



MINISTERO DELL'INTERNO
Dipartimento dei Vigili del Fuoco
del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile
Direzione Centrale per la Formazione

QUADERNI di SCIENZA & TECNICA



Supplemento alla Rivista ufficiale dei Vigili del Fuoco:





Quelli che s'innamoran
di pratica senza scienza,
son come 'l nocchieri
ch'entra in naviglio
senza timone o bussola,
che mai ha certezza
dove si vada

Leonardo da Vinci



3 **PRESENTAZIONE**

di Guido Parisi

5 **LA RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE CON I METODI
DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO**

di Antonio La Malfa

GLI EFFETTI DEL FUOCO SUGLI ELEMENTI STRUTTURALI – LE PRESTAZIONI
DI RESISTENZA AL FUOCO DA RICHIEDERE AGLI ELEMENTI STRUTTURALI PRESENTI IN UN
COMPARTIMENTO – LA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA AL FUOCO DEGLI ELEMENTI
STRUTTURALI – IL TEMPO EQUIVALENTE DI ESPOSIZIONE ALL'INCENDIO STANDARD

20 **STUDIO SULLA TOSSICITÀ DEGLI AGENTI CHIMICI**

di Antonio Maggi

PREMESSA – CLASSIFICAZIONE DEI DATI SULLA TOSSICITÀ – MODELLI DI VULNERABILITÀ –
DISCUSSIONE E CONCLUSIONI



COMITATO SCIENTIFICO

MINISTERO DELL'INTERNO

Dipartimento dei Vigili del Fuoco, del Soccorso Pubblico e della Difesa Civile

ISTITUTO SUPERIORE ANTINCENDI · Via del Commercio, 13 · 00154 Roma

PRESIDENTE

Guido PARISI · Istituto Superiore Antincendi
e-mail: guido.parisi@vigilfuoco.it

COMPONENTI

Diana ALESSANDRINI · Giornalista Radio RAI
e-mail: d.alessandrini@rai.it

Massimo BONFATTI · Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
e-mail: massimo.bonfatti@vigilfuoco.it

Mauro CACIOLAI · Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
e-mail: mauro.caciolai@vigilfuoco.it

Claudio DE ANGELIS - Direzione Centrale per le Risorse Logistiche e Strumentali
e-mail: claudio.deangelis@vigilfuoco.it

Stefano MARSELLA · Comandante Provinciale dei Vigili del Fuoco di Arezzo
e-mail: stefano.marsella@vigilfuoco.it

Barbara MAZZAROTTA · Prof. Ordinario Impianti Chimici · Ingegneria chimica e materiali
e-mail: mazzarot@ingchim.ing.uniroma1.it

Daniele NARDI · Prof. Dipartimento Sistemi Informativi · Università La Sapienza
e-mail: nardi@dis.uniroma1.it

Francesco NOTARO · Direzione Centrale per la Formazione
e-mail: francesco.notaro@vigilfuoco.it

Camillo NUTI · Prof. Dipartimento Strutture · Terza Università di Roma

Emanuele PIANESE · Direzione Centrale per l'Emergenza ed il Soccorso Tecnico
e-mail: emanuele.pianese@vigilfuoco.it

Sergio SCHIAROLI · Direzione Centrale per la Prevenzione e la Sicurezza Tecnica
e-mail: sergio.schiaroli@vigilfuoco.it

Giuseppe M. VECA · Prof. Ordinario di Elettrotecnica · Facoltà di Ingegneria · La Sapienza
e-mail: giuseppe.veca@uniroma1.it

SEGRETERIA DI REDAZIONE

Istituto Superiore Antincendi · Via del Commercio, 13 · 00154 Roma · tel.fax 0657064234

Maria FERRARA · Istituto Superiore Antincendi
e-mail: obiettivsicurezza@vigilfuoco.it

Cristiana VITTORINI · Istituto Superiore Antincendi
e-mail: obiettivsicurezza@vigilfuoco.it

PRESENTAZIONE

di Guido Parisi

Perché realizzare un supplemento tecnico scientifico alla rivista ufficiale dei vigili del fuoco “Obiettivo Sicurezza”? Il motivo va ricercato nella necessità di offrire uno spazio più ampio a coloro che intendono affrontare gli argomenti nel campo della sicurezza con maggiore rigore scientifico e con la voglia di fare dottrina, accettando così un confronto pubblico tra esperti, essenziale per il miglioramento continuo della base scientifica e culturale in un settore, quello della sicurezza, che ha sofferto spesso di indifferenza.

La pubblicazione vuole rendere accessibili agli studiosi ed ai professionisti le elaborazioni concettuali più significative che si producono nei diversi contesti sociali, dal mondo universitario a quello del lavoro, ospitando riflessioni di autori italiani ma anche importanti saggi di studiosi stranieri.

Sarà quindi un “foro” scientifico di livello internazionale che offrirà l’opportunità di sviluppare momenti formativi e di approfondimento che porteranno a riflettere e a rivedere approcci anche consolidati su argomenti specifici della sicurezza.

*Ecco il perché della nascita dei **Quaderni di Scienza e Tecnica**, a cura dell’Istituto Superiore Antincendi, che ho l’onore di dirigere.*

Sono riportate in copertina e in prima pagina immagini e frasi dell’italiano che viene giustamente considerato “l’uomo universale” per eccellenza nel campo della cultura: Leonardo da Vinci che ha spaziato in ogni campo dello scibile, dal volo dell’uomo ai sistemi meccanici ed idraulici di difesa del territorio, a riprova di una genialità che sorprende ancora oggi per la sua arditezza.

La pubblicazione avrà una “proiezione telematica” sul sito ufficiale dei vigili del fuoco (www.vigilfuoco.it) per una maggiore diffusione e informazione.

Sono grato al Prefetto Carlo Mosca che ha suggerito questa iniziativa e ai componenti del Comitato scientifico che ci consentiranno di sostenere questa iniziativa ambiziosa grazie al loro apporto altamente qualificato.

Ringrazio infine i primi due autori che hanno reso possibile l'inizio di questa avventura ed invito tutti gli esperti che intendono collaborare ad inviare i risultati delle proprie esperienze e conoscenze.

LA RESISTENZA AL FUOCO DELLE STRUTTURE CON I METODI DELL'INGEGNERIA DELLA SICUREZZA ANTINCENDIO

di Antonio La Malfa

GLI EFFETTI DEL FUOCO
SUGLI ELEMENTI
STRUTTURALI

L'incendio standard, viene descritto dalla curva nominale ISO 834 ed è rappresentato con una temperatura media dei gas di combustione che cresce continuamente nel tempo in modo logaritmico secondo la relazione:

$T_g = 20 + 345 \cdot \log_{10} (8 \cdot t + 1)$, dove t è il tempo espresso in minuti e T_g la temperatura in °C.

Tale curva d'incendio standard fornisce valori della temperatura che nella maggior parte dei casi sono più elevati di quelli che effettivamente si riscontrano durante un incendio naturale; infatti, nella fase finale di decadimento la temperatura decresce nel tempo a causa dell'esaurimento del combustibile (se non interviene prima un'azione di spegnimento da parte dei soccorritori).

È proprio per tale motivo che, cautelativamente, le prestazioni dei materiali e degli elementi strutturali che devono possedere determinate caratteristiche di resistenza al fuoco, poiché si trovano all'interno di attività soggette ai controlli di prevenzioni incendi, oppure perché tanto è stato stabilito a seguito di una analisi di rischio incendio eseguita sul luogo di lavoro, vengono attualmente verificate sottoponendoli all'azione del suddetto incendio standard; deve però rilevarsi che tale impostazione nella maggior parte dei casi risulta conservativa perché richiede agli elementi strutturali prestazioni superiori di quelle minime necessarie in relazione all'incendio naturale che realmente può svilupparsi in un determinato locale.

Gli effetti del fuoco sugli elementi strutturali sono dovuti al calore che si produce durante l'incendio; essi dipendono principalmente dai seguenti fattori:

- distribuzione della temperatura nei vari punti della sezione degli elementi strutturali;
- degrado delle proprietà dei materiali con l'aumentare della temperatura,

con conseguente diminuzione della resistenza degli elementi ed aumento della loro deformabilità;

- variazioni dello stato di sollecitazione per effetto di dilatazioni termiche impedito.

L'incremento di temperatura in un elemento strutturale dipende dalle modalità di sviluppo dell'incendio ed è tanto più elevato quanto minore è la sua inerzia termica.

La variazione della temperatura all'interno della sezione resistente dipende essenzialmente dalla forma e dalla conduttività termica dei materiali: negli elementi di acciaio, caratterizzati da sezioni sottili e da un materiale con conducibilità elevata, la distribuzione della temperatura è in pratica uniforme; al contrario, negli elementi con sezioni più grandi e realizzati con materiali relativamente isolanti, come il calcestruzzo, si hanno grandi variazioni tra la parte esterna a contatto dei gas caldi di combustione e quella centrale che si riscalda molto più lentamente.

