anche dagli studenti dei primi anni di chimica.

Fra le sostanze importanti per la vita ci sono gli enzimi, catalizzatori che regolano la velocità delle reazioni chimiche del nostro organismo. Nel sito attivo di molti enzimi sono presenti gruppi tiolici  $-S-H$  e gruppi disolfuri  $-S-S-$ . La presenza di gruppi tiolici rende questi enzimi sensibili a particolari veleni, come gli ioni di metalli pesanti, tipo  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Hg^{2+}$ .

È nota fin dall'antichità la tossicità dei metalli come il piombo ed il mercurio e l'esistenza di stati patologici derivati dal loro accumulo nell'organismo

come il saturnismo e l'idrargirismo. Questi ioni possono combinarsi più o meno stabilmente con i gruppi  $-S-H$  distruggendo in questo modo la capacità dell'enzima di funzionare come catalizzatore. Quindi i sali solubili di rame, piombo, mercurio e di altri metalli pesanti costituiscono dei potenti veleni perché inibiscono l'attività enzimatica ed interferiscono nelle funzioni di membrana.

È interessante anche notare l'analogia con l'avvelenamento dei catalizzatori non biologici da parte di questi metalli pesanti; per esempio l'uso di catalizzatori posti nei tubi di scarico delle automobili prevede l'impiego di benzine senza piombo, presente come piombo tetraetile, perché questo interferisce con i siti attivi della superficie del catalizzatore, avvelenandolo e distruggendo le sue caratteristiche catalitiche.

Questi aspetti elementari di tossicologia dei metalli pesanti possono essere collegati alla chimica degli ioni complessi (o composti di coordinazione) formati da ioni metallici e differenti specie leganti. Anche la terapia nell'intossicazione da metalli pesanti viene effettuata mediante gli agenti chelanti, cioè farmaci capaci di legarsi stabilmente ai metalli tossici e di formare complessi solubili privi di tossicità che possono essere eliminati attraverso le normali vie di escrezione dell'organismo. Tali farmaci competono con i gruppi ad attività chelante presenti nei sistemi biologici (per esempio negli enzimi) e consentono quindi di prevenire ed eventualmente rendere reversibili i legami fra i chelanti biologici (ad esempio i gruppi  $-SH$ ) ed i metalli tossici. Le principali proprietà richieste a questi farmaci sono la capacità di legarsi stabilmente con i metalli pesanti e la buona tollerabilità. Fra i chelanti maggiormente usati sia nella profilassi che nelle fasi precliniche e cliniche dell'intossicazione da metalli ci sono l'acido etilendiamminotetracetico (EDTA) ed i suoi sali sodico e calcico, NaEDTA e CaEDTA ben noti agli studenti che frequentano i primi laboratori di chimica.

## 8. Conclusioni

I pochi esempi illustrati sopra mostrano come sia possibile impartire, fin dai primi corsi di chimica, informazioni che colleghino le conoscenze di base con gli aspetti pratici della sicurezza e dell'igiene del lavoro.

Gli aspetti presentati e discussi sulla reattività chimica ed i rischi connessi, sulla chimica della combustione e dell'incendio, sulla corrosione e la tossicità dei metalli possono essere legati ai principi elementari di termodinamica e cinetica chimica, alle reazioni redox, alla elettrochimica ed alle proprietà degli elementi di transizione e post-transizione.

Anche se il bagaglio di conoscenze può essere ancora modesto è bene che lo studente assimili la cultura della sicurezza fin dall'inizio degli studi e la applichi e la affini nel corso della vita studentesca e professionale.

Nei corsi successivi di Chimica Organica, Chimica Fisica, Chimica Indu-

striale, Impianti Chimici ed in quelli di esercitazioni laboratoristiche gli aspetti di sicurezza dovrebbero venir approfonditi dai docenti selezionando gli argomenti nel modo più appropriato alla materia di insegnamento.

Riteniamo più utile un simile approccio piuttosto dell'istituzione di un insegnamento completo sulla sicurezza chimica che potrebbe finire fra i numerosi insegnamenti complementari di cui sono ricchi i corsi di laurea ad indirizzo chimico.

Quanto detto appare particolarmente importante alla luce del recente D.L.vo 626/94, che recepisce otto Direttive Europee emanate nel 1989 e 1990 [8]. Il decreto entrato in vigore il 1/3/95 e che andrà applicato entro il 27/11/95, si applica in tutti i settori lavorativi, pubblici e privati ed a tutti i lavoratori dipendenti o figure a questi equiparati come gli allievi degli istituti di istruzione ed universitari, ed i partecipanti a corsi di formazione professionale «nei quali si faccia uso di laboratori, macchine, apparecchi, attrezzature di lavoro in genere, agenti chimici, fisici o biologici» (art. 2, comma 1, lettera a).

