vai alla scheda del libro

Edmondo Lavè

IL MANUALE DELL'ADDETTO ANTINCENDIO

Aggiornato secondo il D.Lgs. 81/2008 s.m.i. e l'Accordo della Conferenza Stato-Regioni per la formazione del 21 dicembre 2011

IV edizione

EPC EDITORE

INDICE GENERALE

Introduzione 17

Premessa 19

CAPITOLO 1
L'INCENDIO E LA SUA PREVENZIONE 21

1.1 L'incendio 21

1.1.1 I principi della combustione 22

1.1.2 Il combustibile 25

1.1.3 Principali caratteristiche di pericolosità 28

1.1.4 Classificazione dei combustibili 35

1.1.5 Il comburente 37

1.1.6 L'energia termica (calore) 38

1.2 Principali cause d'incendio 38

1.3 Le sostanze estinguenti 39

1.3.1 Acqua 40

1.3.2 Schiuma 42

1.3.3 Polveri estinguenti 46

1.3.3.1 Polveri chimiche 47

1.3.3.2 Polveri speciali 49

1.3.4 Anidride carbonica 49

1.3.5 Sostituti degli Halon 51

1.3.6 Aerosol estinguenti condensati 53

1.3.7 Classi di fuoco ed estinguenti ammessi 55

1.4 Rischi derivanti dall'incendio alle persone e all'ambiente 56

1.5 Fattori di rischio 57

1.5.1 Il calore 57

1.5.2 I gas d'incendio 58

1.5.3 Ossido di carbonio 59

1.5.4 Acido cianidrico 59

1.5.5 Anidride carbonica 59

1.5.6 Carenza di ossigeno 60

1.5.7 Acroleina 60

1.5.8 Acido cloridrico 60

1.5.9 Fosgene 60

1.5.10 Altre sostanze tossiche 61

1.5.11 Fumo visibile 61

1.6 Dispositivi di Protezione Individuale 62

1.6.1 I dispositivi di protezione contro il calore 63

1.6.2 Dispositivi di protezione respiratoria (o Apparecchi di protezione delle vie respiratorie – APVR, secondo UNI 10720) 65

1.6.2.1 La maschera antigas 68

1.6.2.2 Dispositivi di purificazione dell'aria 69

1.6.2.3 Respiratori isolanti 70

1.6.2.3.1 Autorespiratori a circuito aperto 71

1.6.2.3.2 Autoprotettori a circuito chiuso 72

1.6.2.3.3 Autorespiratori per autosalvataggio 73

1.6.3 Altre fonti di rischio 73

1.7 La prevenzione 75

1.7.1 Progettazione dell'attività produttiva 75
1.7.2 Esercizio dell'attività produttiva 77
1.7.2.1 Disposizioni e procedure 78
1.7.2.2 Accorgimenti comportamentali 78
1.7.3 Controllo 80
1.7.3.1 Importanza del controllo degli ambienti di lavoro 80
1.7.3.2 Importanza delle verifiche e delle manutenzioni sui presidi antincendio 81
1.7.3.3 Verifica e manutenzione degli estintori 82
1.7.3.4 Verifica e manutenzione dei sistemi e apparecchiature idrici e schiuma 84
1.7.3.5 Verifica e manutenzione degli impianti antincendio speciali (Sistemi Speciali) 86
1.7.3.6 Verifica e manutenzione degli impianti di rivelazione ed allarme 86
1.7.3.7 Verifica e manutenzione dei sistemi di evacuazione di fumo e calore 87
1.8 Protezione da atmosfere esplosive 87

CAPITOLO 2
LA PROTEZIONE ANTINCENDIO 91

2.1 Come si realizza la difesa antincendio 91
2.2 La protezione passiva 92
2.2.1 Generalità 92
2.2.2 Distanziamenti 93
2.2.3 Rivestimenti isolanti, ricopertura, interramento 94
2.2.4 Nuova normativa tecnica per le costruzioni 95
2.2.4.1 Alcuni principi fondamentali 96
2.2.4.1.1 Verifiche e valutazione della sicurezza 97

2.2.4.2 Azioni sulle costruzioni ... 97

2.2.4.3 Definizioni, compartimentazioni, resistenza al fuoco ... 97

2.2.5 Vie e uscite di emergenza (vie d'esodo) ... 100

2.2.5.1 Definizioni ... 101

2.2.5.2 Le compartimentazioni ... 102

2.3 La protezione attiva ... 104

2.3.1 Attrezzature e apparecchiature antincendio ... 105

2.3.1.1 Estintori ... 108

2.3.1.2 Idranti ... 113

2.3.1.3 Naspi ... 114

2.3.2 Mezzi antincendio ... 115

2.3.2.1 Automezzi antincendio ... 116

2.3.2.2 Apparecchiatura trainabile idrica e per schiuma ... 116

2.3.2.3 Estintori trainabili ... 116

2.3.3 Sistemi antincendio ... 116

2.3.3.1 Portate critiche e portate specifiche ... 127

2.3.3.2 Sistemi di evacuazione di fumo e calore ... 128

2.3.3.3 Sistemi di rivelazione e allarme ... 129

2.4 Le fasi di sviluppo dell'incendio in un ambiente chiuso ... 131

2.4.1 Fase di innesco e combustione latente ... 132

2.4.2 Fase di prima propagazione ... 133

2.4.3 Incendio generalizzato ... 133

2.4.4 Raffreddamento ed estinzione ... 133

2.5 Segnaletica di sicurezza ... 134

2.5.1 Segnaletica per i luoghi di lavoro ... 136

2.5.2 Etichette per i materiali nocivi o pericolosi 139

2.5.3 Le schede di sicurezza 143

2.5.4 Segnaletica per il trasporto di merci pericolose 145

2.6 Impianti elettrici di sicurezza 148

2.7 Illuminazione sussidaria (o di sicurezza) 148

2.8 Obbligo di mantenere in efficienza sistemi, dispositivi, attrezzature e misure di sicurezza antincendio 150

CAPITOLO 3
L'ORGANIZZAZIONE DELLA SICUREZZA IN AZIENDA 153

3.1 Premessa 153

3.2 Il Servizio di Prevenzione e Protezione (Cfr.: D.Lgs. 81/2008 Titolo I) 153

3.2.1 Responsabile del servizio di prevenzione e protezione dai rischi 155

3.2.2 Compiti del servizio di prevenzione e protezione 155

3.2.3 Capacità e requisiti professionali degli addetti e dei responsabili dei SPP interni ed esterni 156

3.3 Rappresentante dei lavoratori per la sicurezza 157

3.3.1 Attribuzioni del rappresentante dei lavoratori per la sicurezza 158

3.4 Medico competente 160

3.5 Gestione delle emergenze 160

3.5.1 Disposizioni generali 160

3.5.2 Diritti dei lavoratori in caso di pericolo grave e immediato 161

3.5.3 Primo soccorso 162

3.5.4 Prevenzione incendi 162

CAPITOLO 4
PROCEDURE DA ADOTTARE IN CASO DI INCENDIO 179

4.1 Generalità 179

4.2 Procedure da adottare quando si scopre un incendio 183

4.3 Procedure da attuare in caso di allarme 184

4.4 Modalità di evacuazione (o esodo) 187

4.5 Modalità di chiamata dei servizi di soccorso 189

4.5.1 Piccoli luoghi di lavoro 189

4.5.2 Luoghi di lavoro di medie e grandi dimensioni 190

4.6 Collaborazione con i Vigili del Fuoco in caso di intervento 191

CAPITOLO 5
ESERCITAZIONI PRATICHE 193

5.1 Generalità 193

5.2 Presa visione e chiarimenti sulle principali attrezzature e impianti di spegnimento 195

5.2.1 Presa visione e chiarimenti sugli estintori 195

5.2.2 Presa visione e chiarimenti sugli idranti e sui naspi 197

5.2.3 Presa visione e chiarimenti sugli impianti sprinkler 199

5.2.4 Presa visione e chiarimenti sulle attrezzature di spegnimento e sugli impianti a schiuma 200

5.2.5 Presa visione e chiarimenti sugli impianti ad anidride carbonica 201

5.2.6 Presa visione e chiarimenti sugli impianti ad idrocarburi parzialmente alogenati 202

5.2.7 Presa visione e chiarimenti sugli impianti a polvere chimica 202

5.3 Presa visione sulle attrezzature di protezione individuale (indumenti protettivi, maschere antigas, filtri, autoprotettori ecc.) 202

5.3.1 Indumenti protettivi 202

5.3.2 Descrizione della maschera antigas 203

5.3.3 Autorespiratori a circuito aperto (ad aria compressa) 204

5.3.4 Autorespiratori a circuito chiuso ad ossigeno compresso 206

5.4 Esercitazioni sull'uso delle attrezzature di spegnimento e di protezione individuale 206

5.4.1 Esercizi base e simulazione di interventi reali 206

5.4.2 Prova pratica con estintori 213

5.4.3 Prove pratiche con acqua frazionata 214

5.4.4 Prova pratica con lance a schiuma a bassa e media espansione 214

5.4.5 Prove pratiche con i dispositivi di protezione personale 214

5.4.5.1 Dispositivi di protezione dal calore e dalle fiamme 214

5.4.5.2 Dispositivi di protezione delle vie respiratorie 215

5.4.5.3 Come indossare la maschera 215

5.4.5.4 Uso degli autoprotettori 215

5.5 Esercitazioni di salvataggio 217

5.6 Esercitazioni integrative per chi comanda una squadra antincendio 218

APPENDICE

APPENDICE "A1"
Programma corsi 221

A1.1 Definizioni delle attività a rischio secondo il Decreto Ministeriale 10 marzo 1998 221

A1.2 Contenuti minimi dei corsi di formazione 222

A1.3 Luoghi ove si svolgono le attività previste dall'articolo 6, comma 3 del D.M. 10 marzo 1998 226

APPENDICE "A2"
Cause d'incendio per attività e ambienti di lavoro specifici 227

A2.1 Generalità 227

A2.2 Piccoli ristoranti 227

A2.3 Cucine di grandi ristoranti e di comunità 228

A2.4 Spazi commerciali 228

A2.5 Spazi adibiti ad uffici e a transazioni economiche 231

A2.6 Alberghi 232

A2.7 Ospedali, case di cura, ricoveri per anziani 233

A2.8 Officine e laboratori artigianali 234

A2.9 Depositi 234

A2.10 Cabine elettriche 237

A2.11 Impianti industriali 237

APPENDICE "A3"
Misure di tutela ed obblighi (Cfr.: D.Lgs. 81/2008 – Titolo 1) 247

A3.1 Misure di tutela ed obblighi 247

A3.2 Misure generali di tutela 247

A3.3 Delega di funzioni 248
A3.4 Obblighi esclusivi del datore di lavoro 249
A3.5 Valutazione dei rischi 249
A3.6 Obblighi del datore di lavoro e del dirigente 250
A3.7 Obblighi connessi a contratti d'appalto o d'opera o di somministrazione 251
A3.8 Obblighi del preposto 251
A3.9 Obblighi dei lavoratori 252