Il pericolo maggiore per gli elementi strutturali è il degrado indotto dall'aumento di temperatura che riduce la resistenza dei materiali (limiti di rottura, di proporzionalità, ecc.) ed il modulo elastico; conseguentemente, si ha una diminuzione della loro capacità portante ed il possibile apparire di fenomeni d'instabilità.

Le azioni indirette dell'incendio prodotte dalle dilatazioni termiche impedito e le deformazioni dovute alla variazione di temperatura, conseguenti all'esposizione al fuoco, originano forze e momenti aggiuntivi. Per la loro valutazione devono essere presi in considerazione i seguenti casi:

1. dilatazione termica impedita dagli elementi stessi, per esempio pilastri nelle strutture multipiano a telaio con pareti rigide;
2. dilatazioni termiche diverse all'interno di elementi originate da materiali aventi coefficienti di allungamento differenti;
3. gradienti termici nelle sezioni trasversali che determinano sollecitazioni interne;
4. dilatazioni termiche di elementi adiacenti, per esempio spostamenti dei nodi dei solai dovuti alla spinta dei solai;
5. dilatazione termica di elementi che influenzano elementi esterni al compartimento.

Relativamente alle azioni meccaniche che si esercitano sugli elementi

strutturali si rileva che nelle varie procedure indicate nelle specifiche norme sono elencate le relative azioni di calcolo agenti che devono essere considerate e che riguardano:

- azioni permanenti, per esempio peso proprio delle strutture, finiture, attrezzature fisse ed ausiliarie;
- azioni variabili, per esempio carichi di esercizio, effetti indotti dal vento o dalla neve;
- azioni eccezionali, per esempio incendi, esplosioni, urti di veicoli, ecc..

Nella valutazione della resistenza a temperatura ordinaria di un dato elemento strutturale deve verificarsi se esso sia in grado di resistere alle azioni massime che lo sollecitano; la capacità portante a freddo può essere, pertanto, compromessa solo in presenza di un aumento della sollecitazione agente.

Il calcolo della resistenza degli elementi strutturali a caldo è, invece, più complesso poiché l'azione termica dell'incendio, come già affermato, oltre a produrre un incremento delle sollecitazioni agenti a causa del contrasto delle dilatazioni termiche, provoca un degrado delle caratteristiche di resistenza dell'elemento strutturale.

È allora necessaria una buona modellazione dell'incendio naturale se si vuole condurre una analisi di sicurezza degli elementi strutturali contro gli effetti dell'incendio con procedimenti analoghi a quelli eseguiti a freddo; a tal proposito, bisogna notare che la quantificazione degli effetti provocati da un incendio che si sviluppa all'interno di un locale è abbastanza complessa a causa della grande quantità di parametri, alcuni dei quali sono ancora oggi in fase di studio, dai quali dipende il fenomeno.

Per consentire una valutazione quantitativa degli effetti deleteri prodotti da un incendio sugli elementi strutturali (calcolo della resistenza al fuoco) si fa ricorso alla variazione nel tempo del valore medio della temperatura dei gas caldi di combustione presenti all'interno del locale; si ipotizza, quindi, che la temperatura nei vari punti dell'ambiente sia uniforme e tale assunzione è tanto più corretta quanto più l'incendio si è sviluppato.

È opportuno precisare che per un determinato elemento strutturale occorre:

- individuare la prestazione di resistenza al fuoco che viene ritenuta necessaria per il raggiungimento nell'attività a rischio degli obiettivi di sicurezza antincendio;
- valutare, in relazione alle caratteristiche ed alle condizioni di installazione, il valore di resistenza al fuoco effettivamente posseduto.

LE PRESTAZIONI
DI RESISTENZA
AL FUOCO DA RICHIEDERE
AGLI ELEMENTI
STRUTTURALI PRESENTI
IN UN COMPARTIMENTO

Attività a rischio d'incendio regolamentate da una specifica regola tecnica di prevenzione incendi

In presenza di attività per le quali esistono specifiche regole tecniche di prevenzione incendi emanate dal ministero dell'Interno, i valori della resistenza al fuoco degli elementi strutturali devono osservare le prescrizioni in esse contenute; al riguardo, è importante osservare che, il ministero dell'Interno per determinare i requisiti di resistenza al fuoco degli elementi strutturali in edifici adibiti ad uso "civile" (locali di pubblico spettacolo, scuole, alberghi, ecc.) ha sempre espressamente richiesto l'applicazione dei criteri contenuti nella circ. MISA. n° 91 del 14/09/61 prescindendo dal tipo di materiale costituente gli elementi, nonostante che essa all'epoca della sua emanazione avesse un campo di applicazione limitato solamente ai fabbricati civili con strutture in acciaio.

Si ritiene di dover rilevare che la circ. MI.SA. n° 91 del 14/09/61, oltre a permettere di determinare le prestazioni di resistenza al fuoco che un elemento strutturale presente in un compartimento deve avere in funzione del carico d'incendio, delle caratteristiche del locale, delle misure di protezione attiva e passiva antincendio e di quelle gestionali di emergenza, consente anche di verificare il valore di resistenza al fuoco che effettivamente esso possiede; tuttavia, è opportuno chiarire che tale verifica è possibile soltanto in determinate situazioni ed, in particolare, quando l'elemento strutturale è precisamente individuato nelle specifiche tabelle contenute nella circolare.

Attività a rischio d'incendio non regolamentate da una specifica regola tecnica di prevenzione incendi - I limiti di applicazione della circolare MI.SA. 14/09/1961 n° 91

In tale circostanza nel caso che le attività possano assimilarsi a quelle di tipo civile (uffici, ecc.), per la determinazione dei valori di resistenza al fuoco che gli elementi strutturali devono possedere, può ancora applicarsi il procedimento individuato dalla circ. MI.SA. n° 91/61, in analogia a quanto previsto dal ministero dell'Interno per le attività dotate di specifica regola tecnica di prevenzione incendi; tuttavia, qualora il valore che scaturisce dall'applicazione di tale circolare non venga ritenuto sufficiente, può essere richiesto dal locale comando provinciale dei vigili del fuoco un diverso valore

di resistenza al fuoco in relazione alle condizioni globali di sicurezza antincendio presenti nell'attività (misure di protezione attiva e passiva antincendio, gestione della sicurezza, ecc.), anche per tenere conto della possibilità di garantire alle squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

In caso contrario (attività non assimilabili a quelle di tipo civile), ritengo che il procedimento individuato dalla circ. MI.SA. n° 91/61 non possa trovare applicazione poiché in queste attività generalmente la distribuzione del combustibile è spesso non omogenea ed anche frequentemente variabile nell'intero compartimento e, quindi, ha poco senso parlare di carico d'incendio; a tal proposito, si rileva anche che la circolare del ministero dell'Interno n° 37 del 15/03/63 espressamente recita “... le norme emanate dalla circ. MI.SA. n° 91 del 14/09/61 devono essere osservate soltanto nel caso di edifici adibiti ad uso civile e, pertanto, è del tutto arbitraria la loro estensione ai fabbricati ad uso industriale che presentano, rispetto a quelli civili ed ai fini dell'incolumità delle persone, caratteristiche di impiego e quindi di pericolosità profondamente diverse.”.

La Circ. MI.SA. n° 91/61, inoltre, indicando che il carico d'incendio è in relazione con la durata in minuti dell'incendio, ammette implicitamente che il pavimento del compartimento antincendio sia tutto interessato contemporaneamente da un incendio pienamente sviluppato caratterizzato da una velocità di combustione massima, di valore costante, pari a 1 kg/min di legna per ogni metro quadrato di superficie a pavimento.

Ne consegue, ipotizzando un potere calorifico H del legno pari a 17500 kJ/kg, un valore della potenza termica massima RHR_s rilasciata per unità di superficie a pavimento che viene interessata dall'incendio di:

$$RHR_s = m_c \cdot H = 1/60 \cdot 17500 = 292 \text{ kW/m}^2$$

Pertanto, all'aumentare della superficie del pavimento del compartimento cresce il valore della potenza termica totale massima rilasciata dall'incendio nel locale; ad esempio, per una superficie del pavimento del compartimento antincendio di 1000 m², si avrebbe un valore di RHR_{max} pari a 292 MW che risulta particolarmente elevato e difficilmente riscontrabile in pratica.

In concreto, non può sostenersi la generica supposizione adottata dalla Circ. MI.SA. n° 91/61 in quanto prescinde dalle condizioni di ventilazione esistenti che influenzano il valore della potenza termica massima che effettivamente si determinerà nel compartimento antincendio in relazione alla superficie di ventilazione presente.

Metodo indicato nella norma tecnica contenuta nella parte IV del bollettino ufficiale del Consiglio nazionale delle ricerche n° 192 del 28/12/1999

Preliminarmente, occorre evidenziare che, in ottemperanza alle prescrizioni contenute nell'allegato A al DPR. 21/04/93 n° 246, una costruzione deve essere concepita e realizzata anche in modo da prevedere, in caso d'incendio, la possibilità per le squadre di soccorso di operare in condizioni di sicurezza.

