

ROBERTO NICOLUCCI

l'autore

altri
titoli

manuale della SALDATURA

Guida alla sicurezza nelle operazioni
all'arco elettrico, ossigas e nei processi correlati

vai alla scheda
del libro



 **EPC**
EDITORE

QUADERNI PER LA PROGETTAZIONE

MANUALE DELLA SALDATURA

Guida alla sicurezza nelle operazioni
all'arco elettrico, ossigas e nei processi correlati

di
ROBERTO NICOLUCCI



L'Autore ringrazia di cuore tutti coloro i quali hanno contribuito, con la loro esperienza e professionalità, alla revisione del testo per le parti di loro competenza, in particolare:

dr. Marcello Bonci (medico chirurgo specialista oftalmologo)

p.i. Stefano Brighina (welding engineer)

ing. Ivan Ceccaroni (progettista elettrico – Nova Engineering srl)

dr. Tatiana Franco (medico chirurgo specialista in medicina del lavoro)

dr. Davide Mazzotti (specialista in sicurezza e igiene del lavoro - Techno srl)

MANUALE DELLA SALDATURA

ISBN 978-88-6310-711-1

Copyright © 2016 EPC S.r.l. Socio Unico

Via dell'Acqua Traversa, 187/189 - 00135 Roma

Servizio clienti: Tel. 06 33245277 - Fax: 06 33111043

Redazione: Tel. 06 33245264/205 - Fax: 06 3313212 - www.epc.it

Proprietà letteraria e tutti i diritti riservati alla EPC Srl Socio Unico. La struttura e il contenuto del presente volume non possono essere riprodotti, neppure parzialmente, salvo espressa autorizzazione della Casa Editrice. Non ne è altresì consentita la memorizzazione su qualsiasi supporto (magnetico, magneto-ottico, ottico, fotocopie ecc.).

La Casa Editrice pur garantendo la massima cura nella preparazione del volume, declina ogni responsabilità per possibili errori od omissioni, nonché per eventuali danni risultanti dall'uso dell'informazione ivi contenuta.



Il codice QR che si trova sul retro della copertina, consente attraverso uno smartphone di accedere direttamente alle informazioni e agli eventuali aggiornamenti di questo volume.

Le stesse informazioni sono disponibili alla pagina:

<https://www.epc.it/Prodotto/Editoria/Libri/Manuale-della-SALDATURA/2300>



ing. Valeria Monti (specialista in sicurezza e igiene del lavoro – Techno srl)
ing. Francesco Pastremoli (esperto qualificato di III grado - Techno srl)
p.i. Riccardo Pinza (progettista elettrico - Elettromeccanica Pinza srl)
ing. Francesco Servadei (specialista in ingegneria antincendio - Techno srl)
dr. prof. Mariangela Vandini (fisico - ricercatore Università degli Studi di Bologna)
dr. William Vandini (chimico e chimico industriale)

Si ringraziano inoltre per la preziosa collaborazione prestata nella revisione finale:

dr. Francesca Calderoni
dr. Alissa Calzone
dr. Roberto Cammardella
dr. Stefano Carboni
geom. Giuseppe Migliaccio
ing. Maria Chiara Padovani

Benché l'Autore abbia prestato la massima cura nella ricerca e nella realizzazione del contenuto del presente volume e tutte le informazioni riportate – in gran parte desunte dalla bibliografia citata in epilogo - siano state verificate, ogniqualvolta sia stato possibile, anche confrontando fonti diverse, si declina ogni responsabilità per eventuali errori ed omissioni, nonché per eventuali danni derivanti dall'utilizzo delle informazioni contenute.

Tutte le immagini sono state inserite con il puro intento rappresentativo e, quando nota, è sempre stata citata la relativa fonte. L'Autore resta disponibile a correggere ed integrare il presente testo, in caso di errori od omissioni, in successive edizioni.

INDICE GENERALE



Premessa 9

PARTE PRIMA

Capitolo 1

INTRODUZIONE..... 15

Capitolo 2

CENNI STORICI..... 17

Capitolo 3

I PRINCIPALI PROCEDIMENTI DI SALDATURA..... 27

PARTE SECONDA

Capitolo 4

SALUTE E SICUREZZA DEGLI OPERATORI:
LE PROBLEMATICHE FONDAMENTALI..... 53

Capitolo 5	
FUMI, GAS E VAPORI DI SALDATURA.....	59

Capitolo 6	
IL RISCHIO ELETTRICO.....	133

Capitolo 7	
L'ELETTROMAGNETISMO	175

Capitolo 8	
LE EMISSIONI LUMINOSE DURANTE I PROCESSI DI SALDATURA: LUCE VISIBILE, INFRAROSSI (IR) E ULTRAVIOLETTI (UV)	183

Capitolo 9	
CAMPI ELETTROMAGNETICI NON OTTICI.....	213

Capitolo 10	
LE RADIAZIONI IONIZZANTI.....	225

Capitolo 11	
IL RUMORE	237

Capitolo 12	
LE VIBRAZIONI.....	265

Capitolo 13	
IL RISCHIO DI INCENDIO E DI ESPLOSIONE	275

Capitolo 14	
L'ERGONOMIA.....	305

Capitolo 15	
LA MOVIMENTAZIONE MANUALE DEI CARICHI (MMC)	323

Capitolo 16	
IL MICROCLIMA E LO STRESS TERMICO	331

Capitolo 17	
ALTRI RISCHI.....	361

PARTE TERZA

Capitolo 18	
L'UTILIZZO DEI GAS NELLA SALDATURA E NEI PROCESSI CORRELATI	373

PARTE QUARTA

Capitolo 19	
INFORMAZIONI DI SICUREZZA NELLE ATTIVITÀ DI SALDATURA: SEGNALETICA, ETICHETTATURA E SCHEDA DEI DATI DI SICUREZZA	475



Capitolo 20

ASPETTI LEGISLATIVI E SANITARI GENERALI 501

Capitolo 21

PRINCIPALE BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO 527

PREMESSA

In questo libro abbiamo voluto analizzare due argomenti tra loro intimamente correlati – quello della saldatura elettrica e quello dei procedimenti ossigas – che, per loro natura, presentano importanti risvolti nei riguardi della salute e della sicurezza degli operatori.

Le attività di saldatura all'arco elettrico e alla fiamma, praticate come attività primarie o accessorie ad altre, sono processi assai diffusi e si stima che possano interessare da vicino almeno 100 mila lavoratori in Italia, circa 500 mila negli Stati Uniti e, complessivamente, parecchie decine di milioni di lavoratori in tutto il mondo.

La tecnologia della saldatura è, fra i tanti sistemi di giunzione tra materiali metallici e non metallici, una delle più rapide, economiche, efficaci e affidabili nel tempo; la flessibilità di impiego ne ha fatto una tecnologia difficilmente sostituibile, anche nel prossimo futuro, in innumerevoli settori produttivi.