Quanto detto non è comunque una novità perché già le norme per la prevenzione degli infortuni, ai sensi del DPR 547/55 [9] vanno applicate a tutte le attività alle quali sono addetti lavoratori subordinati o ad essi equiparati, comprese quelle esercitate dallo Stato, Regioni, Province, Comuni, da altri enti pubblici e dagli Istituti di istruzione.

In base all'art 3 del citato DPR 547/55 per lavoratore subordinato si intende colui che al di fuori del proprio domicilio presta il proprio lavoro alle dipendenze e sotto la direzione altrui con o senza retribuzione anche a solo scopo di apprendere un mestiere, un'arte o una professione, gli allievi degli Istituti di istruzione sono equiparati ai lavoratori subordinati quando si faccia uso di macchine, attrezzature, utensili, apparecchiature varie.

Il D.L.vo 626/94 innova profondamente la situazione esistente perché riordina la metodologia, la responsabilità, i ruoli ed i compiti dei soggetti che interagiscono nella gestione dei rischi per i lavoratori. Le norme di legge, precedentemente esistenti, rimangono in vigore, ma devono, comunque, essere applicate in questo nuovo ambito di riferimento.

Esso segna una svolta ed una opportunità per le Università perché affida un ruolo ai docenti nell'insegnamento, nella ricerca e nella gestione della sicurezza.

Colui che ha la responsabilità di una attività didattica assume, secondo la propria qualifica, gli obblighi dei datori di lavoro, dei dirigenti e dei preposti.

Infatti la scelta dello svolgimento di attività didattiche e di ricerca che possano comportare rischio lavorativo rientra nella libertà di insegnamento e di ricerca del docente. Tale libertà, sottraendo al datore di lavoro il potere di scelta, implica di fatto lo spostamento sul docente, che tale potere di scelta ha, di compiti che nei normali luoghi di lavoro, sarebbero del datore di lavoro. Un docente che decide di svolgere attività didattiche e di ricerca comportanti rischi deve essere in grado, con riferimento a dette attività, di valutare i rischi specifici, di individuare le misure di prevenzione e protezione necessarie e di dare a



coloro che dovranno svolgere le attività in questione le informazioni e la formazione necessarie.

Mentre è un preciso obbligo dei docenti di laboratorio l'illustrazione, anche sommaria, dei rischi e degli atteggiamenti da adottare, ciascun docente di materie chimiche può essere in grado di collegare nozioni teoriche del proprio corso ad aspetti pratici di sicurezza, con l'obiettivo di operare una profonda azione di sensibilizzazione degli allievi a questa problematica.

Certamente una razionale ed efficace impostazione del problema della informazione e della formazione degli allievi dei corsi universitari ove sussistano le condizioni per considerare tali allievi quali soggetti cui vanno applicate le disposizioni legislative del Decreto 626/94 (e certamente lo sono gli allievi ad indirizzo chimico) richiede un periodo di tempo lungo ed una organizzazione che al momento l'Università italiana sta cercando di darsi; purtuttavia i docenti di materie chimiche sono in grado di trasmettere agli studenti informazioni di sicurezza chimica, collegati al loro programma del corso allo scopo di sensibilizzarli a questo tipo di cultura e con la finalità di mirare, anche attraverso la corretta applicazione della norma, alla promozione di un concetto di qualità che consideri come elementi costitutivi anche la salute e la sicurezza dei lavoratori e la protezione dell'ambiente.

BIBLIOGRAFIA

- [1] FORABOSCHI F.P., *Valutazione dei rischi*, Atti Convegno, «L'uomo e l'ambiente. Rischi e limiti di accettabilità», Sogesta, Urbino, 25-26 gennaio 1993.
- [2] OPPICI E., *Reattività chimica: valutazione dei rischi connessi*, Seminario di aggiornamento sulla sicurezza nei laboratori chimici, Gargnano 30 maggio - 3 giugno 1983, CLUED, Milano 1983, p. 195.
- [3] MINGHETTI L., MULAZZANI Q.G., *Le linee da vuoto dell'Istituto di Fotochimica e Radiazioni di Alta Energia*, (F.R.A.E.) del C.N.R., Rapporto Tecnico, 1983.
- [4] PIATTI D., *I principi della chimica dell'incendio*, «Antincendio», 2, 1989, p. 163.
- [5] MONTALI R., *I chemicals: le schede di sicurezza e l'evoluzione della loro normativa*, «Ambiente e Sicurezza sul Lavoro», 9, 1994, p. 42.
- [6] DUBINI S., *Prevenzione della corrosione mediante protezione catodica*, Atti 4° Seminario di aggiornamento tecnico negli impianti elettrici, Bologna 18-19 febbraio 1992, B Ticino, Milano, p. 45.
- [7] Norma CEI 64-2, *Impianti elettrici nei luoghi con pericolo di esplosione e di incendio*, 3° edizione, 1987.
- [8] D.L.vo 19 settembre 1994, n. 626, S.O.G.U. n. 265 del 12 novembre 1994, n. 141.
- [9] D.P.R. 27 aprile 1955, n. 547. S.O.G.U. n. 158 del 12 luglio 1955.