Si rammenta che il DPR. 29/07/82 n° 577 recita: *“La prevenzione incendi costituisce servizio di interesse pubblico per il conseguimento di obiettivi di sicurezza della vita umana e incolumità delle persone”*; pertanto, le disposizioni del DPR. 21/04/93 n° 246, integrando esplicitamente gli obiettivi individuati dal DPR. 29/07/82 n° 577, forniscono ulteriori ed importanti indicazioni che devono essere osservate nell'espletamento dell'attività di prevenzione incendi.

È stata, al riguardo, pubblicata nel bollettino ufficiale del Consiglio nazionale delle ricerche N. 192 del 28/12/1999 – parte IV, la norma tecnica “istruzioni per la progettazione di costruzioni resistenti al fuoco” che al paragrafo 2.3 indica alcuni criteri per individuare le prestazioni da richiedere agli elementi strutturali e prevede cinque livelli di prestazione a seconda dell'obiettivo strategico che si intende perseguire (collasso strutturale accettabile, stabilità delle strutture per un periodo limitato all'esodo degli occupanti, stabilità delle strutture per tutta la durata dell'incendio, limitato danneggiamento delle strutture dopo l'incendio, piena funzionalità delle strutture dopo l'incendio); ogni livello comporta una precisa classe di capacità portante dell'elemento strutturale che dovrà essere mantenuta per tutto il tempo necessario a garantire le prestazioni associate allo specifico livello.

Per un livello III di prestazione è espressamente indicato che le strutture devono possedere *“requisiti di resistenza al fuoco tali da evitare, per tutta la durata dell'incendio, il collasso delle strutture stesse”*; a mio parere, tale livello consente di raggiungere gli obiettivi contenuti nel citato allegato A al DPR. 21/04/93 n° 246, soprattutto per quanto concerne la possibilità per le squadre di soccorso di poter operare in condizioni di sicurezza.

Si rappresenta che, a parità di carico d'incendio specifico a pavimento, la norma tecnica del Consiglio nazionale delle ricerche risulta più conservativa della circ. MI.SA. n° 91/61 giacché richiede agli elementi strutturali valori maggiori di resistenza al fuoco in termini di capacità portante.

Deve, comunque, tenersi presente la facoltà del locale comando provinciale

dei vigili del fuoco di prescrivere determinati valori di resistenza al fuoco agli elementi strutturali presenti nel compartimento, valutate le condizioni di sicurezza antincendio presenti complessivamente nell'attività, in applicazione dei criteri generali contenuti nel DPR. 29/07/82 n° 577.

Occorre altresì sottolineare che l'installazione di un idoneo impianto di rivelazione automatica d'incendio in un'attività nella quale sono state anche correttamente attuate le misure di gestione dell'emergenza stabilite dal DM. 10/03/98 consente di ottenere positivi risultati per garantire in modo ottimale la sicurezza delle persone in caso d'incendio; deve osservarsi che tale circostanza comporta anche benefici alla sicurezza degli elementi strutturali poiché, in caso d'incendio, l'intervento dei soccorritori potrà essere più tempestivo e, quindi, essi subiranno una minore sollecitazione termica.

LA VALUTAZIONE
DELLA RESISTENZA
AL FUOCO
DEGLI ELEMENTI
STRUTTURALI

Tale valutazione, secondo quanto indicato nel DM. 04/05/98 ed alle precisazioni fornite dal ministero dell'Interno – Dipartimento dei vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile con lett. prot. n° P 130/4101 sott. 72/E del 31/01/2001, può eseguirsi a seconda dei casi mediante:

1. le tabelle contenute nella circolare M.I.S.A. n° 91 del 14/09/61 se l'elemento strutturale è in esse precisamente individuato;
2. il procedimento individuato dalla norma UNI. - CNVVF. 9502, per gli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso;
3. il procedimento individuato dalla norma UNI. - CNVVF. 9503, per gli elementi costruttivi in acciaio;
4. il procedimento individuato dalla norma UNI. - CNVVF. 9504 o dal DM. 06/03/86, per gli elementi costruttivi in legno;
5. il procedimento individuato dalla norma tecnica contenuta nel bollettino ufficiale del Consiglio nazionale delle ricerche n° 192 del 28/12/99 – parte IV, per tutte le tipologie costruttive di elementi strutturali.

Si rileva che la maggior parte di tali procedure di valutazione prevedono che gli elementi strutturali vengano sollecitati dall'azione termica dell'incendio standard indicato nella norma ISO 834.

Si sottolinea, però, che nella norma tecnica del Consiglio nazionale delle ricerche al punto 2.3.3 è, inoltre, affermato che *“in alternativa ai metodi che fanno riferimento alle classi, la capacità portante può essere verificata rispetto all’azione termica del cosiddetto incendio naturale, applicata per l’intervallo di tempo necessario al ritorno alla temperatura ordinaria. Le curve da adottare per rappresentare gli incendi naturali sono quelle parametriche o quelle ottenute con modelli di calcolo di comprovata attendibilità che tengano conto delle caratteristiche del combustibile e di quelle del compartimento. I valori del carico d’incendio e delle caratteristiche del compartimento adottati per l’applicazione del metodo costituiscono un vincolo d’esercizio per le attività da svolgere all’interno della costruzione”*.

Occorre subito affermare che rappresentando l’incendio naturale mediante dei modelli di calcolo di comprovata attendibilità è possibile tenere anche conto dell’effetto prodotto dall’azione degli impianti di estinzione e valutare la variazione della temperatura dei gas caldi nell’ambiente in modo più puntuale rispetto alle curve parametriche nelle quali tale possibilità non è consentita.

Tale azione si esegue modificando opportunamente la curva di variazione nel tempo della potenza termica rilasciata dall’incendio in un determinato ambiente e permettendo così di calcolare nel modo più realistico possibile, in relazione alle attuali conoscenze, la quantità di calore che effettivamente interessa gli elementi strutturali, nonché di stimare con sufficiente accuratezza il valore di resistenza al fuoco che essi offrono.

Si aggiunge che anche la circ. MISA. n° 91/61, attraverso il calcolo del coefficiente K di riduzione del carico d’incendio, permette di stabilire le prestazioni di resistenza al fuoco che devono avere gli elementi strutturali in presenza di impianti di estinzione, ma non consente di valutare l’influenza che tali sistemi di protezione attiva antincendio hanno ai fini del calcolo del valore della resistenza al fuoco realmente offerto dagli elementi strutturali nel corso dell’incendio naturale che si sviluppa in un determinato ambiente.

Tale norma CNR prevede anche che *“in alternativa la classe di capacità portante richiesta può essere determinata, caso per caso, con il metodo riportato nell’appendice C”* che è quello del tempo equivalente di esposizione all’incendio standard.

Sono, quindi, espliciti i richiami all’applicazione delle procedure di ingegneria della sicurezza antincendio.

È importante evidenziare che analizzare la sicurezza strutturale in caso d’incendio con la curva temperatura-tempo dell’incendio naturale anziché con quelle no-

minali appare realistico e razionale e comporta un beneficio economico perché potrebbero essere più efficacemente impiegate le risorse finanziarie che il responsabile dell'attività deve dedicare alla sicurezza antincendio; infatti, con il risparmio derivante dalla esecuzione mirata delle misure di protezione passiva antincendio, verrebbero attuate più incisive misure di protezione attiva antincendio (ad esempio, l'installazione di un impianto di rivelazione automatica d'incendio) che consentirebbero comunque il raggiungimento di un sufficiente grado di sicurezza così come richiesto dalla legislazione vigente (ottimizzazione degli investimenti devoluti alla sicurezza antincendio per individuare nell'attività a rischio il valore minimo che, compatibilmente con il raggiungimento degli obiettivi di sicurezza stabiliti dalle vigenti disposizioni legislative, può assumere il rapporto costi/benefici).

È anche rilevante che vengano stabilite con oculatezza l'entità delle protezioni, qualora necessarie, da applicare agli elementi strutturali che devono garantire determinate prestazioni di resistenza al fuoco; inoltre, è conveniente effettuare sempre appropriate valutazioni analitiche di resistenza al fuoco e ricorrere alle verifiche tabellari solamente in casi particolari.

Si osserva che sia la norma UNI 9502 che quella CNR indicano esplicitamente che il tecnico abilitato deve valutare l'idoneità dell'intero sistema strutturale del compartimento antincendio; tale azione potrà eseguirsi verificando la capacità portante di singoli elementi strutturali e controllando il comportamento delle reazioni vincolari, degli schemi parziali e dei vari dettagli costruttivi per tutta la durata prevista dell'incendio.