La saldatura all'arco elettrico, alla fiamma e tutte le tecniche ad esse correlate hanno raggiunto oggi un grado di sofisticazione molto elevato potendo contare su apparecchiature, impianti e procedimenti altamente affidabili e sicuri, ma non per questo possono essere considerate esenti da rischi per la sicurezza e la salute dell'operatore.

Come tutti i processi produttivi infatti, anche questo – nonostante gli incredibili progressi tecnologici a cui abbiamo potuto assistere nell'ultimo secolo e mezzo di storia industriale – comporta rischi che nascono proprio dagli elementi fondamentali che lo rendono possibile: in particolare, la composizione dei vari materiali che intervengono nel processo, la presenza di corrente elettrica e gas infiammabili e in pressione, le altissime temperature in gioco sono solo alcuni dei fattori che possono, in un modo o nell'altro, cagionare un danno all'operatore, ma sono di fatto ineliminabili e insostituibili, a meno di non voler rinunciare al processo stesso.

Fortunatamente, i fattori di rischio ed il nesso causale tra questi ed i possibili danni all'uomo sono oggi, in generale, ben noti. Questo bagaglio di conoscenze ha beneficiato, in molti casi, delle esperienze svolte in altri settori, mentre in altri casi è il risultato di ricerche, studi epidemiologici e sperimentazioni svolte direttamente nel campo specifico sia dai produttori di materiali ed attrezzature per la saldatura che da organismi governativi e indipendenti.

Tutto ciò ha consentito di mettere a punto materiali, attrezzature, dispositivi di pro-



tezione e procedure di lavoro estremamente affidabili e tali da consentire un totale controllo dei rischi a carico degli operatori.

L'unica vera ambizione di questo libro è dunque quella di costituire uno strumento in grado di aiutare chi opera in questo settore a mettere a fuoco le varie problematiche che possono comportare rischi per la salute e la sicurezza degli operatori. Il volume è quindi indirizzato ad addetti alla saldatura, tecnici della sicurezza, supervisori della produzione, project manager e, in definitiva, a chiunque venga assegnato il compito o la responsabilità di eseguire, supervisionare, organizzare, dirigere lavorazioni che contemplino queste problematiche. Non da ultimo, vi è la speranza che questo libro possa rappresentare un ausilio per quegli studenti che, nel loro percorso didattico, si trovino ad affrontare tematiche legate alla saldatura e ai vari procedimenti connessi.

Vale la pena sottolineare, a beneficio del lettore, che il libro è stato strutturato in modo tale che ciascun capitolo possa essere letto indipendentemente da quelli precedenti e seguenti.

Si è scelto di affrontare gli argomenti in modo semplice, privilegiando un taglio pratico – pur cercando di mantenere sempre il necessario rigore – tralasciando formulazioni, spiegazioni teoriche e approfondimenti che avrebbero richiesto conoscenze di base della chimica, della fisica, dell'elettrotecnica, della fisica tecnica, della tecnologia dei materiali, della fisiologia, dei processi industriali, ecc. superiori a quelle che, tutto sommato, occorrono per lavorare in completa sicurezza.

È anche doveroso precisare che questo libro non vuole in nessun modo sostituirsi ai molti, eccellenti testi indirizzati a chi debba effettuare le specifiche valutazioni dei rischi di natura chimica e fisica che, in diversa misura, interessano il settore della saldatura; per questo motivo – tranne sporadici accenni – si è deliberatamente evitato di affrontare argomenti quali la teoria del rischio, le metodiche di analisi, le tecniche di monitoraggio, le caratteristiche della strumentazione necessaria, la valutazione delle incertezze di misura, ecc.; per lo stesso motivo si è cercato di "alleggerire" il più possibile il testo anche da superflui riferimenti legislativi.

In alcune occasioni si è però ritenuto utile fornire valori indicativi di esposizione ai vari agenti di rischio riferiti, a seconda dei casi, a situazioni standard o specifiche desunte da dati di letteratura, ritenendole utili al fine di fornire un orientamento di massima sia per il personale operativo che per gli analisti.

Tutti gli argomenti trattati potranno comunque essere facilmente approfonditi facendo ricorso alla bibliografia riportata in epilogo.

Preme infine precisare che tutte le informazioni e i dati riportati provengono da

letteratura tecnica di riconosciuta affidabilità; ciò nonostante, non sono rari i casi in cui fonti di pari attendibilità riportino informazioni anche assai discordanti tra loro in relazione al medesimo argomento. In alcune di queste circostanze si è scelto di riportare le diverse fonti lasciando al lettore il giudizio in merito.

L'Autore



PARTE PRIMA

CAPITOLO 1

INTRODUZIONE

.....
Abstract: La saldatura è una tra le tecnologie più diffuse, e una delle più antiche, adottata dall'uomo per l'unione di due o più parti di materiali. Ne esistono molte varianti, ognuna delle quali ha una applicazione specifica.

La saldatura è, per definizione, il procedimento tecnologico che permette di unire tra loro parti di materiali – generalmente metalli, ma anche termoplastiche, vetro o altro – attraverso l'azione del calore o, in alcuni casi, attraverso l'azione combinata del calore e di un'opportuna pressione esercitata sulle parti da unire; ciò è in grado di generare un collegamento permanente caratterizzato, nelle zone in cui il procedimento viene applicato, dalla continuità del materiale.

Con il termine "saldatura" si intende inoltre anche la vera e propria giunzione fisica così realizzata (Figura 1.1).



Figura 1.1 – Cordone di saldatura su profilo tubolare

Per poter eseguire questo tipo di giunzione, si rende quindi necessario disporre di una sorgente termica che possa fornire calore in modo localizzato nella zona in cui si intende operare, limitando al contempo il riscaldamento delle zone non direttamente interessate.



In linea di principio, si può parlare di saldatura autogena quando l'unione di due elementi avviene facendo interagire esclusivamente il materiale componente le parti stesse (detto materiale base), oppure di saldatura eterogena (o eterogena) quando l'unione avviene con l'ausilio di un materiale (detto materiale d'apporto) estraneo al materiale base.

Nella saldatura autogena – qualsiasi sia la tecnologia adottata – i lembi da unire devono venire accostati tra loro, mentre nella saldatura eterogena i lembi da unire devono essere posizionati leggermente distaccati per dare modo al materiale d'apporto di penetrare tra di essi.

Nel caso di una saldatura eterogena si suole parlare di brasatura, qualora l'unione avvenga tramite fusione del materiale d'apporto senza che si giunga alla fusione del materiale base – che, di fatto, viene semplicemente plasticizzato –, di saldobrasatura quando si abbia una parziale fusione anche del materiale base e, infine, di saldatura vera e propria quando si abbia la fusione completa anche del metallo base. Nel caso della brasatura, si suole parlare di brasatura “dolce” o “forte” a seconda della più o meno elevata temperatura di fusione del materiale d'apporto; la brasatura dolce realizza, evidentemente, una giunzione meno resistente rispetto a quella forte dove le forze di adesione sono più elevate.