APPENDICE "A4"
Cantieri temporanei o mobili
(D.Lgs. 81/2008, Titolo IV) 254

A4.1 Misure per la salute e la sicurezza nei cantieri temporanei o mobili 254
A4.2 Obblighi del committente o del responsabile dei lavori 256
A4.3 Obblighi del coordinatore per la progettazione (art. 91 parziale, D.Lgs. 81/2008) 256
A4.4 Obblighi del coordinatore per l'esecuzione dei lavori (art. 92 parziale, D.Lgs. 81/2008) 257
A4.5 Responsabilità dei committenti e dei responsabili dei lavori 257
A4.6 Obblighi dei lavoratori autonomi 258
A4.7 Misure generali di tutela 258
A4.8 Obblighi dei datori di lavoro, dei dirigenti e dei preposti 258
A4.9 Obblighi del datore di lavoro dell'impresa affidataria 259
A4.10 Requisiti professionali del coordinatore per la progettazione, del coordinatore per l'esecuzione dei lavori 260

APPENDICE "A5"
Luoghi di lavoro
(D.Lgs. 81/2008, Titolo II e All. IV Sez. 2, 3 e 4) 261

APPENDICE "A6"
Ripartizione delle aree in cui possono formarsi atmosfere esplosive
(Rif. Allegato XLIX) 266

Allegato LI 266

Prescrizioni minime per il miglioramento della protezione della sicurezza e della salute dei lavoratori
(Rif. Allegato L - D.Lgs. 81/08) 268

Osservazione preliminare 268
1. Provvedimenti organizzativi 268
2. Misure di protezione contro le esplosioni 269

APPENDICE "B1"
Definizioni 273

B1.1 Termini riguardanti la difesa passiva 273
B1.2 Termini riguardanti la difesa attiva 281
B1.3 Termini riguardanti il controllo e la manutenzione 282
B1.4 Obblighi dei responsabili di attività soggette ai controlli della prevenzione incendi. 282
Art. 2 Finalità ed ambito di applicazione 282
Art. 6 Obblighi connessi con l'esercizio dell'attività 283

APPENDICE "B2"
Segnali di sicurezza 284

B2.1 D.Lgs. n. 81 del 9 aprile 2008 284
B2.2 Normativa di segnaletica vigente 284
B2.2 Allegati al Titolo V - D.Lgs. 81/2008 286

APPENDICE "B3"
Requisiti dei luoghi di lavoro
(D.Lgs. 81/2008 come integrato e corretto
dal D.Lgs. 106/2009, Allegato IV Sezione 1) 295

B3 - 1. Ambienti di lavoro 295
B3 - 1.5 Vie e uscite di emergenza 295
B3 - 1.6 Porte e portoni 296
B3 - 1.7. Scale 297

APPENDICE "C1"
Le squadre di emergenza 299

C1.1 Generalità 299
C1.2 Ristoranti 301
C1.3 Spazi commerciali 301
C1.4 Spazi adibiti ad uffici e a transazioni economiche 303
C1.5 Alberghi 304
C1.6 Ospedali, case di cura, ricoveri per anziani 306
C1.7 Officine e laboratori artigianali 307
C1.8 Depositi 307
C1.9 Impianti industriali 308

APPENDICE "C2"
Esempi di "istruzioni in caso d'incendio" 311

Considerazioni preliminari 311
C2.1 Esempio n.1 - Stabilimento industriale 311
Istruzioni in caso di un incendio 311
C2.2 Esempio n. 2 - Palazzo multipiano adibito ad uffici 314

APPENDICE "D1"
Attrezzatura antincendio 319

D1.1 Lance idriche 319
D1.2 Lance a schiuma 319

APPENDICE "D2"
Dispositivi di protezione individuale 321

D2.1 Dispositivi di protezione individuale 321

D2.2. Dispositivi di protezione respiratoria utilizzati in questo volume 324

D2.3 Autorespiratori a riserva di ossigeno 332

INDICE ANALITICO 337

INTRODUZIONE [1]

Questo libro è il testo di base per chi all'interno delle aziende è incaricato di attuare sia le misure di prevenzione incendi che quelle di lotta antincendio e di gestione dell'emergenza. Inoltre, poiché il personale addetto a questo importante compito deve essere adeguatamente formato, il volume si presta ad essere utilizzato, sia dagli istruttori che dagli allievi, come un sussidio didattico agile e versatile per i corsi di formazione antincendio secondo il programma indicato dal D.M. 10 marzo 1998. Il volume è strutturato in modo da potere agevolmente integrare le parti che interessano tutte le attività produttive con quelle relative a problemi specifici di singole attività ed ambienti di lavoro.

Ogni argomento viene trattato con ampiezza adeguata per:

- consentire l'impiego del testo anche per corsi più impegnativi in grado di soddisfare le esigenze di aziende che intendono assicurare al proprio personale una preparazione più approfondita e meglio rispondente alle loro specifiche necessità;
- conferire al volume le caratteristiche di un manuale professionale per l'addetto antincendio. Particolare attenzione è stata dedicata alle "esercitazioni pratiche", per le quali vengono date indicazioni di metodologia didattica e proposti tipi di esercizi per ciascun livello di rischio.

Ad eccezione dell'ultima parte dedicata alle esercitazioni sull'uso delle attrezzature, che è suddivisa in base al livello di rischio, in tutto il libro gli argomenti vengono trattati in modo uniforme senza le suddivisioni corrispondenti ai tre livelli indicati nel decreto, per evitare ripetizioni delle parti comuni e per non porre vincoli al docente. In questo modo, viene lasciata al docente la scelta dell'estensione da dare alla trattazione dei singoli argomenti, in funzione, oltre che del livello di rischio, delle esigenze delle singole aziende e della preparazione di base degli allievi.

1. Il decreto legislativo 9 aprile 2008 n. 81, art. 37, comma 9, prevede che i lavoratori incaricati dell'attività di prevenzione incendi e lotta antincendio, di evacuazione dei luoghi di lavoro in caso di pericolo grave ed immediato, di salvataggio, di primo soccorso e, comunque, di gestione dell'emergenza, devono ricevere un'adeguata e specifica formazione e un aggiornamento periodico; in attesa dell'emanazione delle disposizioni di cui al comma 3 dell'articolo 46, continuano a trovare applicazione le disposizioni di cui al decreto del Ministro dell'Interno in data 10 marzo 1998, attuativo dell'art. 13 del D.Lgs. 626/94.

Anche se il legislatore ha ritenuto opportuno, per le esercitazioni pratiche, limitare in alcuni casi a "presa visione e dimostrazioni" l'uso effettivo da parte dell'allievo degli estintori e dei dispositivi di protezione individuale, gli Autori raccomandano che, ogni qualvolta possibile, l'allievo impieghi effettivamente estintori, lance e dispositivi di protezione individuale.

Per non appesantire troppo la parte comune, i problemi di prevenzione e protezione relativi a specifici ambienti di lavoro e situazioni vengono discussi in Appendici, che sono, comunque, parte integrante del testo.

La formazione e addestramento di tutti gli altri lavoratori, dei preposti e dirigenti sono regolamentati dal D.P.R. n. 151/2011 e dall'Accordo per la formazione dei lavoratori tra Stato, Regioni e Province autonome di Trento e Bolzano, del 21/12/2011 [(2)] (vedi par. *3.5* a pag. 164).

L'autore ha posto il massimo impegno nell'affrontare la complessità della nuova normativa in materia di Sicurezza e Salute, che è andata via via crescendo in ampiezza e dettaglio, tuttavia ringrazia fin d'ora i lettori che vorranno segnalare le inesattezze od omissioni in cui fosse incorso.

Rammentano inoltre che per l'adozione di misure progettuali, organizzative e amministrative, la consultazione diretta delle norme e di manuali tecnici specifici resta, come sempre, un percorso obbligato.

2. Il D.P.R. 151/2011 è il Regolamento che ha lo scopo di semplificare la disciplina dei provvedimenti relativi alla prevenzione degli incendi. Rientrano nell'ambito dell'applicazione del regolamento tutte le attività riportate nell'Allegato I "Esempio delle attività soggette alle visite e ai controlli di prevenzione incendi", che ne elenca 80 attività suddivise in tre categorie A, B e C. Sono invece escluse le attività industriali a rischio rilevante, soggette alla presentazione del rapporto di sicurezza di cui all'art. 8 del D.Lgs. 17 agosto 1999, n. 334, e successive modificazioni (Rischi rilevanti). Tra gli obblighi connessi con l'esercizio delle attività di cui all'Allegato I del D.P.R. 151/2011 non soggette alla disciplina del D.Lgs. 81/2008, vi è quello di assicurare una adeguata informazione sui rischi di incendio connessi con la specifica attività, sulle misure di protezione adottate, sulle precauzioni da osservare per evitare l'insorgere di un incendio e sulle procedure da attuare in caso di incendio.
L'Accordo 21/12/2011 è l'atto col quale la Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province autonome di Trento e Bolzano, Sancisce Accordo sul documento, Allegato A, parte integrante dell'atto stesso, relativo alla formazione dei lavoratori, ai sensi dell'art. 37, comma 2, del D.Lgs. 9 aprile 2008 n. 81, e successive modifiche e integrazioni.
Nell'Appendice E1 del presente volume sono riportate alcune parti del suddetto Allegato A.

PREMESSA

Tutti conosciamo il fuoco per esperienza diretta, quotidiana. Sappiamo che esso è utile, anzi indispensabile, per lo svolgimento di molte delle attività umane. Sappiamo però che può diventare un nemico assai temibile quando si presenta indesiderato o sfugge al nostro controllo.

Le nozioni apprese sin dall'infanzia dovrebbero indurci a trattare questo "amico-nemico" con il dovuto rispetto. Ciò nonostante, talvolta non vengono osservare delle cautele elementari, o per distrazione o negligenza o mancanza di adeguate informazioni, ed è solo per fortuna che evitiamo di incorrere in qualche grosso guaio. Questo accade anche perché non abbiamo ancora assimilato il concetto che il fuoco è un pericolo latente, che può presentarsi all'improvviso, per cui dobbiamo essere sempre pronti ad affrontarlo nel modo dovuto, intelligentemente e senza lasciarci sopraffare dall'emotività.

La tendenza a sottovalutare il pericolo del fuoco è purtroppo molto diffusa e costituisce un atteggiamento mentale che va corretto sia nell'interesse del singolo, sia nell'interesse collettivo.

Una particolare sensibilità verso questo pericolo è richiesta a chi è chiamato a svolgere mansioni di prevenzione incendio, lotta antincendio e gestione delle emergenze. Costui (o costei) dovrà inoltre possedere le conoscenze tecniche necessarie per concorrere a prevenire il fuoco e per fronteggiarlo utilizzando al meglio i mezzi di cui dispone. Queste conoscenze dovranno essere proporzionate al rischio di incendio che esiste nell'azienda.

Il rischio di incendio di un luogo di lavoro o di parte di esso può essere basso, medio o elevato, in dipendenza della qualità e quantità dei materiali infiammabili e combustibili che ivi si trovano o vengono manipolati e delle modalità di lavorazione o immagazzinamento.