Bisogna notare che i risultati ottenuti effettuando una valutazione analitica della resistenza al fuoco dovrebbero mantenere immutata la loro validità nel tempo in quanto dipendono dalle caratteristiche dell'elemento strutturale (geometria, materiali costituenti, ecc.) e dalle sollecitazioni su esso agenti; in ogni caso, mediante appropriati calcoli, possono essere previste le varie situazioni che potrebbero riscontrarsi durante l'esercizio dell'attività (ad esempio, possibile aumento delle sollecitazioni termiche a causa di un cambio di destinazione d'uso dei locali che comporta un maggiore rilascio di potenza termica nell'ambiente e, conseguentemente, una crescita dei valori della temperatura rispetto a quelli inizialmente attesi) e dimensionare opportunamente gli elementi strutturali al fine di evitare in futuro costose opere di adeguamento.

IL TEMPO EQUIVALENTE
DI ESPOSIZIONE
ALL'INCENDIO STANDARD

Gli elementi strutturali sottoposti all'azione di un incendio si danneggiano in quanto vengono investiti da grandi quantità di energia termica; infatti, nella fase successiva al flashover vengono raggiunte all'interno di un locale elevate temperature e, pertanto, la quantità di calore assorbita dagli elementi strutturali è notevole considerando che è principalmente dovuta all'irraggiamento che dipende dalla quarta potenza del valore della temperatura assoluta.

Generalmente, per verificare le prestazioni che è in grado di offrire durante un incendio, un elemento strutturale viene sottoposto all'interno di un forno di prova all'azione dall'incendio standard nel quale la temperatura dei gas caldi di combustione varia nel tempo con l'espressione indicata nella norma ISO 834.

Nel campo dell'ingegneria della sicurezza antincendio, per determinare il valore di resistenza al fuoco da attribuire in fase di progettazione ad un elemento strutturale, occorre preventivamente stabilire, in modo attendibile, come esso sarà termicamente sollecitato nel corso dell'incendio naturale che si svilupperà nel locale nel quale è installato.

È importante, quindi, individuare dei criteri che consentano di confrontare, caso per caso e nel modo più realistico possibile, gli effetti provocati sugli elementi strutturali dall'azione dell'incendio naturale con quelli che si verificano in un forno sperimentale nel corso della prova con l'incendio standard.

Il tempo equivalente di esposizione all'incendio standard può essere allora definito come quello dopo il quale un elemento strutturale, sottoposto all'azione termica della curva nominale temperatura-tempo della norma ISO 834, subirebbe, in prima approssimazione, lo stesso danno nel caso che esso fosse soggetto all'azione di un determinato incendio naturale.

In passato sono stati proposti vari metodi per confrontare le azioni indotte sugli elementi strutturali dall'incendio standard e da un incendio naturale; al riguardo, per valutare il tempo equivalente di esposizione all'incendio standard sono state svolte le seguenti considerazioni:

1. due incendi possono essere considerati fra loro "equivalenti" se le aree sottese dalle due curve temperatura-tempo che li descrivono sono uguali. Si rileva che in questo modo non si tiene effettivamente conto della quantità di energia termica che effettivamente investe un elemento strutturale, poiché curve temperature-tempo fra loro diverse originano, specie a temperatura elevata, flussi termici radianti sensibilmente diversi fra loro. Infatti, la quantità di calore trasferita ad un elemento strutturale da

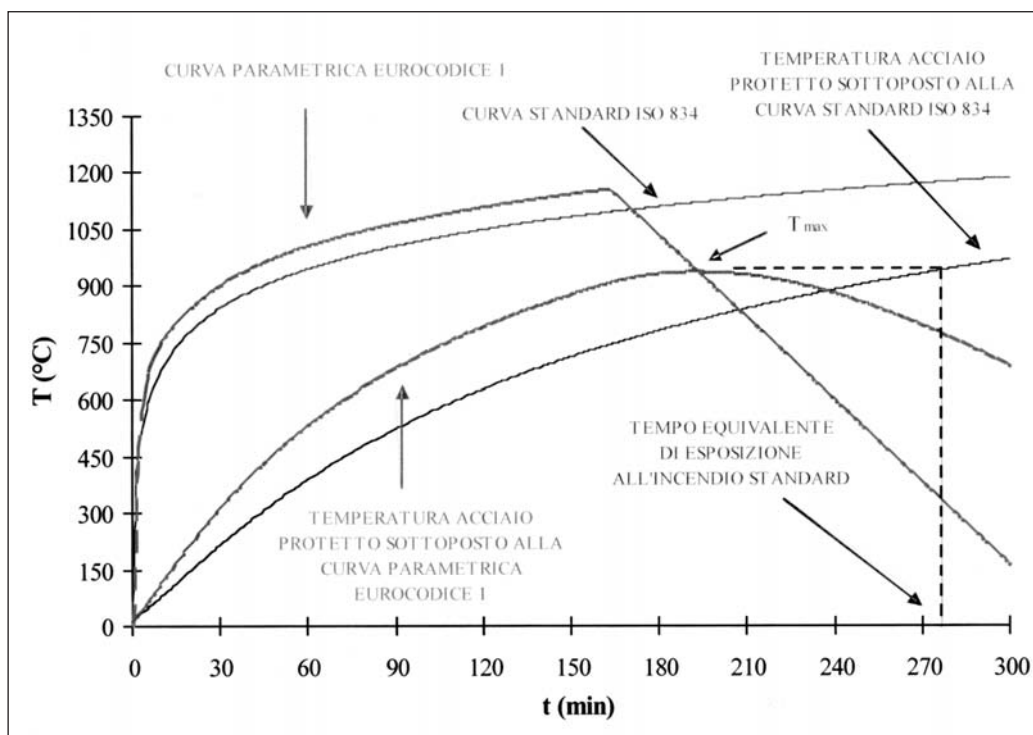
due incendi nei quali le relative curve temperatura-tempo sottendono la stessa area può essere molto più grande nel corso di incendi di breve durata e nei quali vengono raggiunte elevate temperature rispetto a quelli di maggiore durata e nei quali si hanno minori temperature (a parità di energia termica disponibile nei due casi si ha una notevole differenza della potenza termica rilasciata nell'ambiente). In sostanza, tale procedimento non appare idoneo a valutare il tempo equivalente di esposizione all'incendio standard;

2. il tempo equivalente di esposizione all'incendio standard è quello che produrrebbe la stessa temperatura massima in un elemento strutturale di acciaio che sulle varie superfici esposte al fuoco viene protetto con materiale isolante (in letteratura viene frequentemente indicato per l'acciaio una temperatura critica di circa $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ poiché a tale temperatura si ha una drastica riduzione del modulo di elasticità) termicamente spesso (all'interno dello spessore di materiale isolante a seguito dell'esposizione ad una sorgente di calore la temperatura non risulta uniforme come invece può considerarsi nel caso di spessori sottili). È significativo notare che tale procedimento conduce a risultati che, in molti casi, sono in accordo con quelli riscontrati nel corso di incendi naturali.

Tutte le espressioni analitiche che, a seguito di numerose prove sperimentali eseguite con incendi naturali di diversa evoluzione che si sviluppavano in locali aventi differenti caratteristiche, nel tempo sono state proposte prendono in considerazione i seguenti parametri:

- geometria del locale;
- proprietà termiche delle pareti che delimitano il locale;
- carico d'incendio presente nel locale;
- superficie di ventilazione del locale.

Calcolo del tempo equivalente di esposizione all'incendio standard ISO 834.



Il calcolo del tempo equivalente di esposizione all'incendio standard con il metodo indicato nella norma tecnica contenuta nella parte IV del bollettino ufficiale del Consiglio nazionale delle ricerche n° 192 del 28/12/1999

Questo metodo consente di valutare il tempo di esposizione all'incendio standard che viene considerato equivalente, ai fini della determinazione della classe, all'incendio naturale che può interessare il compartimento quando viene descritto attraverso le curve parametriche; esso è indicato nell'appendice C della norma tecnica contenuta nella parte IV del bollettino ufficiale del Consiglio nazionale delle ricerche n° 192 del 28/12/99 "Istruzioni per la progettazione di costruzioni resistenti al fuoco".

Il tempo equivalente $t_{e,d}$ di esposizione all'incendio standard di progetto espresso in minuti è dato da:

$$t_{e,d} = q_d \cdot K_b \cdot W$$

in cui:

- q_d rappresenta il carico d'incendio specifico di progetto, espresso in MJ/m^2 , riferito alla superficie netta A del pavimento; esso si calcola con la seguente espressione:

$q_d = \gamma_q \cdot \gamma_n \cdot q_K$; dove γ_q e γ_n sono due fattori parziali di sicurezza che tengono conto rispettivamente della pericolosità dell'attività svolta nella costruzione e dell'eventuale presenza in essa di sistemi di protezione antincendio; essi possono così valutarsi: per rischio d'incendio basso $\gamma_q = 1,0$, per rischio medio $\gamma_q = 1,2$ e per rischio alto $\gamma_q = 1,5$. Inoltre, in assenza di evacuatori di fumo e calore ed impianti antincendio ad attivazione automatica $\gamma_n = 1,0$, mentre in presenza di evacuatori di fumo e calore ad attivazione automatica di comprovata efficacia $\gamma_n = 0,85$; infine, in presenza di impianti di estinzione ad attivazione automatica di comprovata efficacia $\gamma_n = 0,70$. In pratica, la riduzione della temperatura dei gas caldi di combustione all'interno di un compartimento che si ottiene, ad esempio, a seguito del funzionamento di un impianto sprinkler, viene quantificata in una richiesta di prestazione di resistenza al fuoco degli elementi strutturali pari al 70% di quella che essi avrebbero dovuto possedere in assenza di tale sistema di protezione attiva antincendio.

q_K è il valore caratteristico del carico d'incendio specifico, espresso in MJ/m^2 e riferito alla superficie del pavimento; esso viene calcolato con la seguente formula:

$$q_K = \frac{\sum_i M_i \cdot H_i \cdot m_i \cdot \Psi_i}{A}$$

dove, M_i è la quantità del singolo materiale espressa in kg ed H_i il relativo potere calorifico inferiore in MJ/kg , m_i un fattore che descrive la partecipazione alla combustione del singolo materiale, che viene usualmente posto pari ad 1 e Ψ_i un fattore che generalmente assume il valore 1, oppure di 0,85 quando i materiali combustibili sono contenuti in contenitori incombustibili.