I processi di saldatura possono altresì essere classificati in relazione al coinvolgimento dell'operatore nella loro esecuzione: manuale, semiautomatico, automatico, robotizzato. Essi differiscono sostanzialmente per le modalità con cui l'operatore manovra la sorgente termica, il materiale d'apporto ed anche il pezzo in lavorazione. Si va dalla totale interazione tra operatore, attrezzatura e pezzo in lavorazione (nel caso della saldatura manuale) fino all'estremo opposto in cui il processo avviene in remoto, in modo programmato e totalmente automatico senza quindi alcun intervento diretto da parte dell'operatore.

In realtà, nella letteratura tecnica specialistica si trovano anche definizioni che si discostano parzialmente da quelle poc'anzi riportate, ma la questione risulta essere, ai nostri fini, tutto sommato ininfluenza: noi parleremo in tutti i casi semplicemente di saldatura.

In conclusione, limitandosi all'ambito della metallurgia, la saldatura risulta quindi essere l'unione di due elementi costituiti dallo stesso metallo o da metalli simili, realizzata sfruttando la loro capacità di adesione quando vengono sufficientemente riscaldati.

PARTE SECONDA

CAPITOLO 4

SALUTE E SICUREZZA DEGLI OPERATORI: LE PROBLEMATICHE FONDAMENTALI

Abstract: I lavoratori coinvolti in attività di saldatura sono potenzialmente esposti a diverse problematiche che impattano sulla sicurezza e sulla salute; tra le tante, si evidenziano le problematiche relative alla possibile inalazione o al contatto con sostanze pericolose, alle ustioni da contatto con materiali ad alta temperatura, all'elettrocuzione, ecc. La crescente sensibilità degli ultimi anni, nei riguardi della sicurezza dei lavoratori, ha permesso una drastica diminuzione degli incidenti e delle malattie professionali.

Come molti altri processi tipici dell'industria, la saldatura comporta problematiche che investono la sfera della sicurezza e della salute dell'operatore a causa della presenza di agenti di rischio che, per quanto notevolmente ridotti dal progresso tecnologico, risultano di fatto ineliminabili: si pensi, ad esempio, alla presenza della corrente che genera l'arco elettrico; alla presenza, nel materiale base o d'apporto, di elementi di lega talvolta tossici ma non totalmente eliminabili poiché garanti della buona riuscita del processo o delle prestazioni tecnologiche del giunto; si pensi ancora alle posizioni, spesso non ergonomicamente corrette, in cui si trova a lavorare l'operatore, problema insuperabile soprattutto per le saldature effettuate "in opera" nei cantieri; e così via.

Come già accennato tutto ciò, si traduce, quindi, in una serie di problematiche, di natura preminentemente chimica e fisica, che traggono origine sia dal procedimento stesso (incluse alcune operazioni accessorie quali la smerigliatura, la scricatura, il taglio, ecc.) che dall'ambiente in cui si opera.

Prima di affrontare, sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo, il problema dell'esposizione a tutti i possibili agenti che possono impattare sulla salute e la sicurezza degli operatori, occorre definire in modo il più possibile standardizzato come debba essere computato il tempo di esposizione durante ogni singolo processo.

La durata dell'esposizione ai vari agenti chimico-fisici in saldatura può essere definita semplicemente considerando la reale modalità con cui si svolge il processo.



Nel caso di qualsiasi procedimento occorre prendere come riferimento un singolo ciclo e poi, una volta analizzato nel dettaglio, considerare quante volte il singolo ciclo è ripetuto in modo pressoché invariabile durante un turno di lavoro; si consideri che il singolo ciclo di lavoro è fundamentalmente caratterizzato dalla modalità di alimentazione dell'elettrodo fusibile. Nel caso di un procedimento SMAW, ad esempio, il ciclo è caratterizzato dal tempo necessario a fondere un singolo elettrodo, mentre nei procedimenti semiautomatici a filo continuo occorre effettuare considerazioni di tipo diverso basate sulle interruzioni operative determinate da altre esigenze. Nel caso della SMAW, la durata del ciclo è data dalla somma dei tempi necessari alla preparazione dell'attrezzatura (inserimento dell'elettrodo nella pinza, regolazione parametri elettrici, ecc.), al posizionamento dell'operatore, all'accensione dell'arco, alla vera e propria attività di saldatura, alla rimozione della scoria e alle eventuali altre attività accessorie. Nell'arco dell'intero turno di lavoro dovranno però essere detratti tutti i periodi di riposo o eventualmente dedicati ad altre attività.

Ad esempio, s'ipotizza che in un procedimento SMAW il tempo caratteristico di un ciclo sia pari a 2 minuti (ovvero 120 sec); secondo quanto emerso da alcuni studi, il 60% di questo tempo (72 sec) può essere considerato indicativamente come il tempo massimo in cui l'operatore è effettivamente impegnato con la pinza ad effettuare la saldatura (ovvero il tempo che intercorre tra la accensione dell'arco e l'esaurimento dell'elettrodo), mentre il rimanente 40% (48 sec) come tempo dedicato al posizionamento delle attrezzature e dell'operatore, alla sostituzione dell'elettrodo, alla rimozione della scoria, ecc. L'esposizione del saldatore a tutti i possibili agenti chimici e fisici deve quindi essere rapportata al reale tempo di esposizione ai rischi specifici durante il periodo di riferimento e non al tempo complessivo: nel periodo standard preso come esempio, l'esposizione al rischio elettrico o termico può quindi essere considerato certamente pari a 120 secondi mentre l'esposizione a fumi di saldatura, UV, ecc. può essere considerata pari a 72 secondi. L'esposizione al rumore da smerigliatura risulterà invece certamente inferiore a 48 (ovvero 120 - 72) secondi; infine, per quanto riguarda le problematiche di tipo ergonomico, andrà probabilmente considerata nuovamente un'esposizione di 120 secondi, sebbene in differenti "configurazioni" a seconda della sottoattività svolta.

Si consideri che il tempo di effettiva accensione dell'arco dipende dalla lunghezza della bacchetta, dal tipo di elettrodo, dai parametri della corrente e da numerose altre variabili. In altri studi condotti su procedimenti manuali di diverso tipo, sono stati rilevati tempi di accensione effettiva dell'arco più ridotti, compresi tra il 25 e il 60 % del tempo totale: a questo proposito, quindi, di volta in volta occorrerà verificare attentamente i tempi in relazione allo specifico procedimento.

La natura e l'entità dell'esposizione ai vari fattori di rischio da parte dell'operatore



dipende da numerose variabili, principalmente correlate alla tipologia di processo adottato, all'ambiente in cui si opera e, non da ultimo, al comportamento dell'operatore: più nel dettaglio, il rischio può derivare dalle caratteristiche del materiale base, di quello d'apporto, dai parametri di saldatura (temperatura, intensità e tensione della corrente, ecc), dalle caratteristiche del manufatto stesso (forma, dimensioni, presenza di eventuali inquinanti, ecc.) e, di conseguenza, dalla posizione del corpo (ed in particolare del viso) dell'operatore e dalla sua distanza dalla sorgente di emissione degli agenti inquinanti, dalla durata dell'attività, dalla ventilazione dell'ambiente, ecc.