Si considerano a **basso rischio** di incendio quei luoghi ove difficilmente si può verificare un rischio per l'incolumità delle persone,

«in quanto ci sono pochi materiali combustibili, nessuna sostanza facilmente infiammabile e praticamente nessuna sorgente di calore che può innescare un incendio.»

Si considerano a **medio rischio** (o normale) di incendio quei luoghi ove esistono:

«quantitativi di materiali combustibili e sufficienti sorgenti di calore da portarli al di sopra della categoria dei rischi bassi. In tali luoghi ogni principio di incendio rimarrà confinato o si propagherà molto lentamente, in modo da consentire alle persone di evacuare verso un luogo sicuro.»

Si considerano a **elevato rischio** di incendio i luoghi dove:
«può verificarsi un grave rischio per l'incolumità delle persone.»

Queste concise definizioni, prese dalla letteratura [1], sono in sostanziale accordo con quelle dell'Allegato I del D.M. 10 marzo 1998, riportate nell'Appendice A1 (*vedi pag. 221)* e con la **definizione generale di rischio**, inteso come "*probabilità di raggiungimento del livello potenziale di danno nelle condizioni di impiego o di esposizione ad un determinato fattore o agente oppure alla loro combinazione*", data nell'art. 2 del decreto legislativo 9 aprile 2008 n. 81 [2].

Il predetto decreto legislativo, all'art. 15 - Misure generali di tutela [3]-, prevede la valutazione di tutti i rischi per la salute e sicurezza e, all'art. 28, alla conclusione della valutazione, la elaborazione di un documento di valutazione dei rischi. La scelta dei criteri di redazione del documento è rimessa al datore di lavoro. La valutazione dei rischi e la conseguente elaborazione del documento sono obblighi che il datore di lavoro non può delegare (art. 17).

1. Cfr.: A. Messineo, G. Carlesi, *Guida pratica, Valutazione del rischio*, 1995, EPC srl, Roma e ANIA - *Manuale di prevenzione incendio*.
2. Il decreto legislativo, che attua le disposizioni dell'art. 1 della legge 3 agosto 2007, n. 123 in materia di tutela della salute della sicurezza nei luoghi di lavoro, si applica a tutti i settori di attività privati e pubblici e a tutte le tipologie di rischio.
3. Tra le misure generali di tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori nei luoghi di lavoro sono incluse "le misure di emergenza da attuare in caso di primo soccorso, di lotta antincendio, di evacuazione dei lavoratori e di pericolo grave ed immediato": Comma 1) lettera u).

CAPITOLO 1

L'INCENDIO E LA SUA PREVENZIONE

1.1 L'incendio

Il primo obiettivo della prevenzione incendi [1] è la salvaguardia della vita umana. Subito dopo viene la salvaguardia dei beni e delle attività, sia per quanto riguarda l'aspetto individuale che collettivo.

Né va dimenticato il fatto che un incendio, oltre a provocare perdite economiche per i materiali e le installazioni danneggiate o distrutte, può significare la morte dell'azienda e la perdita del posto di lavoro.

Ma per prevenirli, gli incendi, li dobbiamo conoscere. Intuitivamente sappiamo tutti cosa sono gli incendi, però un approccio sistematico è senz'altro opportuno per procedere nella conoscenza di questi eventi e dei fenomeni che ne sono le cause.

Cominciamo col dire che l'incendio è:

«una combustione sufficientemente rapida che si sviluppa senza controllo nel tempo e nello spazio». [2]

Passiamo ora ad introdurre alcune nozioni generali sulla combustione.

1. Il D.P.R. 29 luglio 1982, n. 577, Approvazione del regolamento concernente l'espletamento dei servizi antincendi, definisce la "*prevenzione incendi*" come "materia di rilevanza interdisciplinare, nel cui ambito vengono promossi, studiati, predisposti e sperimentati misure, provvedimenti, accorgimenti e modi di azione intesi ad evitare (.....) l'insorgenza di un incendio e a limitarne le conseguenze".
Per il testo completo delle disposizioni legislative vedi *Tutte le norme di prevenzione incendi*, G. Giomi, R. Pais, 2011 - EPC Srl, Roma.
2. Tratto da Rivista *Antincendio*, numero di luglio 1984, pag. 45, citato da E. Villa, *Dizionario di prevenzione incendi*, 1995, EPC S.r.l., Roma.

1.1.1 I principi della combustione

Osserviamo la fiamma di un fornello a gas e la brace di un barbecue (o di uno scaldino). In tutti e due i casi c'è qualcosa che sta bruciando. È evidente che sono due modi diversi di bruciare (analizzeremo questa differenza più avanti). Però un fatto li accomuna: in entrambi i casi un materiale sta reagendo con l'ossigeno dell'aria producendo calore, luce e sostanze gassose calde.

***Fig. 1.1** - Estinzione di una vasca con estintori a polvere*

Quello che sta accadendo tra il materiale che arde e l'ossigeno dell'aria è una rapida reazione chimica di ossidazione con sviluppo sensibile di calore, chiamata **combustione**. Il materiale che brucia è detto **combustibile** e l'ossigeno che lo fa bruciare **comburente**.

Ma come è cominciata questa reazione? Abbiamo portato a contatto del combustibile in presenza di aria una **fonte di calore** ad alta temperatura.

Senza questa fonte di calore caldissima la combustione non sarebbe incominciata. Nel caso del fornello a gas l'abbiamo iniziata con un fiammifero acceso accostato al bruciatore da cui usciva il combustibile mescolato con l'aria. Invece della fiammella del fiammifero avremmo potuto usare una resistenza elettrica incandescente o un accendino "a pietrina". Il risultato sarebbe stato identico. Queste fonti infatti sono in grado di fornire al combustibile gassoso la quantità

di energia termica ad alta temperatura sufficiente per permettere al combustibile di iniziare a reagire con l'ossigeno atmosferico o, in altre parole, sufficiente per innescare la combustione.

Nel caso del carbone di legna, avremmo dovuto servirci di una fonte ugualmente calda ma più estesa e di maggiore durata in grado di portare la superficie del carbone alla temperatura di accensione. Per esempio carta e legna minuta secca già accese. Il principio comunque non cambia.

Le fonti di calore in grado di accendere un fuoco sono dette fonti o sorgenti di accensione (ignizione) o anche inneschi.

Una volta acceso, il materiale continua a bruciare, perché è il calore prodotto dalla reazione a scaldare fino alla temperatura di accensione il materiale non ancora bruciato. In questo modo la combustione continua e si propaga finché trova combustibile ed aria sufficienti ad alimentarla e sostentarla.

Prima di procedere col nostro discorso, facciamo un breve riepilogo di quanto detto finora.

Abbiamo visto che:

Ci sono due tipi di combustione, quella con fiamma e quella senza fiamma e che, in entrambi i casi, perché la combustione possa avvenire, devono essere presenti, nello stesso luogo e nello stesso momento, combustibile, comburente e calore.

Questa terna di elementi indispensabili ci suggerisce l'uso di un modello geometrico per studiare la combustione: il triangolo della combustione. In questo triangolo i tre lati rappresentano rispettivamente il combustibile, il comburente e il calore, mentre la figura nel suo insieme rappresenta la combustione.

Se eliminiamo uno o due lati, il triangolo non esiste più e corrispondentemente il fenomeno che rappresenta non può più avvenire. Questo triangolo, come vedremo più avanti, è un comodo strumento per studiare come prevenire, controllare e spegnere il fuoco. Per questo viene chiamato anche triangolo del fuoco.

Ora vediamo un po' qual è il significato che si attribuisce comunemente alla parola fuoco. Apriamo un vocabolario e troviamo:

Fuoco: «l'insieme degli effetti calorifico e luminoso della combustione, che hanno la loro manifestazione nella fiamma [3]*.»*

Vediamo così che, non solo nel parlare corrente, ma anche nel linguaggio più

3. Tratto da: *Vocabolario della lingua italiana*, 1987, Istituto della Enciclopedia Italiana, Roma.

preciso dei vocabolari, al termine fuoco è associata l'idea di combustione con fiamma. Ecco quindi perché abbiamo preferito iniziare la nostra lezione parlando di combustione, parola questa che ha un significato più generale. Nel linguaggio tecnico con "fuoco" si intende anche un modo di bruciare legato al tipo di combustibile, come vedremo più avanti.

Abbiamo finora incontrato la combustione con fiamma e la combustione senza fiamma.

Ce n'è però anche una terza combustione, non meno importante: la combustione lenta. Questa combustione, che riguarda esclusivamente i materiali solidi, corrisponde ad un processo di ossidazione relativamente lento, in cui il materiale brucia inizialmente senza emissione di luce visibile e il fenomeno in atto viene spesso rivelato dal fumo. [4]

La fase di combustione lenta evolve poi, dopo un tempo più o meno lungo, in combustione con fiamma (es.: cavi e apparecchiature elettriche surriscaldate). Molti incendi partono proprio da fenomeni di combustione lenta.

A questo punto è opportuno dare anche una definizione di incendio. Ne daremo anzi due.

Fig. 1.2 - *Triangolo del fuoco*

Possiamo definire l'**incendio** come:

«combustione sufficientemente rapida che si sviluppa senza controllo nel tempo e nello spazio» [5]

oppure

«combustione incontrollata di materiali o strutture combustibili [6]*»*.

Entrambe le definizioni possono essere considerate soddisfacenti.

Esamineremo ora in successione i tre lati del triangolo della combustione, comunemente chiamato "triangolo del Fuoco" [7] *(vedi figura 1.2)*.

4. Cfr.: Rivista *Antincendio*, numero di luglio 1984, pag. 45, Ed. EPC S.r.l., Roma.
5. Ibidem.
6. Da EST - *Enciclopedia della Scienza e della Tecnica*, vol. V, sec. Ed. 1964, Arnoldo Mondadori Edit., Milano.
7. Per una trattazione più approfondita dell'argomento vedi: E. Lavè, P. Lavè, "*Guida pratica all'Antincendio*", II Ed. 2003, EPC Libri, Roma. Vedi anche "G. Giomi, G. Elifani, "*La prevenzione incendi nell'industria*", IV Ed. aggiornata, luglio 1995, EPC, Roma.

1.1.2 Il combustibile

Le norme definiscono combustibili «le sostanze atte a mantenere una combustione in presenza di aria atmosferica» [8], cioè quei materiali che bruciano facilmente con l'aria.

I materiali che invece non bruciano con l'aria sono detti incombustibili.

I materiali combustibili possono essere classificati in base al loro modo di bruciare, cioè al tipo di fuoco cui danno luogo.

Oltre al loro modo di bruciare, i materiali combustibili possono essere classificati in base alla loro composizione, alle loro caratteristiche di infiammabilità. Comunque, la prima suddivisione che viene spontanea è quella basata sullo stato di aggregazione. Distingueremo quindi i combustibili anche in gassosi, liquidi e solidi.

Tuttavia, conoscere il loro modo di bruciare è il requisito più importante per potere intervenire adeguatamente e spegnere il fuoco. Quindi è preferibile, parlando dei combustibili e degli agenti estinguenti [9], riferirsi ai tipi di fuochi cui danno luogo piuttosto che ai combustibili stessi. [10]

Nella *Tabella 1.1* è riportata la suddivisione dei fuochi in quattro classi A, B, C e D secondo la norma europea UNI EN 2, in cui i tipi di fuoco sono identificati dai materiali che li generano (colonne 1 e 2).