- K_b è un fattore espresso in $\text{min} \cdot \text{m}^{2,3}/\text{MJ}$ che dipende dalle caratteristiche delle pareti perimetrali di delimitazione del compartimento ed, in particolare, dal valore dell'inerzia termica $b = (\rho \cdot c_p \cdot \lambda)^{1/2}$; i valori della densità ρ sono espressi in kg/m^3 , il calore specifico c_p in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ e la conduttività termica λ in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$.

Qualora non siano note con precisione le proprietà delle pareti di delimitazione è opportuno assumere $K_b = 0,07 \text{ min} \cdot \text{m}^2/\text{MJ}$; in caso contrario, K_b può valutarsi dalla seguente tabella rilevando che, in ogni caso, b deve avere valore compreso fra 1000 e $2000 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2} \cdot \text{K})$.

Tabella
Valori del fattore K_b
indicati dall'Eurocodice 1
al variare dell'inerzia termica
delle pareti che delimitano
il locale

| $b = (\rho \cdot c_p \cdot \lambda)_{\text{parete compartimento}}$ $J/(m^2 \cdot s^{1/2} \cdot K)$ | K_b $(\text{min} \cdot m^{2,3}/MJ)$ |
|---|--|
| > 2500 | 0,04 |
| $720 \leq b \leq 2500$ | 0,055 |
| < 720 | 0,07 |

Nel caso di pareti composte da diversi strati di materiali l'inerzia termica deve essere così valutata:

$$b = (\sum_i s_i \cdot c_{pi} \cdot \lambda_i)^{1/2} / (\sum_i s_i \cdot c_{pi} \cdot \lambda_i / b_i^2)^{1/2}$$

dove: s_i è lo spessore dello strato i^{mo} , c_{pi} è il calore specifico dello strato i^{mo} e λ_i è la conduttività termica dello strato i^{mo} . Invece, in presenza di una parete di superficie totale A_t formata da materiali di differente natura, ognuno avente superficie A_{tj} , l'inerzia termica si calcola nel seguente modo:

$$b = \sum_j (b_j \cdot A_{tj} / A_t)$$

• Il fattore di ventilazione W è espresso in $m^{-0,3}$; esso si calcola con la seguente espressione:

$$W = (6,0/H)^{0,3} \cdot [0,62 + 90 \cdot (0,4 - \alpha_v)^4 / (1 + b_v \cdot \alpha_h)]$$

W deve avere valore superiore a $0,5 m^{-0,3}$. Nella suddetta espressione i termini sono:

$\alpha_v = A_v/A$; dove A_v è la superficie di ventilazione ricavata sulle pareti, mentre A è la superficie netta del pavimento del locale. Il valore di α_v deve essere compreso tra 0,025 e 0,25.

$\alpha_h = A_h/A$; A_h è la superficie delle aperture di ventilazione ricavate nel soffitto del locale.

Le superfici sono espresse in m^2 .

$b_v = 12,5 \cdot (1 + 10 \cdot \alpha_v - \alpha_v^2)$; b_v deve avere valore superiore a 10.

H è l'altezza media del compartimento espressa in metri.

È importante precisare che adottando questo metodo la classe di capacità portante da richiedere agli elementi strutturali dovrà in ogni caso risultare non inferiore ai valori minimi indicati nella seguente tabella; al riguardo, si precisa che la norma CNR individua, in determinati casi, con una valutazione tabellare la classe di capacità portante che, di regola, dovrà possedere un dato elemento strutturale e che, a tal scopo, il presente metodo può essere utilizzato in alternativa.

Tabella
Valori minimi della classe
di capacità portante
in funzione del carico
d'incendio specifico
di progetto

| q_d (MJ/m ²) | CAPACITA' PORTANTE CLASSE MINIMA |
|----------------------------|-------------------------------------|
| non superiore a 150 | R 15 |
| non superiore a 200 | R 15 |
| non superiore a 300 | R 15 |
| non superiore a 450 | R 30 |
| non superiore a 600 | R 30 |
| non superiore a 900 | R 45 |
| non superiore a 1200 | R 60 |
| non superiore a 1800 | R 90 |
| superiore a 1800 | R 120 |

NOTA
DEL COMITATO
SCIENTIFICO

Gli argomenti trattati rappresentano la base sulla quale sono stati sviluppati, in quest'ultimo anno, importanti aggiornamenti normativi. Il Ministero dell'Interno è attualmente impegnato a regolamentare un settore nel quale confluiscono differenti specifiche tecniche quali il Testo Unico delle Norme Tecniche sulle Costruzioni, gli Eurocodici strutturali completi delle appendici nazionali e le euroclassi previste dalla decisione della Commissione dell'Unione europea n. 2000/367/CE del 3/5/2000 con le relative modalità di prova EN, tenendo anche conto dell'ingresso sul mercato dei primi prodotti marcati CE aventi il requisito di resistenza al fuoco.

STUDIO SULLA TOSSICITÀ DEGLI AGENTI CHIMICI

di Antonio Maggi

PREMESSA

Questo articolo è stato estratto da una tesi presentata nella scuola di specializzazione in Sicurezza e Protezione presso l'Università degli Studi di Roma "La Sapienza".

L'articolo ha l'obiettivo di presentare uno studio approfondito sulla tossicità degli agenti chimici non convenzionali e si propone di fornire una base per la realizzazione di un libretto formativo che tratti in maniera completa la materia.

Inoltre introduce l'utilizzo dei cosiddetti "modelli di vulnerabilità" che costituiscono, entro certi limiti, una possibilità di correlare tra loro tre parametri: concentrazione misurata della sostanza, tempo di esposizione e probabilità di sopravvivenza della popolazione esposta.

Come è probabilmente noto, il personale del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha l'obbligo istituzionale del "soccorso tecnico urgente" e pertanto si deve sempre trovare all'avanguardia sia nelle tecnologie che nelle procedure d'intervento e nella formazione.

Anche prima della fatidica data del "11 settembre" nel C.N.VV.F. si aveva già il know-how che consentiva di intervenire anche nei siti industriali a rischio chimico convenzionale.

Gli attacchi terroristici hanno sicuramente modificato ed ampliato in tutte le nazioni del mondo il concetto di rischio chimico, dando una maggiore rilevanza alle sostanze non convenzionali.

L'attacco con il Sarin nella metropolitana di Tokyo, fu fatto con una miscela industriale di acetonitrile contenente solo il 37% di Sarin; tutte le strumentazioni campali all'epoca disponibili non furono in grado di rilevarlo.

In questo articolo vengono trattati i seguenti argomenti inerenti il rischio chimico:

- *Classificazione delle sostanze tossiche:*
 - Classificazione delle sostanze in base alla normativa vigente;

- Indici di riferimento (IDLH, LOC...);
- Limiti di DOSE (DL50, CL50);
- Limiti di SOGLIA (TLV-TWA/STEL/C);
- formule che consentono di ricavare, convertire e correlare tra loro i parametri precedentemente descritti.

– *Modelli di vulnerabilità:*

I modelli di vulnerabilità si basano essenzialmente sulla funzione di PROBIT, cioè su una funzione che consente di ottenere, nota la concentrazione misurata sul campo ed il tempo di esposizione, la probabilità, o meglio la percentuale attesa della popolazione che morirà.

Si tratta cioè di un metodo generalizzato che ci permette di calcolare, a partire dai dati di alta tossicità ottenuti dalle prove con gli animali, il numero di vittime umane (per una data popolazione) che derivano da un'esposizione a breve termine ad un determinato grado di concentrazione di una sostanza.

Verrà sviluppata una metodologia che consente di ricavare le costanti di Probit dai dati provenienti dalle prove di laboratorio su cavie con esempio numerico.

Con tutti i limiti che saranno successivamente esposti, l'utilizzo di tale funzione può fornire un ulteriore strumento di valutazione per il personale che interviene in una zona soggetta ad un attacco terroristico.