L'ambiente di lavoro influisce poi in relazione a ulteriori rischi derivanti da postazioni di lavoro in quota, in ambiente confinato, da microclima (acustico, termico e luminoso) sfavorevole, ecc.

Per quanto riguarda i fattori di rischio chimico, questi hanno in generale come bersaglio differenti organi del corpo umano, sebbene nel caso dei saldatori l'apparato respiratorio risulti uno tra quelli più colpiti in ragione del fatto che si tratta della via di assorbimento preferenziale per gli inquinanti aerodispersi; l'occhio risulta un organo altrettanto frequentemente colpito sia da agenti chimici che fisici.

Complessivamente, è possibile ritenere che le forme d'intossicazione acuta risultino notevolmente ridotte in epoca moderna grazie alla maggiore efficacia dei dispositivi di protezione individuale (DPI) e alla maggiore conoscenza dei pericoli, mentre le affezioni croniche risultano ancora relativamente diffuse, probabilmente in conseguenza della scarsa sensibilità alla protezione della propria salute dimostrata dai lavoratori fino a tempi relativamente recenti.

Secondo numerosi studi, le principali problematiche che investono la salute e la sicurezza dell'operatore possono essere riassunte ai fini pratici, anche se in un modo non completamente rigoroso, nelle seguenti macrofamiglie:

- inalazione e ingestione di sostanze tossiche (da fumi, vapori, gas);
- contatto della pelle e degli occhi con fumi, vapori, gas;
- tagli, abrasioni (superficiali e profonde) e schiacciamenti interessanti diverse parti del corpo inclusi gli occhi (da contatto con utensili, pezzi in lavorazione, proiezione di schegge, ecc.);
- ustioni alla pelle (da contatto con materiali ad alta temperatura e proiezione di materiale fuso);
- esposizione al rumore (prodotto dalle attrezzature di lavoro e d'ambiente);
- elettrocuzione (da contatto con corrente elettrica);

- esposizione a radiazioni ionizzanti (generate da alcuni materiali d'apporto o da particolari tecnologie);
- esposizione a radiazioni luminose (luce visibile, UV e IR prodotte dall'arco elettrico);
- esposizione a campi elettromagnetici (prodotti dalla corrente elettrica);
- posture scorrette (dovute alla forma del pezzo in lavorazione o al suo posizionamento nell'ambiente di lavoro);
- esposizione a vibrazioni (prodotte da utensili di lavoro);
- movimenti ripetitivi (originati dalla particolare procedura operativa);
- stress termico (da irraggiamento dovuto al processo e da caldo e freddo estremi nell'ambiente di lavoro).

Si tratta quindi di un ampio spettro di pericoli e correlati rischi che, se non affrontati adeguatamente, possono comportare danni più o meno gravi (talvolta irreversibili o addirittura letali) nel breve, medio o lungo termine.

È però altrettanto vero che, proprio per la criticità di alcune delle problematiche precedentemente accennate, negli ultimi cinquant'anni sono stati condotti accurati studi epidemiologici e ricerche di laboratorio finalizzate all'approfondimento delle conoscenze dei meccanismi di causa ed effetto sulla sicurezza e salute degli operatori. Il risultato è che oggi, ove sia stato possibile, sono stati eliminati i rischi all'origine ed ove ciò – per qualche motivo – non sia stato possibile, sono state sviluppate attrezzature di lavoro, dispositivi personali e collettivi di sicurezza e procedure operative altamente affidabili.

Non c'è alcun motivo (tanto meno economico) che possa oggi giustificare la mancata informazione e formazione dei lavoratori o la mancata implementazione delle necessarie misure protettive di tipo tecnologico e organizzativo; fortunatamente, la percezione del rischio, e l'aspettativa di protezione dai rischi occupazionali da parte delle giovani generazioni di lavoratori, risulta molto più elevata che in passato e anche questo ha contribuito notevolmente a diminuire le conseguenze derivanti dai vari rischi espositivi.

Tra le organizzazioni più attive nello studio delle problematiche legate alla sicurezza nei processi di saldatura si possono sicuramente citare l'*American Welding Society (AWS)*, l'*International Institute of Welding (IIW)*, la *European Federation for Welding, Joining and Cutting (EWF)* e certamente anche l'*Istituto Italiano di Saldatura (IIS)*; di particolare rilievo l'attività della Commissione VIII (Health, Safety and Environment) dell'*IIW* attiva anche nella definizione degli standard internazionali di riferimento



(ad esempio EN ISO 15011 – “Health and Safety in Welding and Allied Processes”).

Altrettanto attivi sono stati i grandi produttori di apparecchiature e materiali per saldatura tra i quali, solo per citare qualche esempio, merita ricordare le multinazionali americane Lincoln Electric e Miller Electric e le svedesi ESAB e Sandvik.

Per quanto riguarda le specifiche norme di legge e gli standard tecnici in materia di protezione dei lavoratori dai rischi derivanti dalle attività di saldatura adottati nei vari Paesi industrializzati, si osserva che, in tutti i casi, essi risultano assai simili tra loro e, da un punto di vista operativo, poco o nulla si discostano, in generale, dalle norme di buona pratica universalmente riconosciute. Per tale motivo, nel prosieguo ci si soffermerà principalmente sullo stato dell’arte operativo piuttosto che su specifici requisiti di tipo legislativo e normativo, limitandosi ad eventuali richiami normativi solo quando ritenuto significativo.

Resta ovviamente inteso che una verifica dei requisiti cogenti sarà d’obbligo prima di operare in un qualsiasi Paese (sia esso l’Italia, un Paese comunitario o extra-europeo).

Tra i più importanti e affidabili studi condotti fino ad oggi in materia di effetti sul lungo periodo prodotti dai fumi di saldatura, merita una citazione uno studio epidemiologico della *International Agency for Research on Cancer* (IARC) condotto su un gruppo campione composto da circa 11.000 lavoratori addetti alla saldatura di acciai al carbonio e inossidabili, operanti nell’industria metalmeccanica e nella cantieristica navale in nove Paesi europei. Questo studio ha portato a classificare il fumo di saldatura tra gli agenti potenzialmente cancerogeni.

Secondo quanto affermato da G.H. Grant McMillan, i casi di tumore ai polmoni nei saldatori è del 30÷40% superiore rispetto a quanto si riscontra in gruppi di lavoratori addetti ad altre attività. Occorre però precisare che nei numerosi studi epidemiologici condotti nel corso degli ultimi decenni questo dato risente fortemente di fattori confondenti di tipo sociale (in particolare dall’esposizione al fumo di tabacco) e legati all’ambiente di lavoro (ad esempio esposizione a fibre di amianto per i saldatori addetti alla cantieristica navale).