Tab. 1.1

CLASSE	TIPO DI FUOCO	ESEMPI
A	Fuochi da materiali solidi, generalmente di natura organica, la cui combustione avviene con formazione di braci	Legno, carta, plastica, tessuti ecc.
B	Fuochi da liquidi o da solidi liquefattibili	Carburanti, oli, solventi ecc.
C	Fuochi da gas	Metano, GPL, acetilene ecc.
D	Fuochi da metalli	Litio, sodio, potassio magnesio, titanio, alluminio in polvere
F	Fuochi da mezzi di cottura in apparecchi di cottura	Oli e/o grassi animali e/o vegetali

8. D.P.R. 22/12/1970, n. 1391, art. 3.1.
9. Agenti estinguenti sono tutte quelle sostanze che hanno la proprietà di potere spegnere un fuoco.
10. Questo anche per evitare confusioni con altri tipi di classificazione. Per esempio: un fuoco di classe A è un fuoco di solidi combustibili comuni (carta, stracci, legno), ma un materiale di categoria A nella classificazione italiana degli oli minerali (Legge 8 febbraio1934) è un liquido i cui vapori possono dare luogo a scoppio (petrolio grezzo, benzina, etere solforico e simili).

La norma europea UNI EN 2, essendo basata sui materiali che bruciano, non comprende i fuochi di impianti ed attrezzature elettriche sotto tensione (vecchia Classe di fuoco E) in quanto l'**essere sotto tensione** è solo una condizione.

Infatti, negli incendi di impianti ed attrezzature elettriche, ciò che brucia è materiale di classe A o B, per cui l'inclusione di questi incendi nella tabella sarebbe contraddittoria.

Questo non esclude però che gli incendi di ***impianti ed attrezzature elettriche*** sotto tensione vadano menzionati fuori tabella [11].

«Gli estinguenti specifici per questi incendi sono costituiti da polveri dielettriche ed anidride carbonica» [12].

Possono essere utilizzati i sostituti degli halon. Sono da escludere invece acqua e schiuma.

Sulla suddivisione di UNI EN2 è basata la vigente classificazione degli estintori

Consideriamo ora la combustione dal punto di vista chimico. Quasi tutti i combustibili comuni solidi, liquidi e gassosi contengono idrogeno e carbonio. Questi due elementi chimici bruciando danno come prodotti della combustione, acqua, ossido di carbonio e anidride carbonica. L'ossido di carbonio si forma quando c'è poco ossigeno, mentre l'anidride carbonica si forma quando c'è abbondanza di ossigeno.

Negli incendi difficilmente c'è ossigeno sufficiente per ossidare completamente il carbonio, per cui si forma sempre dell'ossido di carbonio accanto all'anidride carbonica. Il carbonio che non riesce a bruciare costituisce il nerofumo (candela) e la fuliggine (camini) che danno il colore nero al fumo.

I combustibili liquidi (carburanti, gasoli e olii combustibili per riscaldamento) contengono sempre anche dello zolfo che bruciando produce anidride solforosa.

Consideriamo la combustione di due sostanze semplici, idrogeno e carbonio, e quella del loro composto più semplice, il metano CH_4.

Osserviamo come viene scritta la reazione chimica globale della loro combustione:

11. La classificazione dei fuochi della statunitense NFPA (National Fire Protection Association) prevede tuttora una classe per i fuochi di apparecchiature elettriche sotto tensione.
12. D.M. 10 marzo 1998, allegato V, punto 5.1.

Tab. 1.2

$2H_2$ idrogeno	+	O_2 ossigeno	=	$2H_2O$ acqua (vapore)	+	Δ
2C carbonio	+	O_2 ossigeno	=	2CO ossido di carbonio	+	Δ (COMBUSTIONE) (INCOMPLETA)
2CO ossido di carbonio	+	O_2 ossigeno	=	$2CO_2$ anidride carbonica	+	Δ (COMBUSTIONE) (COMPLETA)
CH_4 metano	+	$2O_2$ ossigeno	=	CO_2 anidride carbonica	+	$2H_2O$ + Δ acqua (vapore)

dove col simbolo Δ si indica il calore prodotto dalla reazione.

Queste espressioni sono molto semplici ma in effetti la combustione è un insieme molto complesso di reazioni intermedie.

Nella fiamma avvengono reazioni intermedie a catena prima di giungere ai prodotti finali mostrati sopra. Esistono sostanze particolari che possono interrompere questa catena se fatte arrivare sulla fiamma in modi e quantità opportune. Ne parleremo al paragrafo dedicato agli estinguenti.

Ora abbiamo le informazioni necessarie per affrontare meglio lo studio dei combustibili.

Abbiamo visto che la combustione può avvenire con fiamma o senza fiamma. La fiamma è costituita da sostanze allo stato gassoso che stanno bruciando [13].

13. Le molecole di gas e vapori combustibili reagiscono con quelle dell'ossigeno solo quando si urtano con esse con sufficiente energia. Anche in un ambiente assolutamente calmo (velocità media della massa d'aria = zero) le singole molecole di gas (aria inclusa) e di vapori si muovono in tutte le direzioni a grandissima velocità. La loro velocità dipende dalla temperatura. Maggiore è la temperatura, maggiore è l'energia delle molecole. La fiammella d'innesco accelera le molecole che trova vicino aumentando la loro energia e mettendole in condizione di reagire. Per farlo bisogna però che nel loro percorso trovino una molecola di ossigeno. Se trovano invece altre molecole o le pareti di un recipiente, cedono a queste la loro energia in più e non succede niente. È pertanto importante, perché la combustione possa avere luogo, che molecole di combustibile e molecole di ossigeno siano presenti in determinati rapporti. Il processo continua perché le molecole che reagiscono producono energia termica (calore) che accelera quelle vicine e così via.

I gas bruciano sempre con fiamma.

I liquidi e solidi liquefattibili o volatili bruciano anch'essi solo con fiamma, perché a bruciare in realtà sono i vapori che essi rilasciano.

I combustibili solidi comuni si decompongono per effetto del calore apportato dalla sorgente di accensione, liberando gas e vapori combustibili che vengono accesi dalla sorgente stessa. Questi combustibili all'inizio bruciano con fiamma e successivamente bruciano come braci (per es.: il legno, stracci ecc.).

Alcuni solidi invece bruciano soltanto senza fiamma: carbonio puro (carbone antracite, carbone coke) e i metalli combustibili (magnesio, titanio, zirconio, litio, sodio, potassio). La combustione senza fiamma avviene sulla superficie del materiale a contatto con l'aria. La combustione senza fiamma è caratteristica dei combustibili solidi non volatili né liquefattibili. Perché il fenomeno possa continuare è però necessario che ci sia un sufficiente afflusso d'aria sulla superficie che arde.

La volatilità dei materiali e il loro stato di suddivisione sono molto importanti per l'accensione dei materiali e la velocità di propagazione del fuoco.

Gas, vapori e polveri combustibili in miscela con aria in adeguate proporzioni vengono immediatamente accesi da sorgenti ad elevata temperatura (fiamma, scintilla, arco elettrico) e la propagazione della combustione è veloce. Quando la miscela si trova all'interno di un recipiente, la pressione aumenta repentinamente per effetto del repentino innalzamento di temperatura e, se le pareti cedono, si ha un'esplosione.

Vengono fabbricati recipienti in grado di resistere al repentino aumento di pressione, come le custodie antideflagranti di talune apparecchiature elettriche.

Esistono dei materiali che, per la loro natura o per il loro stato di suddivisione, presentano una tale capacità di reagire con l'ossigeno atmosferico da accendersi subito o in breve tempo quando vengono a contatto con l'aria (es.: fosforo bianco, polvere finissima di alluminio). Questi materiali sono detti piroforici.

1.1.3 Principali caratteristiche di pericolosità

La pericolosità per incendio dei vari combustibili dipende da alcune loro proprietà caratteristiche; precisamente:

- punto di infiammabilità;
- temperatura di accensione;
- densità relativa;
- campo di infiammabilità;

- solubilità in acqua;
- caratteristiche di infiammabilità dei solidi:
  - composizione;
  - pezzatura;
  - porosità;
  - umidità;
- energia di accensione;
- suscettibilità al riscaldamento spontaneo.

Punto di infiammabilità

La minima temperatura alla quale un combustibile emette vapori in quantità sufficiente a formare con l'aria una miscela infiammabile.

Tab. 1.3

Benzina	- 42,8 °C
Metanolo	11,1 °C
Cherosene	51,7 °C
Gasolio	> 65 °C
Olio lubrificante	149 °C

Questo dato ha una grande importanza pratica, dato che i liquidi con più basso punto di infiammabilità (cioè più volatili) saranno prontamente infiammabili anche a temperature ambientali, mentre quelli con punto di infiammabilità più elevato richiederanno un certo riscaldamento supplementare per emettere vapori in quantità sufficiente. La benzina, ad esempio, sarà infiammabile in qualsiasi stagione, mentre il gasolio no, essendo il suo P.I. superiore alle massime temperature ambientali.

Temperatura di accensione

La minima temperatura alla quale il combustibile deve essere portato perché inizi una reazione di combustione che possa sostenersi autonomamente senza ulteriori apporti di calore dall'esterno. È anche detta "temperatura di innesco".

Tab. 1.4

Acetilene	304 °C
Metano	538 °C
Benzina	440 °C
Metanolo	385 °C
Cherosene	249 °C
Gasolio	338 °C
Olio lubrificante	250 °C
Legno	≅ 250 °C
Carta	230 °C
Nylon	475 °C
Cotone	238 °C
Gomma	300 °C
Sodio	115 °C (in aria secca)
Magnesio	≅ 600 °C

Densità relativa

DENSITÀ RELATIVA DEI GAS [14]

È la densità di un gas paragonata a quella dell'aria (aria=1). In base a tale caratteristica, i gas convenzionalmente vengono divisi in:

- Gas leggeri (densità relativa ≤ 0,8)
  Ad esempio: metano, idrogeno, ammoniaca.

14. La suddivisione dei gas in pesanti e leggeri rispetto a valori fissi della densità relativa all'aria è arbitraria e pertanto suscettibile di modificazioni. Citiamo un esempio: la Norma CEI 64-2 del 1990 (parzialmente abrogata per quanto riguarda le polveri) aveva come riferimento i valori 0,9 e 1,1 mentre la Norma CEI EN 60079-10 del 1996 (ora sostituita dalla CEI EN 60079-10-1 (CEI 31-87)), ha come riferimento i valori 0,8 e 1,20.

- Gas pesanti (densità relativa $\geq$ 1,2)
  Ad esempio: GPL, idrogeno solforato.

Ciò comporta che quando rilasciati nell'ambiente:

- i gas leggeri tendono ad andare verso l'alto;
- i gas pesanti tendono a stratificare in basso;
- i gas con densità relativa intermedia potranno, a seconda della loro temperatura al momento del rilascio, tendere verso l'altro o il basso oppure distribuirsi uniformemente nell'aria circostante.