CLASSIFICAZIONE
DEI DATI
SULLA TOSSICITÀ

Classificazione delle sostanze

Le sostanze e i preparati sono classificati in base alla normativa di recepimento delle seguenti direttive ed adeguamenti al progresso tecnico: Direttive 67/548/CEE, 88/93/CEE, 78/631/CEE

D.Lgs.vo 3 febbraio 1997 n°52: Attuazione della direttiva 92/32/CEE concernente classificazione, imballaggio ed etichettatura delle sostanze pericolose. (G.U. 11/03/97, n°58)

Secondo tale decreto sono considerati pericolosi le sostanze ed i preparati:
OMISSIS

f) *molto tossici*: le sostanze ed i preparati che, in caso di inalazione, ingestione o assorbimento cutaneo, in piccolissime quantità, possono essere letali oppure provocare lesioni acute o croniche;

g) *tossici*: le sostanze ed i preparati che, in caso di inalazione, ingestione o

assorbimento cutaneo, in piccole quantità, possono essere letali oppure provocare lesioni acute o croniche;

h) *nocivi*: le sostanze ed i preparati che, in caso di inalazione, ingestione o assorbimento cutaneo, possono essere letali oppure provocare lesioni acute o croniche;

i) *corrosivi*: le sostanze ed i preparati che, a contatto con i tessuti vivi, possono esercitare su di essi un'azione distruttiva;

l) *irritanti*: le sostanze ed i preparati non corrosivi, il cui contatto diretto, prolungato o ripetuto con la pelle o le mucose può provocare una reazione infiammatoria;

L'assegnazione delle categorie *molto tossiche*, *tossiche* o *nocive* in base ai valori di DL_{50} e CL_{50} viene recepita con il D.P.R. 20 febbraio 1998 n°141 con riferimento ai seguenti parametri:

| Categoria | DL_{50} orale mg/Kg | DL_{50} cutanea mg/Kg | CL_{50} inalatoria mg/litro/4 ore | |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|--|-----------------|
| | | | Aerosols o particelle | Gas e vapori |
| Molto tossico | ≤ 25 | ≤ 50 | ≤0.25 | ≤ 0.5 |
| Tossico | 25-200 | 50-400 | 0.25-1 | 0.5-2 |
| Nocivo | 200-2000 | 400-2000 | 1-5 | 2-20 |

Una ulteriore classificazione e definizione per le sostanze pericolose viene fornita nel D.Lgs 17 agosto 1999 n°334 che nell'art. 2 (ambito di applicazione) definisce quanto segue: "Ai fini del presente decreto si intende per la presenza di "sostanze pericolose" la presenza di queste, reale o prevista, nello stabilimento, ovvero quelle che si reputa possano essere generate, in caso di perdita di controllo di un processo industriale, in quantità uguale o superiore a quelle indicate nell'allegato I del presente decreto.

Mentre nell'articolo 3 (definizioni) vengono definite "sostanze pericolose" le sostanze, le miscele o preparati elencati nell'allegato I parte 1, o rispondenti ai criteri fissati nell'allegato I parte 2

Indici di riferimento

Al fine di stabilire se le concentrazioni rilevate negli ambienti di lavoro rispettino le condizioni di salubrità dello stesso o, nel caso di sostanze chimiche non con-

venzionali, per stabilire se nelle zone soggette ad un attacco terroristico, sussistano le condizioni di sopravvivenza per le persone, occorre effettuare una verifica con degli indici di riferimento che rappresentano i livelli di esposizione accettabili da parte dei soggetti esposti.

Un primo importante parametro è l'IDLH

IDLH ("Immediately Dangerous to Life and Health": fonte NIOSH/OSHA): IMMEDIATAMENTE PERICOLOSO ALLA VITA e/o ALLA SALUTE: concentrazione di sostanza tossica fino alla quale l'individuo sano, in seguito ad esposizione di 30 minuti, non subisce per inalazione danni irreversibili alla salute e sintomi tali da impedire l'esecuzione delle appropriate azioni protettive.

In realtà tale parametro è stato sviluppato dal NIOSH *per la selezione dei dispositivi respiratori* e corrisponde alla massima concentrazione in aria di una sostanza (ppm e/o mg/m^3) in presenza del quale un lavoratore sano ha un tempo massimo di 30' per fuggire. Per sostanze che non hanno un valore di IDLH considero il

LOC = LEVEL OF CONCERN : LIVELLO DI GUARDIA = Concentrazione in aria di una sostanza pericolosa in presenza della quale un generico individuo disponga di un tempo massimo di 30 minuti, senza che si producano effetti gravi e irreversibili per la salute o il decesso.

Il LOC ha un valore pari a 1/10 di quello dell'IDLH ed è il corrispettivo di questo parametro per la popolazione generale.

Il LOC ("Chemical Process Quantitative Risk Analysis") può essere ricavato dai seguenti limiti di dose e/o concentrazione ricavati da prove effettuate in laboratorio su cavie: $\text{LOC} = 0,1 \times \text{LC}_{50}$

$$\text{LOC} = \text{LC}_{\text{L0}}$$

$$\text{LOC} = 0,01 \times \text{LD}_{50}$$

$$\text{LOC} = 0,1 \times \text{LD}_{\text{L0}}$$

È possibile effettuare il calcolo di LC_{50} (umano) utilizzando un fattore di estrapolazione

$$f_d \text{ (30minutes)}$$

$$\text{LC}_{50} \text{ (umano)} = f_d \times 30 \text{ minuti } \text{LC}_{50} \text{ (animale)}. \text{ [“Green Book del TNO”]}$$

Il fattore f_d è differente per ogni animale e/o cavia da laboratorio ed è pari a:

| animale/cavia | Ratto | Mouse | Cavia | Criceto |
|---------------|-------|-------|-------|---------|
| f_d | 0,25 | 0,5 | 0,2 | 0,3 |

Calcolo dell'IDLH

Si può inoltre stimare un valore di IDLH per l'uomo dai valori del LOC (animale) secondo la seguente formula: ("Chemical Process Quantitative Risk Analysis")

$$\text{ESTIMATED IDLH (mg/m}^3\text{)} = (\text{LOC} \times 70 \text{ Kg}) / 0,4 \text{ m}^3$$

dove:

70 Kg è il peso medio di un adulto

0,4 m³ è il volume inalato da un adulto in 30'

Limiti di dose

Ai criteri di valutazione delle sostanze tossico-nocive bisogna associare una assegnazione della categoria cioè del grado di pericolosità di queste sostanze.

Introduciamo ora il concetto di "TOSSICITA' ACUTA" nella cui denominazione sono compresi *quegli effetti che sono o possono essere riconducibili ad una unica esposizione* (somministrazione). Gli effetti di questo tipo sono caratterizzati mediante la determinazione della DOSE capace di uccidere la metà degli animali da esperimento, del potere irritante per gli occhi e per la pelle, del potere corrosivo, del potere sensibilizzante.

DOSE LETALE (DL₅₀) è la dose singola di una sostanza, valutata statisticamente, che si prevede provochi la morte del 50% nelle cavie trattati dopo 14 gg per via orale o cutanea.

CONCENTRAZIONE LETALE MEDIANA (CL₅₀) è la concentrazione di una sostanza in aria, valutata statisticamente, che si prevede provochi la morte, durante l'esposizione o entro un determinato tempo, consecutivo ad una esposizione per via inalatoria, del 50% nelle cavie trattati per un periodo di tempo.

Il valore della CL₅₀ viene espresso in termini di peso della sostanza in esame per volume standard di aria (mg/l).

Limiti di soglia

TLV (Threshold Limit Value)

L'adozione dei TLV istituisce in pratica un controllo permanente e sistematico dell'ambiente di lavoro che va abbinato alla sorveglianza medica dei lavoratori esposti.

Valore limite di soglia. Concentrazione di una sostanza aerodispersa al di sotto della quale si ritiene che la maggior parte dei lavoratori possa rimanere esposta ripetutamente giorno per giorno senza effetti negativi per la salute.

***SONO PERTANTO VALORI LIMITE DI SOGLIA E CONCENTRAZIONE
MASSIME ACCETTABILI – SONO RACCOMANDAZIONI!***

I TLV vengono indicati annualmente dall'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) e sono raccomandati anche dall'AIDII (Associazione Italiana degli Igienisti Industriale per l'igiene industriale e per l'ambiente). I TLV si suddividono in TLV-TWA, TLV-STEL e TLV-C. Questi limiti non costituiscono una linea di demarcazione netta fra concentrazione non pericolosa e pericolosa, né un indice relativo di tossicità, ma *servono come orientamento per la prevenzione dei rischi per la salute negli ambienti di lavoro.*

TLV – TWA (Time Weighted Average):

Per i composti aerodispersi rappresenta la concentrazione mediata nel tempo per una normale giornata lavorativa di otto ore ed una settimana lavorativa di 40 ore, per una vita lavorativa (40 anni), alla quale tutti i lavoratori possono essere esposti ripetutamente, giorno dopo giorno, senza effetti avversi.