Uno studio condotto dal *Finnish Institute of Occupational Health* di Helsinki tra il 1993 ed il 2002, sulla base dei dati di denuncia di malattia professionale relativi alla generica categoria dei saldatori (operanti in diversi comparti produttivi), ha mostrato come, su un campione di 1.186 lavoratori, le denunce riguardassero (in percentuale) nel 35% dei casi ipoacusie, nel 19% dei casi fotocheratiti e nel 16% dei casi patologie da stress a carico degli arti superiori; nel 21% dei casi sono stati rilevati problemi di varia natura afferenti l’apparato respiratorio ma, in circa la metà dei casi, l’esposizione all’amianto è stata considerata un fattore confondente.

Nello stesso periodo, sul medesimo campione è stato riscontrato un solo caso di “febbre da fumi di saldatura”, un valore che, in considerazione della popolazione professionalmente esposta, potrebbe essere allineato, come ordine di grandezza, alla stima dell’*Occupational Health and Safety Agency* (OSHA), che indica in 2.500÷3.500 i casi rilevati annualmente negli USA.

L’esperienza quotidiana di chiunque si trovi a stretto contatto con saldatori che operino con procedimento SMAW sembrerebbe però testimoniare un’incidenza ben superiore di questa tipica patologia, su cui si tornerà successivamente; ciò probabilmente dipende dalla diffusa abitudine a non denunciare come malattia professionale questa patologia.

Per quanto riguarda gli infortuni, i dati diffusi dalla Airliquide indicano, per il settore della saldatura, un’incidenza (in percentuale) del 55% con interessamento del viso e degli occhi (radiazioni luminose, proiezione di materiale fuso, ecc.), del 32% con interessamento del corpo e delle mani (ustioni, elettrocuzioni, ecc.), del 10% con interessamento delle vie respiratorie (fumi, polveri, vapori, gas, ecc.) e del 3% con interessamento dell’apparato uditivo.

Stabilire una scala di importanza tra i diversi fattori di rischio cui sono soggetti gli operatori di saldatura non è però propriamente corretto, anche perché i rischi variano sensibilmente a seconda del procedimento e, a parità di procedimento, variano sensibilmente in funzione di numerosi parametri caratteristici del procedimento stesso. Anche per questo motivo, gli argomenti non verranno trattati, nel prosieguo, con una particolare sequenza prioritaria.

Si vuole però ribadire, ancora una volta, prima di affrontare la lunga disamina dei potenziali rischi, che la saldatura (così come tutti i procedimenti ad essa correlati) rappresenta oggi in generale un processo tecnologico altamente sicuro per l’operatore all’unica condizione che vengano adottate opportune misure prevenzionistiche e protezionistiche, sia di tipo tecnico che organizzativo.

PARTE TERZA

CAPITOLO 18

L'UTILIZZO DEI GAS NELLA SALDATURA E NEI PROCESSI CORRELATI

.....
Abstract: L'utilizzo di vari gas in ausilio ai processi di saldatura comporta una ulteriore consapevolezza e necessità di gestire i rischi associati. La presenza di gas tecnici (principalmente combustibili, comburenti e inerti) in ambiente di lavoro può causare condizioni di sovra e sotto ossigenazione, nonché rischi di intossicazione e di sviluppo di fenomeni di incendio e esplosione. È fondamentale quindi conoscere in dettaglio le caratteristiche chimico-fisiche dei principali gas impiegati nel mondo della saldatura e le caratteristiche delle varie attrezzature di lavoro impiegate nel loro utilizzo.

In questo capitolo saranno affrontate altre problematiche, complementari a quelle trattate nei capitoli precedenti e che, in un *excursus* generale sui vari procedimenti di saldatura e sui relativi rischi per la sicurezza e la salute degli operatori, non possono essere trascurate. Si tratta delle problematiche che riguardano, nella più ampia accezione, la gestione dei cosiddetti gas tecnici che sostanzialmente, come già citato in più occasioni, possono essere raggruppati in due differenti famiglie e impiegati in ambito di saldatura per due diversi scopi principali:

- gas combustibili e comburenti: vengono impiegati come componenti della miscela gassosa la cui combustione consente la saldatura autogena (per la precisione: brasatura, saldobrasatura e saldatura), il taglio, il riscaldamento e la piegatura alla fiamma;
- gas inerti: vengono impiegati per generare un'atmosfera protettiva in diversi procedimenti di saldatura all'arco elettrico; gas inerti vengono anche impiegati (al pari dell'aria e dell'ossigeno) per generare il plasma negli omonimi procedimenti di taglio e saldatura (PAC e PAW) dove il getto del gas ad alta pressione assolve anche alla funzione di fluido di espulsione del metallo fuso e di fluido di raffreddamento della torcia; con finalità parzialmente diverse i medesimi gas vengono anche utilizzati nei processi di taglio e saldatura al laser. In quest'ultimo caso, a



seconda della loro funzione, vengono spesso definiti “gas d’assistenza” e “gas laseranti”.

Il tema dei gas tecnici, applicati ai processi di saldatura e ai processi correlati, per la sua vastità, complessità e interesse meriterebbe una trattazione dedicata che andrebbe ben oltre un singolo capitolo; si è ritenuto di proporre una sintesi dell’argomento rimandando poi il lettore alla bibliografia riportata in appendice per l’eventuale approfondimento dei vari aspetti.

Con il termine “gas tecnici” – in letteratura comunemente identificati anche come “gas industriali” (*industrial gases*) e, limitatamente ad alcuni usi, “gas speciali” (*specialty gases*) – si intende, in generale, un’ampia famiglia di gas che trovano larghissimo impiego, con diverse funzioni, nei più disparati settori dell’industria (dalla chimica all’agroalimentare, dalla metallurgia alle biotecnologie), senza peraltro dimenticare l’importante ruolo di alcuni gas impiegati come “miscele respiratorie” nel settore sanitario e del *diving*.

Si tratta in effetti di centinaia di gas dalle caratteristiche più disparate – alcuni sono gas elementari, altri miscele composte da più gas – spesso commercializzati (essenzialmente nel caso delle miscele) con denominazioni che, seppur differenti tra loro, riconducono a formulazioni assai simili.

In questo capitolo ci si limiterà a trattare esclusivamente alcuni dei gas più frequentemente utilizzati nella saldatura e nei procedimenti correlati.

Verranno accennate – in relazione alla sicurezza e alla salute dei lavoratori – le loro caratteristiche chimico-fisiche, ma anche le problematiche correlate ai vari impianti tecnologici e ai relativi componenti necessari al loro uso, non dimenticando che i gas, in quanto tali e indipendentemente dalle loro caratteristiche chimiche, vengono generalmente stoccati e trasportati in recipienti di varia foggia e dimensione, a pressioni superiori a quella atmosferica, con conseguente ineliminabile pericolo di esplosione e di rapida diffusione dei gas in ambiente dovuto alla pressione di carica.

Non ci si occuperà invece delle molteplici problematiche (non minori in termini di importanza, ma non direttamente correlate all’obiettivo di questo testo) inerenti alla produzione dei gas, al riempimento delle bombole e dei serbatoi, al loro trasporto, all’ispezione e collaudo dei suddetti recipienti, così come non saranno trattate problematiche impiantistiche legate alla progettazione, gestione e manutenzione dei sistemi di distribuzione di stabilimento.