E quindi:

- In un ambiente chiuso:
  - i gas leggeri si accumuleranno presso il soffitto;
  - i gas pesanti si accumuleranno presso il pavimento o nelle zone più basse.

All'aperto:

- i gas leggeri si disperderanno rapidamente, migrando verso l'alto;
- i gas pesanti non si disperderanno ma si diffonderanno sottovento al punto di perdita seguendo la direzione del vento, potendo, quindi, trovare una fonte di accensione anche ad una certa distanza.

DENSITÀ RELATIVA DEI LIQUIDI

È la densità di un liquido (non miscibile con l'acqua) paragonata a quella dell'acqua (acqua=1).

Gli idrocarburi liquidi sono più leggeri dell'acqua (galleggiano sull'acqua). Questo implica che applicare dell'acqua, per esempio su un versamento in fiamme, comporterà un allargamento della superficie incendiata, o, se il versamento è contenuto, ad esempio, da una cordolatura, la possibile tracimazione del liquido in fiamme.

Campo di infiammabilità

Una miscela di aria e vapori o gas infiammabili, in presenza di un innesco, brucerà solo in uno specifico campo di concentrazioni volumetriche.

Questo campo è chiamato "campo di infiammabilità o campo di esplosività", ed è compreso entro i cosiddetti "limiti di infiammabilità".

LIMITE INFERIORE DI INFIAMMABILITÀ (L.I.I.).

Il limite inferiore di infiammabilità è la minima concentrazione di un vapore infiammabile che formi con l'aria una miscela infiammabile.

LIMITE SUPERIORE DI INFIAMMABILITÀ (L.S.I.).

Il limite superiore di infiammabilità è la massima concentrazione di un vapore infiammabile che formi con l'aria una miscela infiammabile.

Se la concentrazione è al di sotto del limite inferiore, in presenza di un innesco non si avrà propagazione di fiamma per difetto di combustibile in rapporto all'aria (miscela troppo povera).

Se la concentrazione è al di sopra del limite superiore, non si avrà propagazione di fiamma per eccesso di combustibile in rapporto all'aria (miscela troppo ricca). [15]

Tab. 1.5

PRODOTTO	LIMITI DI INFIAMMABILITÀ
Cherosene	0,7 – 4,8%
Benzina	1,3 – 7,1%
Gasolio	1,5 – 7,5%
Butano	1,8 – 8,4%
Metano	5 - 15%
Metanolo	6,7 - 36%
Idrogeno	5 - 75%
Acetilene	2,5 - 85%

Solubilità in acqua

La maggior parte degli idrocarburi non è solubile in acqua.

Gli alcoli ed i solventi sono, invece, solubili in acqua. Quindi mentre gli idrocar-

15. Ai fini della prevenzione, va tenuto presente che un "ambiente chiuso", con una concentrazione di combustibile al di sopra del limite superiore di infiammabilità, può diventare pericoloso se si verifica uno scambio con l'atmosfera esterna con diminuzione della concentrazione fino a entrare nel campo di infiammabilità.

buri, venendo a contatto con dell'acqua, formeranno uno strato separato, i solventi si diluiranno per l'aggiunta di acqua divenendo eventualmente non più combustibili.

Caratteristiche di infiammabilità dei solidi

La **composizione chimica** di un materiale solido influenza il suo modo di bruciare in almeno tre modi:

- **Potere calorifico**
  Il contenuto di ossigeno riduce il potere calorifico: per esempio un materiale a base idrocarburica, come molte comuni plastiche, produrrà bruciando quantità di calore almeno doppie rispetto ad un materiale a base cellulosica come legno o cotone. Ciò è dovuto al fatto che le plastiche contengono principalmente carbonio e idrogeno, sono quindi completamente ossidabili, legno e simili, invece, essendo per lo più composti da cellulosa sono già parzialmente ossidati, dato che la cellulosa contiene cinque atomi di ossigeno nella molecola.
- **Velocità di combustione**
  Il contenuto di alogeni o loro composti inibisce od ostacola la combustione e la propagazione della fiamma: per esempio il PVC. Altri materiali vengono resi ignifughi con l'aggiunta di additivi a base di cloro.
- **Prodotti della combustione**
  La composizione del materiale determina quali tipi di sostanze tossiche o nocive si formeranno nell'incendio. Questo argomento verrà trattato estesamente più avanti.

Lo **stato fisico** del materiale influenza pure il suo modo di bruciare:

- **Pezzatura**
  La dimensione di un pezzo di materiale determina la facilità o difficoltà di innesco e la seguente velocità di combustione. Infatti i materiali in pezzatura ridotta hanno un alto rapporto superficie/volume richiedendo quindi quantità di calore più ridotte, o fonti innesco di breve durata, per essere portati alle temperature di accensione. Materiali fibrosi come stracci, carta, tessuti, cartone, gli espansi in genere, o comunque materiali in piccole dimensioni saranno quindi più facili da innescare e bruceranno più velocemente.
  I materiali in pezzatura massiccia, invece, hanno un basso rapporto superficie/volume. Quindi pezzi di materiale di grosse dimensioni o balle di

materiali strettamente impacchettati saranno assai più difficili da accendere, richiedendo grandi quantità di calore o comunque fonti di innesco di durata considerevole, e successivamente bruceranno molto più lentamente.
D'altra parte i solidi in pezzatura massiccia, se bruciano per un periodo di tempo sufficientemente lungo, tendono ad immagazzinare molto calore ed a formare braci profonde. Questo li rende più difficili da spegnere con sicurezza. Infatti un'azione di spegnimento che interessasse solo la superficie del materiale, senza raffreddarne adeguatamente l'interno, esporrebbe alla possibilità di una riaccensione anche a distanza di tempo. Per prevenire tale eventualità è bene assicurarsi di aver raffreddato il focolaio anche in profondità, smassando fisicamente il materiale, o se ciò non è possibile, vigilando a lungo sul focolaio apparentemente spento.

- **Nubi di polveri e nebbie**
  Qualsiasi materiale solido combustibile in forma di polveri sottili deve essere considerato come potenzialmente molto infiammabile e se disperso in aria addirittura esplosivo. Polveri di carbone, legno, zolfo, metalli combustibili, farine, cacao, sono esempi comuni di materiali suscettibili di generare nubi esplosive.
  Discorso analogo va fatto anche per sospensioni in aria di goccioline di liquidi combustibili (nebbie).
- **Umidità**
  Il contenuto di acqua ostacola la combustione. La temperatura del materiale non potrà superare i 100°C fintanto che dell'acqua sarà presente al suo interno.
- **Porosità**
  Un materiale in forma espansa o comunque molto poroso brucerà molto più rapidamente che se in forma rigida o compatta, a causa della sua elevata superficie interna. Da ciò la grande pericolosità dei materiali da imbottitura o isolanti.

Energia di accensione

L'energia di accensione è la quantità minima di energia che è necessario fornire a una miscela infiammabile di combustibile con aria, perché essa si accenda. Quello che segue è un elenco delle principali **fonti di innesco**, cioè di quelle fonti di calore con le caratteristiche di energia di accensione, temperatura e durata adeguate a causare l'innesco di un incendio:

Tab. 1.6

Fiamme libere	Surriscaldamento di conduttori elettrici
Scintille ed archi elettrici	Surriscaldamento di parti meccaniche
Scintille elettrostatiche	Faville da gas di scarico di motori a combustione
Corpi roventi	Fiaccole o forni
Scintille da attrito	Fulmini
Corto circuiti	Compressioni adiabatiche

Da un punto di vista pratico si può fare una distinzione di massima: Gas e vapori prediligono fonti di accensione ad alta energia anche se di durata minima (scintille, faville ecc.);

I solidi (se in pezzatura sufficiente) prediligono invece fonti d'innesco a bassa energia ma di maggior durata (conduttori surriscaldati, corpi roventi ecc.) anche se di temperatura non particolarmente elevata.

Suscettibilità al riscaldamento spontaneo

Tale è la proprietà di alcuni liquidi combustibili (olio di lino, oli vegetali e minerali, o stracci imbevuti di tali sostanze) che si ossidano rapidamente all'aria a temperature ordinarie producendo calore, nonché di alcuni materiali solidi (cotone in balle, fieno in balle, cumuli di carta straccia ecc.) che in determinate condizioni ambientali e di stoccaggio possono fermentare producendo calore.

Se tali materiali si trovano in condizioni tali per cui il calore generato spontaneamente non si può dissipare a velocità sufficiente, la temperatura salirà fino a raggiungere quella di accensione. Tale fenomeno è noto come autocombustione.

1.1.4 Classificazione dei combustibili

Al paragrafo 1.1.2 *a pag. 25* abbiamo dato la classificazione dei fuochi in base alla natura del materiale combustibile. Diamo ora alcune classificazioni dei materiali basate sul loro stato fisico, sulle loro caratteristiche di combustibilità e sulla normativa vigente.

Sappiamo che per gas si intende comunemente una sostanza che in condizioni di temperatura e pressione ambiente esiste solo allo stato aeriforme (citiamo per esempio: idrogeno, ossigeno, azoto, metano ecc.).

I gas si dividono in combustibili e non combustibili [16]. È evidente da quanto detto in precedenza che i gas combustibili vanno classificati come infiammabili. Nelle bombole i gas possono essere allo stato compresso (metano), liquefatto (propano) e disciolto (acetilene).

Restano ora da classificare solidi e liquidi.

I solidi vengono classificati come segue:

- **incombustibili:** non possono bruciare;
- **difficilmente combustibili:** possono prendere fuoco a contatto con una sorgente di accensione, ma una volta allontanata tale sorgente questi materiali non sono capaci di bruciare da soli;
- **combustibili:** una volta innescati bruciano da soli.

I solidi combustibili si suddividono poi in:

- facilmente accendibili: cominciano a bruciare rapidamente sotto l'azione di una sorgente di energia (fiammifero, scintilla, corto circuito);
- difficilmente accendibili: possono essere accesi soltanto da una sorgente di accensione di elevata energia applicata per un tempo prolungato [17].

Le considerazioni fatte per la combustibilità dei solidi sono valide anche per i liquidi. La classificazione italiana dei liquidi combustibili è mostrata nella seguente tabella:

Tab. 1.7 - Classificazione italiana oli minerali, residui e miscele carburanti [1]

CATEGORIA	p.inf. = PUNTO DI INFIAMMABILITÀ	MATERIALI (*)
A	p. inf. < 21°C	Liquidi i cui vapori possono dare luogo a scoppio. Petrolio greggio, virgin nafta, benzine, benzolo, etere di petrolio, etere solforico, miscele carburanti.
B	21 °C ≤ p.inf. ≤ 65 °C	Liquidi infiammabili. Petrolio raffinato, acqua ragia minerale, alcool etilico, alcool metilico e cherosene.

16. Non dimentichiamo che tra i gas abbiamo anche i **gas comburenti** senza i quali la combustione non potrebbe avere luogo: l'aria, l'ossigeno, il protossido d'azoto, per citare i principali.
17. Cfr. Rivista Antincendio, luglio 1982, pag. 46.