TLV –STEL (Short Term Exposure Limit):

Per i composti aerodispersi rappresenta la concentrazione alla quale i lavoratori possono essere esposti con continuità per un breve periodo di tempo senza soffrire di irritazione, danni tissutali cronici od irreversibili, narcosi di grado sufficiente ad incrementare il rischio di infortuni, impedire l'autosoccorso o ridurre l'efficienza lavorativa. Non è un limite di esposizione indipendente e separato, bensì affianca ed integra il TWA quando si sono riscontrati effetti acuti da parte di una sostanza per la quale gli effetti tossici sono primariamente di natura cronica. I valori STEL sono raccomandati solo ove gli effetti tossici

sono risultati da un'alta esposizione per brevi termini in uomini od animali.

Il valore STEL è definito come un *valore mediato in un tempo di 15 minuti che non deve mai essere superato durante la giornata lavorativa*.

Esposizioni tra il TWA e lo STEL non dovrebbero essere più lunghe di 15 minuti e non dovrebbero avvenire più di quattro volte al giorno, con intervalli non inferiori a 60 minuti.

TLV – C (Ceiling):

La concentrazione che non dovrebbe essere superata durante nessun momento dell'esposizione lavorativa neppure istantaneamente.

Nella pratica dell'igiene industriale se la misurazione ad ogni istante non è fattibile, il TLV – C può essere accertato campionando ogni 15 minuti, tranne che per quelle sostanze che possono causare irritazione immediata con brevi esposizioni.

Per alcune sostanze, ad esempio gas irritanti, solo il TLV – C può essere rilevante. Per altre sostanze possono essere rilevanti una o due categorie, dipendentemente dalla loro azione fisiologica.

È importante osservare che se uno di questi limiti di soglia viene superato si presume che esista un potenziale pericolo da queste sostanze.

NOTE:

I valori dei TLV possono essere tratti dal manuale "Threshold Limit Value" dell'ACGIH, dai dati del SIGEM SIMMA e dal foglio di informazione tecnica TN 106 della RECOM, scegliendo in caso di disaccordo tra le fonti i valori più cautelativi.

Tali limiti sono definiti da organizzazioni come l'OSHA (US Occupational Safety and Health Administration), il NIOSH (US National Institute for Occupational Safety and Health, l'ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) o altri enti simili.

Conversione dei valori da ppm a mg/m³

La concentrazione dei tossici nell'aria può essere espressa in peso (mg/m³ di aria), in volume (parti per milioni "ppm") o con indice numerico (particelle/cm³); l'ultima espressione è valida soltanto per le polveri mentre l'indice di volume o in peso può essere applicato sia pure per le polveri che per le sostanze gassose.

Le espressioni delle concentrazioni in volume e in peso sono tra loro legate da una semplice formula che permette con rapidità il passaggio dall'una all'altra forma:

$$\text{mg/m}^3 = (\text{ppm} \times M)/24,450$$

dove: mg/m^3 = espressione della concentrazione in peso;

ppm = espressione della concentrazione in volume;

M = peso molecolare della sostanza;

24,450 = volume occupato da una grammomole di gas a 25° e 760 mm di Hg.

MODELLI DI VULNERABILITÀ

La prima considerazione che necessita fare è che i valori precedentemente descritti (TLV, IDLH, LOC ...) non sono disponibili per tutte le sostanze, cioè per le sostanze tossiche non convenzionali esistono essenzialmente dati di laboratorio inerenti la sperimentazione su cavie.

Si può utilizzare la funzione di Probit (la definizione di *Probit* e le relative tabelle di corrispondenza sono state dedotte dal Green Book) che è una funzione che consente di ottenere, nota la concentrazione misurata sul campo ed il tempo di esposizione, la probabilità, o meglio la percentuale della popolazione esposta che morirà.

La funzione di Probit, nella forma più elementare, è uguale a:

$$\text{Pr} = a + b_1 \ln C + b_2 \ln t$$

Ponendo $b = b_2$ e $n = b_1/b_2$ si ottiene la più usata:

$$\text{Pr} = a + b \ln(C^n t)$$

Ma i coefficienti a, b ed n sono stati determinati solo per circa 20 sostanze.

Vediamo un esempio per spiegare meglio l'uso della funzione di Probit è il seguente:

Determinare la % di decessi a causa della esposizione per 20' a 400 ppm di cloro

Per il cloro $a = -8,29$ $b = 0,92$ ed $n = 2$

Pertanto $\text{Pr} = -8,29 + 0,92 \ln(400^2 \times 20) = 5,49 \implies 69\%$ (percentuale della popolazione esposta che morirà).

Per il passaggio da 5,49 a 69% si vedano la tab. 5.2 e la fig. 5.1

Tabella 5.2
Rapporto
fra percentuale
e probit

| | | | | | | | | | | |
|----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| % | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | – | 2,67 | 2,95 | 3,12 | 3,25 | 3,36 | 3,45 | 3,52 | 3,59 | 3,66 |
| 10 | 3,72 | 3,77 | 3,82 | 3,87 | 3,92 | 3,96 | 4,01 | 4,05 | 4,08 | 4,12 |
| 20 | 4,16 | 4,19 | 4,23 | 4,26 | 4,29 | 4,33 | 4,36 | 4,39 | 4,42 | 4,45 |
| 30 | 4,48 | 4,50 | 4,53 | 4,56 | 4,59 | 4,61 | 4,64 | 4,67 | 4,69 | 4,72 |
| 40 | 4,75 | 4,77 | 4,80 | 4,82 | 4,85 | 4,87 | 4,90 | 4,92 | 4,95 | 4,97 |
| 50 | 5,00 | 5,03 | 5,05 | 5,08 | 5,10 | 5,13 | 5,15 | 5,18 | 5,20 | 5,23 |
| 60 | 5,25 | 5,28 | 5,31 | 5,33 | 5,36 | 5,39 | 5,41 | 5,44 | 5,47 | 5,50 |
| 70 | 5,52 | 5,55 | 5,58 | 5,61 | 5,64 | 5,67 | 5,71 | 5,74 | 5,77 | 5,81 |
| 80 | 5,84 | 5,88 | 5,92 | 5,95 | 5,99 | 6,04 | 6,08 | 6,13 | 6,18 | 6,23 |
| 90 | 6,28 | 6,34 | 6,41 | 6,48 | 6,55 | 6,64 | 6,75 | 6,88 | 7,05 | 7,33 |
| – | 0,0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 |
| 99 | 7,33 | 7,37 | 7,41 | 7,46 | 7,51 | 7,58 | 7,65 | 7,75 | 7,88 | 8,09 |

Probit %

Fig. 5.1
Effetto di una
trasformazione
del probit

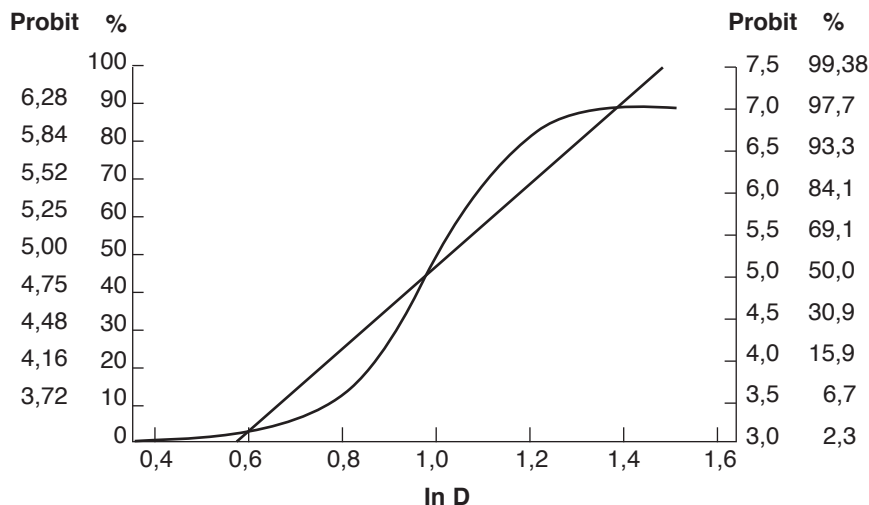


Fig. 5.1 - Effetto di una trasformazione del probit. La curva a S cambia in linea retta quando la percentuale non è più installata linearmente sull'asse verticale, ma i probit sono dati linearmente. In pratica la tavola 5.2 viene usata per la conversione delle percentuali in numeri e viceversa.

Nella figura 5.1 la percentuale di risposta a sinistra, il probit a destra,

(1) Tav 5.2 e fig. 5.1 tratte da pag. 15 del "Green Book" TNO – Methods for determination of possible damage.

sono disposti linearmente: la curva che forma una S parte dagli assi di sinistra alla linea dritta dell'asse di destra.

Nota: Per ottenere la percentuale corretta dalla tabella 5.2, dobbiamo cercare la combinazione adatta dei numeri (riga) e numeri interi (colonna), per esempio di $16\% = 10\% + 6\%$. Il numero all'incrocio la riga e colonna dà il probit corrispondente.