Nel capitolo 5 sono già stati introdotti concetti e definizioni relativi agli stati della materia e ai limiti di tossicità mentre nel capitolo 13 sono stati introdotti sinteticamente i concetti di infiammabilità (o esplosività) e le definizioni di LEL e UEL. Tutte queste



definizioni trovano ampia applicazione relativamente alle principali problematiche correlate ai gas tecnici, al loro possibile stato e ai relativi pericoli; si riprenderà quanto già visto aggiungendo qualche ulteriore concetto in modo da facilitare la comprensione di quanto verrà esposto nel prosieguo.

Tabella 18.1 – Composizione dell'aria secca standard utilizzata per atmosfera di combustione standard

COMPOSIZIONE DELL'ARIA SECCA		
COMPONENTE	FORMULA	% VOLUMETRICA O FRAZIONE MOLECOLARE [ppm]
Azoto	N ₂	78,08 %
Ossigeno	O ₂	20,95 %
Argon	Ar	0,934 %
Biossido di carbonio	CO ₂	398 ppm (2014)
Neon	Ne	18,18 ppm
Elio	He	5,24 ppm
Monossido di azoto	NO	5 ppm
Kripton	Kr	1,14 ppm
Metano	CH ₄	0,5 ppm
Idrogeno	H ₂	0,5 ppm
Ossido di diazoto	N ₂ O	0,5 ppm
Xeno	Xe	0,087 ppm
Biossido di azoto	NO ₂	0,02 ppm
Ozono	O ₃	da 0 a 0,01 ppm
Radon	Rn	6,0 x 10-14 ppm

NOTA:

1 ppm (parte per milione) = 0,0001%

10.000 ppm = 1%

Relativamente ai concetti di LEL e UEL è importante sottolineare che, a seconda della sostanza, essi variano sensibilmente in valore assoluto così come può variare l'estensione del campo di infiammabilità, ovvero l'ampiezza dell'intervallo compreso tra questi due valori. La loro determinazione viene eseguita in riferimento a un'atmosfera comburente di aria secca standard (Tabella 18.1) caratterizzata, spesso, ma non univocamente, da una pressione ambiente pari a 760 mmHg e una temperatura di 20 °C. Gli standard di determinazione dei valori di LEL e UEL non sono univoci e, in particolare, variano tra USA ed Europa rispetto ai volumi di prova: non c'è quindi da stupirsi se relativamente a una medesima sostanza proveniente dai due diversi continenti si riscontrano sulle rispettive SDS valori un

po' diversi. Le caratteristiche dell'atmosfera di prova costituiscono in tutti i casi un aspetto fondamentale in quanto all'aumentare del tenore di ossigeno in aria il valore di UEL si sposta verso valori maggiori (almeno fino ad un certo limite) rendendo così possibile l'innesco anche con percentuali ridottissime di comburente. È questo il caso, ad esempio, dell'acetilene, uno dei più diffusi ed efficaci gas per saldature autogene; anche l'aumento della pressione e della temperatura iniziale presente nell'ambiente tendono ad allargare il campo di infiammabilità spostando il LEL verso valori più bassi e contestualmente il UEL verso valori più elevati. Viceversa, la presenza in atmosfera di gas inerti, ovvero la sottossigenazione dell'aria comburente, è in grado di restringere sensibilmente il campo di infiammabilità di una qualsiasi sostanza fino a far coincidere i valori LEL e UEL rendendo di fatto la miscela incombustibile; la concentrazione di ossigeno relativamente alla quale i due valori di LEL e UEL coincidono e al di sotto della quale sia impossibile una combustione è comunemente indicata come LOC (Limiting Oxygen Concentration) o anche MOC (Minimum Oxygen Concentration).

A parità di altri parametri (*in primis* temperatura e pressione ambiente) il campo di infiammabilità dei combustibili varia anche in relazione al tipo di ossidante. Se è vero che l'aria è il comburente più diffuso (o meglio lo è l'ossigeno in essa contenuto) non si tratta dell'unico comburente presente in ambito industriale; ci si può infatti imbattere (anche accidentalmente) con relativa frequenza in altri ossidanti quali ad esempio Cl₂, NO, NO₂ che possono inaspettatamente reagire con diverse sostanze.

Nel caso di miscele composte da differenti gas o vapori generati da sostanze liquide o solide, i limiti di infiammabilità (FL) o esplosività (EL) – sia quelli inferiori (LFL o LEL) che superiori (UFL o UEL) – possono essere calcolati teoricamente utilizzando la Legge di Le Chatelier:

$$FL = \frac{100\%}{C_1/FL_1 + C_2/FL_2 + \dots + C_n/FL_n} .$$

in cui

C_x = è la concentrazione nella miscela del componente x, mentre FL_x è il relativo limite di infiammabilità.

Nella pratica il valore che si ricava da questa equazione non è sempre veritiero; infatti sperimentalmente si rileva che il LFL di una miscela è spesso inferiore al più basso dei LFL dei singoli componenti la miscela.

Se è vero che tutti i gas e i vapori infiammabili posseggono un LEL non è altrettanto



vero che tutti posseggano un UEL, o meglio, alcuni gas come ad esempio l'ossido di etilene, risultano di fatto combustibili anche al limite di una concentrazione anaerobica dell'atmosfera (e quindi il valore di UEL corrisponde in pratica al 100% di combustibile nell'intero volume); anche nel caso dell'acetilene a volte, in modo prudentiale, viene indicato un valore di UEL pari al 100% (valori frequentemente indicati sulle SDS e in letteratura sono compresi tra 82% e 92%). In relazione all'acetilene, come si avrà modo di sottolineare anche più avanti, si tratta spesso di dichiarazioni prudentiali dovute all'elevatissima instabilità chimica di questa molecola che è in grado di dare luogo a violente reazioni esotermiche anche in assenza di un comburente alla semplice condizione che il gas si trovi ad una modesta pressione e il contenitore in cui è stoccato subisca un urto.

In generale, a parità di altre condizioni, quanto più basso è il LEL e quanto più esteso è il range LEL-UEL, tanto più è pericolosa una miscela combustibile-comburente; viceversa, quanto più è elevato il valore di LEL e più è ristretto l'intervallo LEL-UEL meno la sostanza è pericolosa. Si tenga anche in considerazione nella consultazione dei dati di letteratura (SDS, prontuari chimici, ecc.) che i valori dei limiti d'infiammabilità ed esplosività sono da un punto di vista pratico coincidenti tra loro.

Come già visto nel capitolo 13, a pagina 275, il punto di infiammabilità (o *flash point*) di una sostanza combustibile liquida o solida è la temperatura (T_i) più bassa alla quale possono formarsi vapori in quantità tale che, in presenza di un comburente e di una sorgente di energia sufficiente, possano innescarsi ed autosostenere una reazione di combustione.