Tab. 1.7 - *(segue)* Classificazione italiana oli minerali, residui e miscele carburanti [1]

CATEGORIA	p.inf. = PUNTO DI INFIAMMABILITÀ	MATERIALI (*)
C	p.inf. > 65 °C	Liquidi combustibili. Gasolio per riscaldamento, olio combustibile, oli minerali lubrificanti, oli minerali bianchi, residui della distillazione, vaselina, paraffina, bitume del petrolio, coke di petrolio.

(1) Legge 8.2.1934, n. 367.
(*) Questa classificazione degli oli minerali, residui e miscele carburanti, che divide i materiali in tre categorie A, B e C è estesa anche a materiali non derivati dal petrolio (es.: eteri ed alcoli) che hanno caratteristiche di infiammabilità rientranti nelle tre categorie dei prodotti petroliferi. Va notato che in questa classificazione vengono assimilati ai liquidi combustibili anche i derivati solidi del petrolio.

1.1.5 Il comburente

Il comburente è l'ossigeno atmosferico, cioè quello presente nell'aria.

L'aria è una miscela gassosa con la seguente composizione volumetrica:

- ossigeno	20,95%
- azoto e argon	79,01%
- anidride carbonica	0,03%
- altri gas	0,01%
Totale	100,00

L'ossidante è l'ossigeno, l'anidride carbonica è un composto già completamente ossidato, mentre azoto e argon sono inerti.

L'aria arricchita di ossigeno (fino al 24% in volume) e l'ossigeno puro hanno pure importanza nel campo industriale e in alcune applicazioni terapeutiche (ossigenoterapia).

I limiti di esplosività cui normalmente si fa riferimento sono quelli rispetto all'aria. Il campo di infiammabilità con aria arricchita e con ossigeno puro è più ampio di quello in aria atmosferica, inoltre nelle atmosfere arricchite di ossigeno le sostanze combustibili hanno una temperatura di accensione più bassa e bruciano molto più rapidamente che in aria.

L'insufficiente contenuto di ossigeno in un ambiente chiuso (es.: serbatoio, stiva ecc.) può impedire la combustione. Questa proprietà è utilizzata per prevenire le esplosioni mediante l'aggiunta di gas inerti all'atmosfera di quegli ambienti.

1.1.6 L'energia termica (calore)

La combustione per iniziare e continuare necessita di un apporto di energia termica. All'inizio della combustione questo apporto è fornito dalla sorgente di accensione. Durante la propagazione della combustione esso è costituito dal calore che le molecole che reagiscono cedono a quelle circostanti che devono ancora reagire. Questa cessione di calore permette l'auto-sostentamento della reazione [18].

Come abbiamo detto sopra, la fiamma e le scintille prodotte dall'arco delle alimentazioni elettriche domestiche e industriali hanno sempre energia sufficiente per accendere miscele di gas, polvere e nebbie combustibili. Anche l'elettricità statica può produrre scintille di potenza più che sufficiente per innescare miscele esplosive.

1.2 Principali cause d'incendio

- Le cause d'incendio possono essere molteplici per cui spesso risulta difficile se non impossibile individuarle. Stando ai dati statistici, in Italia gli incendi per causa ignota sono circa il 60% del totale degli incendi nelle attività industriali. Nel rimanente 40% le quattro principali cause d'incendio sono le seguenti [19]:
- Cause elettriche (scintille, surriscaldamento di conduttori, motori elettrici ecc.) 31,83%.
- Mozziconi di sigaretta o fiammifero [20] 8,86%.
- Autocombustione 8,74%.
- Faville 6,14%.

Le cause sopra indicate si riferiscono alle attività industriali. Comunque, pur variando le percentuali, esse rappresentano praticamente le cause più comuni per quasi tutte le attività.

18. Tratto da: "Guida pratica all'Antincendio", Op. cit.
19. Dati del Ministero dell'interno - Direzione Generale della Protezione Civile e dei Servizi Antincendi - Tratto da *"La prevenzione incendi nell'industria"*, Op. cit.
20. Balza all'occhio come la seconda causa d'incendio sia dovuta alla scarsa attenzione di chi ha l'abitudine di fumare. L'adozione di provvedimenti organizzativi, quali il divieto di fumare negli ambienti di lavoro, ma di consentire ai fumatori di soddisfare le loro esigenze destinando a "posto fumo" determinate aree circoscritte e situate in luoghi dove non c'è la possibilità d'incendio, può indubbiamente contribuire a ridurre il numero degli incendi dovuti a questa causa.

I dati statistici non permettono di evidenziare fra le cause d'incendio quelle conseguenti al mancato rispetto delle norme di sicurezza nell'esecuzione di lavori cosiddetti "a caldo" o "a fuoco" nelle manutenzioni, modifiche, ampliamenti di impianti e strutture in servizio. Tali incendi, forse non rilevanti per numero, possono invece essere assai rilevanti per le perdite di vite umane e di beni materiali e culturali che essi causano.

Nell'*Appendice "A2" (vedi pag. 227)* di questo volume vengono indicate le cause d'incendio più frequenti per alcune specifiche attività e per specifici ambienti di lavoro.

1.3 Le sostanze estinguenti [21]

Per estinguenti si intendono tutte quelle sostanze che, allo stato solido, liquido o gassoso, hanno la proprietà di potere estinguere un incendio.

Le loro modalità di applicazione variano a seconda del materiale che ha originato l'incendio [22].

Si possono distinguere due metodi di applicazione dell'estinguente: applicazione locale e saturazione totale. Con il primo l'estinguente viene inviato solo sul fuoco, con il secondo l'ambiente chiuso in cui si è sviluppato il fuoco viene inondato completamente con l'estinguente.

Per estinguere l'incendio, la quantità di estinguente erogata per metro quadrato nell'unità di tempo dovrà essere superiore alla sua portata critica. La portata critica è quella portata al di sotto della quale l'incendio non si spegnerà per quanto lunga possa essere l'erogazione dell'estinguente. Se si impiegano estintori non è necessario considerare la portata critica perché le indicazioni dell'etichetta già ci dicono le dimensioni del massimo focolare che può essere spento da quell'estintore.

Gli estinguenti più comuni sono:

- l'acqua;
- le schiume;

21. Per una trattazione più approfondita dell'argomento vedi *"Guida pratica all'Antincendio"*, Op. cit.
22. Cfr. *Annuario della Sicurezza* 1986-87, EPC, Roma. - Riportato da E. Villa, *Dizionario di prevenzione incendi*, 1995, EPC, Roma.

- le polveri estinguenti:
  - le polveri chimiche;
  - le polveri speciali;
- l'anidride carbonica;
- halon [23] e sostituti.

1.3.1 Acqua

L'acqua è il più comune agente estinguente ed è anche il migliore per spegnere gli incendi di classe "A" (combustibili solidi ordinari). Agisce raffreddando il combustibile e diluendo l'ossigeno dell'aria col vapore acqueo prodotto. L'acqua agisce cioè sui lati "calore" e "comburente" del triangolo del fuoco.

La sua efficacia sui solidi comuni è legata al grande potere raffreddante. Tali materiali, infatti, bruciano sia con fiamma che senza fiamma, da ciò la necessità di raffreddare adeguatamente il combustibile non solo per fermare la produzione di vapori infiammabili, ma anche per estinguere le braci prodotte da tali materiali ed impedirne la riaccensione.

L'acqua può essere impiegata su fuochi di classe "B" a fini di controllo, ed anche di estinzione (su liquidi con alto punto di infiammabilità) a patto di adottare alcune precauzioni e modalità d'impiego.

L'acqua non andrà infatti impiegata su liquidi in fiamme che si siano riscaldati oltre i 100°C per evitare il pericolo di violente eruzioni dovute all'ebollizione dell'acqua. Inoltre andrà applicata a getto frazionato o nebulizzato per migliorarne l'efficacia raffreddante. Va tenuta anche in considerazione la possibilità che un uso eccessivo o improprio dell'acqua possa favorire l'espandersi della superficie incendiata.

Non è adatta a spegnere fuochi di classe "C" (fa eccezione l'acqua atomizzata).

Non deve assolutamente essere utilizzata su fuochi di classe "D" (metalli combustibili) perché ciò provocherebbe un reazione esplosiva.

Non deve essere assolutamente utilizzata su fiamme che coinvolgano appa-

23. Halon è un'abbreviazione del termine americano Halogenated Hydrocarbon. Si riferiva in generale a quegli idrocarburi paraffinici i cui atomi di idrogeno erano stati tutti sostituiti da atomi di alogeni (es.: fluoro, cloro, bromo o iodio) e che erano impiegati per uso antincendio. Ora, poiché sono sostanze che riducono lo strato di ozono (ODS), il loro impiego è stato drasticamente limitato ad «usi critici». Vedi anche le note al par. 1.3.5 – *Sostituti degli halon* – a pag. 51 del presente volume.

recchiature elettriche sotto tensione per il pericolo di folgorazione [24]. L'acqua, infatti, conduce l'elettricità [25].

Evaporando completamente 1 litro di acqua produce 1700 litri di vapore acqueo alla temperatura di 100°C e a pressione atmosferica che diventano molti di più all'alta temperatura delle fiamme.

L'acqua può essere erogata sul fuoco a getto pieno, frazionato, nebulizzato e atomizzato, per mezzo di lance, pistole, cannoni e sistemi fissi di spruzzatori *(sprinkler)*.

Il grado di suddivisione ottenibile del getto d'acqua, oltre che dalle caratteristiche dell'ugello erogatore, dipende soprattutto dalla pressione di alimentazione.

- Getto pieno e frazionato: pressioni fino a 15 bar.
- Getto nebulizzato: pressioni tra 15 e 60 bar.
- Getto atomizzato: pressioni oltre i 60 bar.

Questa classificazione, che possiamo definire "classica", viene utilizzata per gli impianti tradizionali. Oggi, a seguito della necessità di sostituire gli halon in tutte le loro applicazioni non coinvolgenti apparecchiature elettriche sotto tensione o apparecchiature elettroniche, si è sviluppato, ha preso piede ed è in aumento l'impiego di acqua atomizzata (*nebbia d'acqua, water mist, water fog*) prodotta con ugelli di nuova concezione. Questi ugelli permettono di ottenere getti di elevata suddivisione, con ben definite caratteristiche di distribuzione dimensionale [26] delle gocce, già a partire da 12 bar impiegando come mezzi atomizzanti aria compressa o altri gas mescolati meccanicamente con l'acqua [27].

---

24. Per evitare folgorazioni, la Norma UNI EN3/7 prevede che gli estintori, che non hanno superato la prova dielettrica di cui al punto 9 della norma stessa, debbono riportate obbligatoriamente l'avvertenza «Non utilizzare su apparecchiature elettriche sotto tensione» unitamente al pittogramma che indica tale divieto. Per quanto riguarda invece gli estintori portatili che hanno superato tale prova, essi devono riportare l'indicazione della loro idoneità all'uso su apparecchiature elettriche in tensione con la scritta « Adatto all'uso su apparecchiature elettriche sotto tensione fino a 1000 Volt alla distanza di un metro».
25. Sistemi fissi automatici ad acqua nebulizzata sono comunque impiegati da lungo tempo per la protezione antincendio di trasformatori e grossi interruttori a bagno d'olio. In questi casi la grande suddivisione delle gocce d'acqua non consente la conduzione dell'energia elettrica.
26. Si ritiene che la dimensione ottimale delle gocce corrisponda ad un diametro medio di 80-200 micron.
27. Cfr.: NFPA 750 *"Standard on Water Mist Fire Protection Systems – 1996 Edition"*. La NFPA non prevede comunque la sostituzione con impianti «water mist» degli impianti «sprinkler» tradizionali di cui allo NFPA 15 *"Standard for Water Spray fixed Systems for Fire Protection – 1996 Edition"*.