Al contrario, per un dato probit, la percentuale corrispondente può essere trovata aggiungendo il numero dieci al numero intero.

L'uso delle funzioni di Probit

In sintesi con le costanti del probit è possibile determinare i seguenti valori:

a) dato: *concentrazione C (mg/m³) la durata la t (minuti) di esposizione* determina: *la percentuale di risposta*

Procedura

1. Trovare le costanti a, b, n del probit dalla relativa tabella o calcolarle ove non esistenti.
2. Calcolare il probit $Pr = a + b \ln(C^n t)$;
3. Dalla tabella 5.2 si trova che la percentuale di risposta corrisponde al valore del probit (nell'esempio precedente relativo al cloro, si è ricavato il 69%).

b) dato: *la percentuale di risposta, durata di esposizione* determina: *la concentrazione*

Procedura

1. trovare in tabella 5.2 il valore del probit che corrisponde alla percentuale di risposta;
2. trovare, le costanti a, b, n del probit dalla relativa tabella ovvero calcolare a, b ed n
3. Calcolare la concentrazione con: $C = [(\exp(Pr - a)/b)]^{1/n}$

c) dato: *la percentuale di risposta, concentrazione* determinare: *la durata di esposizione*

Procedura

1. Trovare, dalla tabella 5.2 il valore del probit che corrisponde alla percentuale di risposta;
2. Trovare, le costanti a, b, n del probit dalla relativa tabella
3. Calcolare la durata di esposizione con:
 $t = [\exp((Pr - a)/b)] C^n$

Con i limiti che saranno esposti nel successivo paragrafo, è evidente come l'utilizzo della suddetta funzione può fornire un ulteriore strumento di valutazione per il personale che interviene in una zona soggetta ad un attacco terroristico.

Calcolo delle costanti a, b, n per le sostanze non convenzionali

Come specificato in precedenza, i coefficienti a, b ed n della funzione di Probit sono stati determinati solo per circa 20 sostanze.

È possibile ricavare i valori delle costanti a, b, n del Probit per le sostanze non convenzionali?

Prendiamo ad esempio i valori desunti dall'Irving-Sax per il GA Taburn relativi al valore $CL_{50} \text{ (ihl - mus)} 30'$ cioè al valore della concentrazione letale mediana (CL_{50}) in aria, valutata statisticamente, che si prevede provochi la morte, durante l'esposizione o entro un determinato tempo, consecutivo ad una esposizione per via inalatoria, del 50% nei topi trattati per un periodo di tempo pari a 30'. Tale valore è pari a: GA Taburn $\Rightarrow LC_{50} \text{ (ihl - mus)} 30' = 15 \text{ mg/m}^3$

Occorre però moltiplicare tale valore per il fattore di correzione $f_d \text{ (mus:topo)} = 0.5$

$$LC_{50} \text{ (umano)} = f_d \times 30 \text{ minuti } LC_{50} \text{ (animale)}$$

$$LC_{50} \text{ (umano)} = 0,5 \times 15 = 7,5 \text{ mg/m}^3$$

A questo punto, come verrà spiegato nel successivo paragrafo, si può fissare $b=1$ ed $n=2$ e ricavare dalla funzione di Probit la costante

$$a = 5 - \ln \{ [LC_{50} \text{ (umano)}]^n \} \times 30 \Rightarrow a = 5 - \ln \{ [7,5]^2 \} \times 30 = -2,431$$

L'istituzione dei modelli di vulnerabilità applicabili all'essere umano richiede due passaggi: la determinazione del $LC_{50} \text{ (umano)}$ ed il calcolo delle costanti del probit.

Il calcolo del $LC_{50} \text{ (umano)}$ è basato sui valori conosciuti $LC_{50} \text{ (animale)}$. Questi ultimi, se necessario, sono convertiti in valori che corrispondono ad una durata minima di esposizione di 30 minuti. Perciò, l'estrapolazione è fatta con l'aiuto di un fattore di estrapolazione. Questo fattore è stato considerato sia per le sostanze che agiscono sistemicamente che per le sostanze che agiscono localmente.

Per le sostanze che agiscono localmente vengono considerate le differenze esistenti tra animale e l'essere umano per quanto riguarda il volume di respirazione al

minuto e l'area polmonare. L'influenza esercitata da fattori come: le differenze nel modo di respirazione (attraverso il naso o non), la sensibilità del tessuto polmonare, e l'influenza dei polmoni sul resto dell'organismo, viene presa in considerazione fornendo un fattore di sicurezza.

Per le sostanze che agiscono sistemicamente, pure il volume di respirazione al minuto svolge un suo ruolo. Anche per queste sostanze è stato stabilito un fattore di sicurezza, in cui, in questo caso, vengono considerate le differenze nella farmacocinetica e nella farmacodinamica. Inoltre, per entrambi i tipi di sostanze, viene considerata una differenza riferita allo stato di attività: per l'animale nella prova (condizione di riposo) e, per un essere umano nelle circostanze accidentali (comportamento possibile di fuga).

Per concludere, sulla base del numero di specie animale per cui si hanno attività: dati conosciuti, il fattore di estrapolazione viene adattato (o non) nel senso di una valutazione meno conservativa.

È stato messo a punto un metodo di estrapolazione nel quale le differenze misurabili (quali il volume di respirazione al minuto, l'area del polmone) vengono quantificati nel miglior modo possibile, mentre per i valori meno conosciuti viene fornito un fattore di sicurezza. Ciò conduce ad un fattore di estrapolazione con tanti dati a sostegno quanto è possibile ottenerne.

La metodologia usata per il calcolo delle costanti del probit è basata sul LC_{50} perché, per questi valori, abbiamo a disposizione dati sempre più accurati ottenuti dallo studio sugli animali. Fissando il valore della b uguale a 1,0, viene fatta un'ipotesi conservativa per le concentrazioni $< LC_{50}$, che è appropriata per l'aumento della vulnerabilità della popolazione esposta ad una calamità.

Il calcolo della costante a di probit è ricavata, allora, usando il LC_{50} (umano) e fissando $b = 1,0$.

La metodologia usata in questo studio per ricavare le funzioni di probit è valida soprattutto per le sostanze per cui sono disponibili pochi dati sulla tossicità.

Ogni volta che un utente intenda offrire una funzione del probit meglio suffragata, basata su sufficienti dati di tossicità, questa dovrà essere giudicata da un gruppo di esperti.

I modelli di vulnerabilità (funzioni del probit e criteri di tossicità) presentati in questo studio sono intesi come un inizio del percorso per giungere a delle relazioni dose/effetto più affidabili. Le funzioni del probit sono (ancora), per la maggioranza, ottenuti dai dati sugli animali. Per quanto riguarda il parametro a , che riflette la differenza nella sensibilità fra l'animale e l'essere umano, si è tentato di arrivare alla valutazio-

ne il più fondata possibile. Il parametro a è valido per il pericolo mortale. Nei limiti dell'attuale conoscenza, valori adeguati di questo parametro per altri tipi di lesioni non possono essere forniti con certezza. Si potrebbe suggerire, per una futura ricerca sulla tossicità acuta, di provare ad ottenere definizioni migliori per questi altri tipi di pericoli. A tale riguardo, vale la pena di considerare casi come: un danno dei polmoni del 50% e disturbi di una certa durata del sistema respiratorio e del processo digestivo. Tuttavia dati certi di tossicità per questi altri tipi di lesioni potranno essere stabiliti soltanto quando questo campo sarà definito più chiaramente.

Malgrado l'adeguato fondamento dei risultati, le costanti di probit per gli esseri umani non rappresentano nient'altro che un'indicazione. È tuttora necessaria ancora molta ricerca per arrivare a stabilire rapporti dosi/effetto realmente certi.

Tuttavia, i modelli di vulnerabilità presentati in questo studio sono, principalmente, ad uso della cosiddetta "analisi di rischio quantitativa". Le incertezze in questi modelli di vulnerabilità devono quindi essere considerate nel quadro di altre incertezze a volte relativamente grandi, che pure svolgono un ruolo nell'analisi di rischio. Possiamo accennare, a tale riguardo: i modelli di effetto, i modelli di probabilità, i dati della popolazione, ecc.

In un tale contesto, i modelli di vulnerabilità qui presentati possono però contribuire efficacemente al calcolo dei rischi di una data attività, principalmente in un senso relativo (riduzione del rischio, confronto fra le varie attività).

BIBLIOGRAFIA

- Lees – Loss prevention in the process industries Ed.: Sam Mannam
- "The GREEN BOOK" – Methods for determination of possible damage – Ed.: TNO
- Irving Sax – Dangerous properties of industrial materials Ed.: VNR
- Center for Chemical Process Safety (CCPS) – Guidelines for chemical process quantitative risk analysis Ed.: Hardcover
- C.N.VV.F.: Scenari d'intervento tradizionali e non convenzionali - Organizzazione della risposta del C.N.VV.F. alle emergenze NBCR