Il punto di infiammabilità di una sostanza riveste grande importanza ai fini della sicurezza: secondo standard correnti, le sostanze cosiddette altamente infiammabili sono quelle a più basso punto di ebollizione e sono caratterizzate da T_i inferiore a 21 °C, mentre quelle cosiddette infiammabili hanno un punto di ebollizione più elevato e una T_i compresa tra i 21 °C e i 65 °C. Per i prodotti con più elevato punto di infiammabilità le problematiche di sicurezza – in relazione a questa caratteristica – perdono di significato, quanto meno a temperatura ambiente.

Questo parametro perde totalmente di significato nel caso di un gas combustibile (che ovviamente è sempre infiammabile in ragione del suo stato fisico); allo stesso modo perde di significato in caso di formazione di aerosol (nebbie derivanti da condensazione o frazionamento meccanico di un liquido). In questi casi l'atmosfera potrebbe, infatti, risultare esplosiva a qualsiasi temperatura anche drasticamente più bassa del *flash point* teorico riferito alla sostanza liquida d'origine.

Questa criticità può assumere importanza nel caso di alcuni impianti portatili per taglio e saldobrasatura che utilizzano come combustibile un liquido pressurizzato e successivamente vaporizzato (tipicamente benzina o kerosene); questi impianti sono

peraltro poco diffusi in Europa, ma relativamente diffusi in altre parti del mondo.

Si noti che nel caso di sostanze caratterizzate da *flash point* superiore ai 20 °C il concetto di LEL e UEL potrebbe perdere di significato, o per meglio dire potrebbe complicarsi, essendo questa la temperatura standard alla quale questi indici vengono usualmente determinati.

Una definizione sulla quale vale la pena di tornare nuovamente è quella di temperatura minima di autoaccensione o di autoignizione (spesso indicata in letteratura anche come MIT – *Minimum Ignition Temperature*) di un combustibile che viene definita come la minima temperatura (sempre generalmente riferita alla pressione atmosferica e a un tenore pari al 21% di ossigeno in aria) alla quale un combustibile in presenza di aria può dar luogo spontaneamente, senza sorgenti di innesco esterne, ad una reazione di combustione.

Una sovraossigenazione dell'atmosfera provoca un abbassamento della temperatura di autoaccensione, così come, in generale ha lo stesso effetto, il confinamento dell'atmosfera; tra tutti i parametri caratteristici di un gas o vapore esplosivo, il MIT è uno di quelli che, nell'ambito della letteratura tecnica, presenta la maggior aleatorietà in relazione al fatto che può essere determinato in riferimento a diversi standard di prova non omogenei tra loro (in particolare riveste una importanza non trascurabile il volume del recipiente di prova).

Successivamente in questo capitolo sono riportati i valori di riferimento (Ti, MIT, LEL, UEL) di alcuni dei più diffusi gas e vapori utilizzati nel mondo della saldatura.

Un ulteriore aspetto di non secondaria importanza è quello relativo alla densità dei gas e dei vapori rispetto all'aria (miscela di gas alla quale viene, per definizione, assegnato un valore di densità pari all'unità); spesso indicato come ρ_d o vap_d , costituisce un importante parametro di controllo del comportamento dei gas ai fini della sicurezza degli operatori. Viene spesso riferito ad una densità dell'aria alla temperatura di 20 °C o 70 °F a seconda dello standard adottato.

All'aumentare o diminuire della temperatura dell'atmosfera rispetto al valore standard di prova, la miscela composta da gas/vapore e aria diminuisce o aumenta rispettivamente il proprio peso in valore assoluto, ma il rapporto tra la densità del gas/vapore e l'aria rimane ovviamente il medesimo delle condizioni standard.

Occorre viceversa prestare la massima attenzione alla possibilità che un gas/vapore esplosivo venga immesso in atmosfera a temperatura molto più bassa o molto più alta rispetto alla temperatura dell'aria presente nell'ambiente in cui ci si trova.

Come appena accennato, per tutti gli aeriformi la densità tende a diminuire all'aumentare della temperatura e viceversa a crescere al diminuire di quest'ultima. Ciò



vale anche per l'aria che, fissato ad 1 il suo valore a 20 °C presenta, rispetto a questo valore di riferimento, una densità pari a 0,91 a 50 °C e a 0,79 a 100 °C. Viceversa raggiunge valori pari 1,16 in corrispondenza di una temperatura di -20 °C e pari a 1,31 alla temperatura di -50 °C.

Se l'aria e il gas o il vapore sono alla stessa temperatura, ciò non rappresenta, come detto, un problema perché il rapporto rimane costante, ma se ad esempio un gas caldo penetra in un ambiente in cui è presente aria fredda (o viceversa) ciò rappresenta, fino all'avvenuto riequilibrio della temperatura della miscela costituita da gas/vapore e aria, un problema in più da valutare.

Ad esempio il metano, alla temperatura standard di 20 °C, ha un valore di vap_d pari a 0,55 ovvero è più leggero dell'aria; se però il metano viene immesso alla temperatura di -100 °C ($\text{vap}_d = 0,93$) in un ambiente in cui è presente aria alla temperatura di 50 °C ($\text{vap}_d = 0,91$) esso risulta nel transitorio più pesante dell'aria. Un sistema di monitoraggio predisposto per rilevare il metano (con i sensori generalmente posizionati nella parte alta del volume confinato) non sarebbe in grado di rilevare, almeno temporaneamente, una potenziale esplosività dell'atmosfera.

Probabilmente ancora più significativo è il fatto che gas e vapori normalmente più pesanti dell'aria a 20 °C, quali ad esempio la CO_2 ($\text{vap}_d = 1,52$) o il propano ($\text{vap}_d = 1,52$), se immessi come prodotti di combustione caldi (supponiamo a 200 °C), in un ambiente contenente aria alla temperatura di 20 °C, posseggono entrambi una densità inferiore ($\text{vap}_d = 0,94$) a quella posseduta dall'aria e quindi tendano inizialmente a migrare verso la parte alta dell'ambiente anziché verso il basso dove sarebbe più intuitivo aspettarsi di trovarli.

In definitiva, un attento controllo della densità dei vapori rispetto all'aria ambiente è di fondamentale importanza al fine del corretto monitoraggio di atmosfere tossiche, asfissianti ed esplosive.

La densità dei gas e dei vapori riferita ad una temperatura standard è normalmente riportata nella sez. 9 delle relative SDS; tuttavia in assenza di informazioni si tenga presente che l'aria è una miscela avente una massa molecolare di circa 29 e che, avendo a portata di mano una tavola periodica degli elementi che riporti le masse atomiche, la densità rispetto all'aria di qualsiasi gas monomolecolare (CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_2 , C_3H_8 , H_2S , H_2 , N_2 , O_2 , O_3 , ecc.) è facilmente deducibile calcolandone la massa come somma delle masse atomiche e rapportandola poi alla massa dell'aria (Tabella 18.2 a pagina 380).