L'acqua atomizzata oltre che potere sostituire lo halon 1301 in impianti a saturazione totale (es.: sala macchine di navi) può sostituire anche lo halon 1211 per applicazione locale. Anzi, proprio per applicazione locale sono stati approvati negli USA ed in Canada estintori portatili ad acqua atomizzata (pressurized water mist) in sostituzione degli estintori ad halon 1211 (per fuochi di "Class A near electrical equipment").

Va però tenuto presente che mentre la saturazione totale con un mezzo gassoso avviene facilmente in quanto le molecole di gas si diffondono naturalmente e uniformemente in tutto l'ambiente da proteggere (locale o armadio elettrico) una volta che l'ugello di erogazione sia stato posizionato con ragionevole approssimazione nell'ambiente considerato, per la «nebbia d'acqua» la distribuzione può non rivelarsi uniforme. Bisogna pertanto fare delle prove su scala 1:1 per essere certi che il sistema sia correttamente dimensionato e adattato all'area di applicazione [28]. Una progettazione non corretta del sistema a nebbia d'acqua può avere come conseguenza un'insufficiente azione estinguente.

Una valutazione obiettiva delle effettive capacità di estinzione dei sistemi a nebbia d'acqua nei vari campi di applicazione sarà possibile solo quando disporremo di un congruo numero di risultati ottenuti con tali sistemi in incendi reali.

Un vantaggio notevole della nebbia d'acqua rispetto all'acqua frazionata è che per ottenere lo stesso effetto raffreddante e soffocante sul fuoco la quantità di acqua richiesta è notevolmente minore.

Altro innegabile vantaggio è che l'acqua non avrà mai problemi di nocività per l'uomo e per l'ambiente.

Sono stati documentati comunque ottimi risultati per l'estinzione di incendi in ambienti di lavoro quali uffici e altri locali di lavoro, nonché in locali di abitazione, ottenuti erogando getti d'acqua ad intermittenza con appositi dispositivi portatili.

1.3.2 Schiuma

La schiuma è il migliore agente estinguente per i fuochi di classe "B" che coinvolgono grandi superfici. Non è efficace per fuochi di getti di combustibile. Le schiume spengono anche fuochi di classe "A".

28. L'IMO – International Maritime Organization esige la presentazione della documentazione di prove eseguite in laboratorio attestanti che il sistema soddisfa ai requisiti richiesti.

La schiuma è formata da bolle piene d'aria la cui pellicola è composta da acqua [29], sostanze schiumogene e additivi che le impartiscono resistenza meccanica e resistenza al fuoco.

Si ottiene mescolando, con appositi dispositivi (detti generatori di schiuma), aria ad una soluzione di liquido schiumogeno [30] concentrato in acqua (detta soluzione schiumogena). Questa soluzione può contenere dall'1 al 10% di schiumogeno, a seconda del tipo di schiumogeno impiegato e del materiale da spegnere, vedi *figura 1.3*.

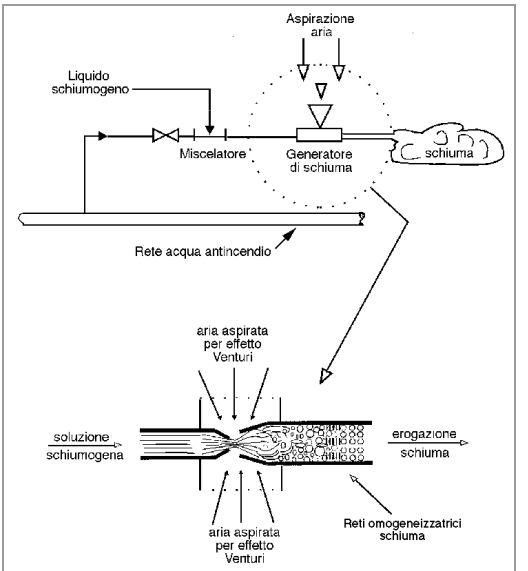

Fig. 1.3 - *Formazione della schiuma*

A seconda della quantità di aria che viene miscelata con la soluzione schiumogena si ottengono volumi più o meno grandi di schiuma per litro di soluzione, cioè espansioni normali, medie e grandi.

Il rapporto tra il volume di schiuma ottenuta ed il volume di soluzione di partenza è chiamato rapporto di espansione (R.E.) [31]:

- bassa espansione: R.E. da 1 a 20;
- media espansione: R.E. da 20 a 200;
- alta espansione: R.E. maggiore di 200 (si arriva anche a 1000 e oltre).

29. La schiuma conduce l'elettricità. Pertanto, per evitare folgorazioni, la Norma UNI EN3/7 prevede che gli estintori a schiuma, che non hanno superato la prova dielettrica di cui al punto 9 della norma stessa, debbono riportate obbligatoriamente l'avvertenza «Non utilizzare su apparecchiature elettriche sotto tensione» unitamente al pittogramma che indica tale divieto. Per quanto riguarda invece gli estintori a schiuma che hanno superato tale prova, essi devono riportare l'indicazione della loro idoneità all'uso su apparecchiature elettriche in tensione con la scritta « Adatto all'uso su apparecchiature elettriche sotto tensione fino a 1000 Volt alla distanza di un metro».
30. La più recente normativa comunitaria fornisce specifiche per i liquidi schiumogeni concentrati ad alta, media e bassa espansione, vedi: UNI EN 1568-1, 1568-2, 1568-3,1568-4.
31. Vedi Norma UNI 9493.

Le schiume a media e alta espansione si possono ottenere solo con schiumogeni sintetici.

La schiuma è più leggera degli idrocarburi liquidi sui quali galleggia creando una barriera tra combustibile e aria circostante. Inoltre, raffreddando la superficie del liquido con l'acqua contenuta, riduce lo sviluppo di vapori combustibili. Lo stesso accade per i solventi infiammabili. Le sue azioni sono separazione e raffreddamento, cosicché agisce sui lati "combustibile" e "calore" del triangolo del fuoco.

Le schiume ad alta espansione con R.E. di 500 e oltre non si applicano sulla superficie dei liquidi incendiati, ma servono per riempire lo spazio intorno ai combustibili di classe "A" (saturazione totale) in magazzini, cantine, stive. Esse sottraggono al combustibile l'aria necessaria alla combustione. Agiscono quindi sul lato "comburente" del triangolo del fuoco.

Più alto è il rapporto di espansione, più leggera è la schiuma.

Il peso specifico della soluzione schiumogena è praticamente quello dell'acqua, cioè circa 1 kg/l.

Il peso specifico di una schiuma si ottiene facendo l'inverso del suo rapporto di espansione. Per cui, per esempio, 1 litro di schiuma pesa:

- con R.E. 10: 1/10 = 0,1 kg (1 etto);
- con R.E. 100: 1/100 = 0,01 kg (10 grammi);
- con R.E. 1000: 1/1000 = 0,001 kg (1 grammo)

La schiuma può venire versata indirettamente sulla superficie del combustibile, facendola scorrere su una parete da cui si spande sulla superficie del liquido, oppure fatta cadere direttamente sulla superficie del liquido.

L'applicazione indiretta viene adottata per gli impianti fissi di schiuma a bassa espansione (serbatoi per idrocarburi di medie e grandi dimensioni) mentre l'applicazione diretta è quella che si fa negli interventi con lance portatili, con cannoni a schiuma fissi e mobili, e con ugelli spruzzatori.

Per essere efficaci le schiume devono resistere bene al calore e non venire distrutte dal liquido che devono spegnere.

Per quanto riguarda i prodotti da spegnere, i liquidi schiumogeni sono fondamentalmente di due tipi: schiumogeni per idrocarburi e schiumogeni per alcoli (alcoli solubili in acqua e sostanze polari volatili). Esistono anche schiumogeni che sono idonei sia per gli idrocarburi, che per gli alcoli. Essi sono chiamati schiumogeni universali.

Per quanto riguarda la loro composizione gli schiumogeni si dividono in schiumogeni a base proteinica (proteinici) e schiumogeni a base sintetica (sintetici).

La polvere chimica non deve distruggere la schiuma. Gli estintori vanno caricati con una polvere compatibile con la schiuma che si intende usare.

Più fluida è la schiuma più facilmente essa viene convogliata sul fuoco e può aggirare gli ostacoli. Più plastica è la schiuma, più il manto di schiuma resiste all'azione del vento senza frazionarsi. Le schiume drenano gradualmente una soluzione acquosa e questo riduce la loro plasticità. Il tempo impiegato dalla schiuma per drenare il 25% e il 50% del suo contenuto iniziale di acqua sono i parametri usati per valutarne la plasticità.

Alcune schiume drenano una soluzione acquosa la cui bassissima tensione superficiale fa sì che la soluzione formi un film che galleggia sulla superficie degli idrocarburi liquidi. Gli schiumogeni che producono queste schiume sono chiamati schiumogeni filmanti (*film forming concentrates*) e le schiume "Aqueous Film Forming Foam" (AFFF).

Il film ha la proprietà di spandersi oltre il bordo del mantello di schiuma e può raggiungere punti dietro ad ostruzioni, dove la schiuma non può giungere. Il film ha un'azione sigillante e impedisce ai vapori infiammabili di liberarsi. Gli schiumogeni filmanti non sono idonei per spegnere alcoli e idrocarburi mescolati con oltre il 10% di alcoli. (Esistono però anche tipi di schiumogeni per alcoli dotati di proprietà filmanti, come vedremo in seguito).

La schiuma AFFF è impiegata per interventi misti schiuma-polvere col sistema "twin-agents". È indispensabile in questo caso che la polvere chimica sia compatibile con la schiuma, cioè che non la distrugga.

La compatibilità delle polveri è una caratteristica molto importante perché, alla fine di un'applicazione di schiuma, è possibile avere alcuni punti che bruciano ancora e che né la schiuma né il film sigillante possono raggiungere. Questi punti vengono usualmente spenti con estintori a polvere chimica.

Le schiume vengono classificate in base alla loro composizione chimica, alla loro capacità estinguente e alla loro resistenza alla riaccensione.

La norma UNI 9493 classifica così gli schiumogeni in base alla loro composizione chimica:

- schiumogeni proteinici;
- schiumogeni fluoroproteinici;
- schiumogeni filmanti;

- schiumogeni sintetici;
- schiumogeni per liquidi polari a base proteinica e a base sintetica.

La stessa norma prevede anche la classificazione delle caratteristiche di comportamento al fuoco:

Tab. 1.8

CAPACITÀ ESTINGUENTE	RESISTENZA ALLA RIACCENSIONE
1ª classe: ottima	Livello A: più di 15 minuti
2ª classe: buona	Livello B: più di 10 minuti
3ª classe: normale	Livello C: più di 5 minuti

L'assegnazione degli schiumogeni alle classi di comportamento al fuoco viene fatta con prove standard.