Un altro aspetto spesso sottovalutato quando si trattano i gas tecnici è quello del loro odore; l'odore naturale o l'odorizzazione artificiale (spesso ottenuto tramite aggiunta di piccole quantità di mercaptani), se rilevabile dagli operatori, può costituire un

buon ausilio per il rilevamento di eventuali perdite o difetti di combustione di una data sostanza all'interno di un qualsiasi ambiente di lavoro. L'odore caratteristico di una certa sostanza, se presente in ambiente al di sopra di certe concentrazioni, potrebbe però non essere rilevabile dall'uomo a causa della sopraggiunta inibizione dei recettori olfattivi; è tipico il caso di desensibilizzazione causato da concentrazioni nell'ordine dei 100 ppm di H₂S.

Tabella 18.2 – Tavola periodica degli elementi chimici

Le masse atomiche tra scarsi quelle degli isotopi più stabili o più comuni.

Note: il sotto gruppo dei numeri 1-10 è stato adottato nel 1984 dalla International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC). I nomi degli elementi 112-118 sono gli insistenti nomi di questi nomi.

In linea generale i gas industriali possono essere classificati in diversi modi, a seconda del loro scopo; molte classificazioni hanno una valenza più commerciale che rigorosamente scientifica, ma risultano in ogni caso utili per orientarsi tra le varie opportunità offerte dal mercato, le varie applicazioni tecnologiche e le problematiche tipiche delle varie famiglie di gas.

- Una prima classificazione può essere proposta in base allo stato fisico che caratterizza il loro stoccaggio e trasporto in serbatoi e bombole (ve ne sono delle più varie fogge e dimensioni):
- gas compressi ovvero gas la cui temperatura critica è minore o uguale a -10° C (ad es. metano e ossigeno): i recipienti vengono riempiti ad alta pressione (spesso nell'ordine delle 200 ÷ 300 atm) mantenendo il prodotto allo stato gassoso;
- gas liquefatti ovvero gas la cui temperatura critica è maggiore o uguale a -10° C (ad es. GPL, CO₂, ecc.): i recipienti vengono riempiti sfruttando la capacità dei gas



di liquefarsi se sottoposti a modeste pressioni (in genere nell'ordine della decina di atm) a temperatura ambiente;

- gas disciolti sotto pressione (ad es. l'acetilene): i recipienti vengono riempiti sfruttando la capacità del gas di disciogliersi in uno specifico solvente a moderata pressione;
- gas criogenici liquefatti (ad es. azoto, ossigeno, argon, idrogeno, elio): si tratta di gas che hanno un punto di ebollizione molto basso (normalmente considerato inferiore a $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Si ricorda a tal proposito che viene definita "temperatura critica" (T_c) la temperatura alla quale, per una data sostanza, avviene una transizione di stato; nel caso particolare degli aeriformi (quali sono i gas industriali) ci si riferisce a T_c per definire la temperatura oltre la quale non risulta più possibile la transizione allo stato liquido partendo dall'aeriforme stesso, così come, in pratica, viene definita "pressione critica" (P_c) la pressione che occorre esercitare sull'aeriforme, portato alla temperatura critica, per ottenere la sua liquefazione (Tabella 18.3).

Si noti che la classificazione precedentemente proposta in relazione a temperature e pressioni di riferimento e ai conseguenti passaggi di stato delle sostanze non è univoca a livello internazionale come non sono univoche le pressioni di stoccaggio e trasporto ammesse dai vari Paesi per le varie categorie di gas. Altrettanto non universali sono etichettature, dimensioni e standard di costruzione e collaudo dei recipienti e i metodi di analisi per la determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche dei gas.

Tabella 18.3 – Temperatura e pressione critica di alcuni diffusi gas impiegati in saldatura

SOSTANZA	TEMPERATURA CRITICA ($^{\circ}\text{C}$)	PRESSIONE CRITICA (atm)
Argon	-122,4	48,1
Azoto	-146,9	33,5
CO ₂	31,0	72,8
Elio	-267,9	2,24
Idrogeno	-239,9	12,8
Ossigeno	-118,6	49,8

Un'altra frequente classificazione dei gas industriali viene proposta in base alle caratteristiche chimiche di reattività e/o di pericolosità per l'uomo:

- gas infiammabili (ad es. acetilene, GPL, metano): in presenza di un comburente sono in grado di dare luogo a reazioni di ossidoriduzione violente altamente esotermiche; sono anche sovente classificati come esplosivi;

- gas comburenti (ad es. l'ossigeno): in presenza di un combustibile sono in grado di dare luogo a reazioni di ossidoriduzione violente altamente esotermiche; sono anche classificati come ossidanti;
- gas piroforici (ad es. silano, fosfina, arsina): questi gas sono in grado di dare luogo già a temperatura ambiente (alcuni standard internazionali fissano in 54 °C la temperatura limite per questa classificazione) a combustioni o esplosioni anche in assenza di una sorgente di ignizione; in certe condizioni alcuni gas possono polimerizzare dando tipicamente luogo a reazioni esotermiche;
- gas inerti (ad es. argon, azoto, CO₂, elio): si tratta di gas generalmente, ma non sempre, non reattivi nei confronti di altre sostanze; risultano in tutti i casi asfissianti per l'uomo;
- gas tossici, corrosivi, cancerogeni (ad es. monossido di carbonio, ossido di etilene): indipendentemente da altre proprietà chimico-fisiche si tratta di gas altamente pericolosi per l'uomo in quanto in grado di avvelenare l'organismo attraverso meccanismi neurologici di varia natura; ad esempio il CO è in grado di legarsi facilmente alla emoglobina (Hb) del sangue sostituendosi all'O₂; l'ossigeno infatti presenta una affinità circa 200 volte inferiore al CO rispetto a questa importante proteina che in condizioni normali consente la veicolazione di circa il 98% dell'ossigeno (sotto forma di ossi-emoglobina) necessario alle funzioni vitali del nostro organismo.

È importante chiarire inoltre che per quanto riguarda la definizione di "gas inerte" nel caso specifico ci si riferisce solo all'assenza di proprietà combustibili e comburenti (oltretutto, come detto, all'essere un asfissiante per l'uomo): in realtà, nell'ambito delle tecnologie di saldatura, sarebbe forse meglio chiamarli "gas protettivi" perché se è vero che nel caso di alcuni gas elementari quali l'elio (He) e l'argon (Ar) – che appartengono alla famiglia dei gas cosiddetti "nobili" o "rari" – si tratta effettivamente di gas incapaci di reagire con qualsiasi altro elemento – viceversa molte molecole composte da differenti atomi (la CO₂, solamente per citarne una) e miscele posseggono proprietà reagenti e per questo possono essere definiti (quanto meno in ambito della welding engineering) anche "gas attivi" o "pseudo-inerti".

Dal punto di vista della pericolosità e dell'etichettatura, i vari regolamenti internazionali per la sicurezza del trasporto via terra, acqua e aria (ADR, IMDG, ICAO, ecc.) considerano – indipendentemente dal fatto che si tratti di una fase gassosa o liquida – le seguenti famiglie di "pericolosità":

- gas compressi;
- gas infiammabili;