Per quanto riguarda la viscosità, gli schiumogeni possono essere fluidi normali (newtoniani) o pseudoplastici (non newtoniani). I fluidi pseudoplastici all'inizio del movimento hanno viscosità molto elevate, che poi diminuiscono con il procedere del movimento stesso. Possono essere richieste attrezzature speciali per la preparazione della miscela schiumogena.

Sui recipienti dello schiumogeno devono comparire, tra le altre, le seguenti indicazioni:

- classificazione chimica, classe e livello di appartenenza;
- concentrazione d'uso consigliata;
- eventuali effetti fisiologici dannosi, modo di evitarli e azioni di pronto soccorso;
- temperature e condizioni di stoccaggio raccomandate.

1.3.3 Polveri estinguenti

Gli agenti estinguenti in polvere possono essere divisi in due gruppi principali:

- polveri chimiche,
- polveri speciali.

Le polveri estinguenti vengono classificate in funzione della classe dei fuochi su cui possono essere usate:

- Tipo A: Solidi combustibili comuni.
- Tipo B: Liquidi infiammabili e solidi che fondono prima di bruciare.
- Tipo C: Gas infiammabili.
- Tipo D: Metalli.

Il tipo dei fuochi per cui la polvere è ammessa deve essere indicato sulla targhetta degli estintori. Le polveri che possono essere usate per più tipi di fuochi vengono chiamate polivalenti (es.: ABC).

Le polveri vengono scaricate sulle fiamme con estintori portatili, carrellati, automontati o da impianti fissi per azione di un appropriato gas propellente (azoto o anidride carbonica).

1.3.3.1 Polveri chimiche

Le polveri chimiche spengono rapidamente i fuochi di classe "B" e "C" (gas e liquidi). La polvere chimica polivalente è efficace anche su fuochi di classe "A" (combustibili ordinari quali legno e carta). Le polveri chimiche sono impiegate dove è richiesto un rapido abbattimento della fiamme. Non essendo conduttrici, le polveri chimiche possono essere usate per spegnere incendi di apparecchiature elettriche sotto tensione, ma non dovrebbero essere usate in aree dove i depositi che lasciano possono danneggiare apparecchiature elettroniche o delicati relè elettrici.

Le polveri chimiche si dividono in normali (bicarbonato di sodio), potenziate (composti di potassio) e polivalenti (a base di fosfato monoammonico).

Le polveri vengono proiettate sulla fiamma per mezzo di gas inerti sotto pressione (azoto, anidride carbonica), ma è ammessa anche l'aria. I gas inerti hanno una certa azione soffocante sul fuoco, che però non è sufficiente a spiegare l'efficacia degli estintori nell'estinguere le fiamme. La maggior parte degli estintori in uso è caricata con polvere chimica.

Le polveri chimiche agiscono sulla fiamma, decomponendosi per effetto del calore e bloccando con i prodotti della decomposizione le reazioni dei gas e vapori combustibili con l'ossigeno dell'aria.

Con l'arresto delle reazioni esotermiche della fiamma, viene a mancare il calore necessario ad innescare la reazione tra le molecole (gas o vapori) di combustibile e l'ossigeno dell'aria. Possiamo quindi dire che, in ultima analisi, le polveri agiscono sul lato "calore" del triangolo del fuoco.

Tuttavia l'estinzione non può essere spiegata in modo soddisfacente col solo triangolo del fuoco. Dobbiamo considerare un altro fattore. Le reazioni che portano a formare i prodotti finali della combustione (acqua, ossido di carbonio, anidride carbonica) avvengono attraverso una serie di rapidissimi passaggi intermedi, chiamata catena di reazione. Le polveri chimiche hanno la proprietà di spezzare queste catene.

Un modello geometrico, il **tetraedro del fuoco** [32], si presta bene a studiare la combustione con fiamma. Le quattro facce del tetraedro rappresentano rispettivamente combustibile, comburente, calore e catena di reazione.

Fig. 1.4 - *Tetraedro del fuoco*

Le polveri chimiche agiscono sulla faccia "catena di reazione" per cui la combustione con fiamma si arresta. Questo spiega il rapido abbattimento delle fiamme che si ottiene con l'uso delle polveri chimiche.

Le polveri chimiche non hanno un'azione raffreddante e quindi non sono in grado di spegnere completamente i fuochi di classe "A" (solidi comuni), perché le braci riaccendono rapidamente i vapori combustibili che si liberano dal materiale caldo. Non hanno questa limitazione le polveri polivalenti che lasciano sul materiale spento una crosta vetrosa, che lo isola dall'aria impedendo il rilascio dei vapori combustibili. Queste polveri quindi, oltre che sulla faccia "catena di reazione", agiscono anche sulla faccia "combustibile" del tetraedro del fuoco [33].

L'inconveniente della riaccensione si presenta anche per liquidi se vi sono superfici metalliche arroventate. L'inconveniente in questo caso si presenta in maniera più modesta perché il metallo si raffredda rapidamente. Per completare l'estinzione si deve intervenire con altra polvere o raffreddare con un pò d'acqua.

Le polveri chimiche vengono impiegate insieme alle schiume AFFF (sistemi

32. Il tetraedro è una piramide a base triangolare e il suo nome significa "quattro facce".
33. In luogo del tetraedro del fuoco può essere conveniente usare il "quadrilatero o quadrato del fuoco", figura più facile da disegnare per l'insegnante e nome più facile da ricordare per gli allievi.

"twin-agents") dove è essenziale un rapido abbattimento delle fiamme, ottenendo contemporaneamente spegnimento delle fiamme e copertura sigillante sul combustibile liquido per impedirne la riaccensione (es.: eliporti sopraelevati, eliporti su navi ecc.).

Impianti a polvere chimica sono impiegati per proteggere trasformatori o interruttori in bagno d'olio. Impianti fissi automatici a polvere chimica (bicarbonato di sodio) sono impiegati per proteggere le friggitrici nelle cucine di piattaforme petrolifere, navi, comunità in genere.

Controindicazioni

Le polveri chimiche non devono mai essere usate su incendi coinvolgenti:

- prodotti chimici contenenti la propria alimentazione di ossigeno, quali ad esempio la nitrocellulosa;
- metalli combustibili, quali sodio, potassio, magnesio, titanio e zirconio.

1.3.3.2 Polveri speciali

Le polveri speciali si usano per gli incendi di classe "D" (metalli attivi). Esse agiscono come "coprenti", cioè hanno solo la funzione di impedire il contatto tra il metallo e l'ossigeno dell'aria.

Le polveri speciali, anidre [34], sono costituite da grafite, cloruro di sodio anidro, carbonato di sodio anidro, sabbia secca e simili sono state sviluppate per i fuochi di metalli. Questi materiali finemente suddivisi costituiscono una coltre che isola il metallo dall'aria e gli permette di raffreddarsi al di sotto della sua temperatura di accensione.

1.3.4 Anidride carbonica

L'anidride carbonica spegne fuochi di classe "B" e "C" ed è inoltre un ottimo estinguente per apparecchiature elettriche sotto tensione, perché non è conduttrice, non lascia depositi ed essendo gassosa arriva in punti dove la polvere chimica non può arrivare. L'impiego della CO_2 su fuochi di classe "A" è efficace solo su piccole quantità di materiale (come nel caso degli isolanti in una apparecchiatura elettrica) o in impianti fissi a saturazione totale adeguatamente progettati. A causa della sua volatilità essa può essere usata all'aperto solo per

34. Cioè perfettamente secche, prive di umidità.

piccoli fuochi. Essa è principalmente impiegata per proteggere ambienti chiusi contenenti apparecchiature elettriche ed elettroniche nonché macchinari delicati.

Le azioni dell'anidride carbonica sono la diluizione dell'ossigeno e il raffreddamento e, perciò, essa agisce sui lati "ossigeno" e "calore" del triangolo del fuoco.

L'anidride carbonica (CO_2) è un gas inodore, incolore, che non conduce l'elettricità. L'anidride carbonica è circa una volta e mezza più pesante dell'aria. Essa è immagazzinata in bombole allo stato liquido ma, quando viene rilasciata all'atmosfera essa si trasforma in gas e solido (neve carbonica).

Fino a che c'è liquido nella bombola la pressione dipende solo dalla temperatura; la tensione di vapore dell'anidride carbonica è di 58,6 bar ass. a 21°C (temp. crit. 31,1 °C, press. crit. 74 bar).

L'anidride carbonica viene impiegata, come estinguente, nei seguenti modi:

- per applicazione locale con estintori portatili, carrellati, automontati e con impianti fissi;
- per saturazione totale con impianti fissi.

Negli impianti antincendio fissi di piccola e media capacità l'anidride carbonica è fornita da batterie di bombole. Negli impianti di grande capacità viene invece conservata liquida a bassa pressione in serbatoi refrigerati.

La tossicità dell'anidride carbonica è molto bassa ma, poiché essa non sostiene la respirazione, scaricare rilevanti quantità di anidride carbonica in ambienti chiusi può creare pericoli per le persone per deficienza di ossigeno. Inoltre, una concentrazione del 9% in aria produce la perdita di conoscenza entro pochi minuti; concentrazioni superiori al 25% hanno un rapido effetto narcotico e portano al blocco della respirazione quasi immediatamente.

Negli impianti fissi a saturazione totale le concentrazioni di estinzione superano sempre il 34%, giungendo in alcuni casi anche a valori molto superiori. Da ciò il grande pericolo per persone che si trovassero all'interno di un locale così protetto durante una scarica di CO_2.

Dove sono installati sistemi antincendio a saturazione totale, sono installati dei segnalatori ottici e acustici che danno l'allarme prima che avvenga lo scarico di anidride carbonica, per consentire alle persone eventualmente presenti di abbandonare per tempo il locale.

1.3.5 Sostituti degli Halon

Gli idrocarburi alogenati (halon [35]) erano agenti estinguenti ampiamente usati per la protezione di tipologie di attività a rischio analoghe a quelle in cui si impiega la CO_2. Essi erano infatti agenti volatili, dielettrici, che non lasciavano residui dannosi, ma presentavano un'efficacia assai più elevata (concentrazioni di progetto attorno al 5 – 7%). I principali tra loro erano: lo halon 1301 (bromotrifluorometano) in impianti fissi a saturazione totale, lo halon 1211 (bromoclorodifluorometano) per l'applicazione locale. Queste sostanze sono state bandite dalla produzione e dall'uso per la loro spiccata capacità di impoverire lo strato dell'ozono stratosferico. La loro efficacia estinguente era soprattutto dovuta alla presenza del bromo nelle loro molecole, che però si è rivelato l'elemento più lesivo per la fascia d'ozono [36]. Per tale ragione sono stati sviluppati dei prodotti sostitutivi, seguendo diverse strade: gli idroclorofluorocarburi [37] (HCFC), gli idrofluorocarburi (HFC), i perfluorocarburi (PFC) ed i gas inerti. Per alcune applicazioni (per es.: sale macchine delle navi) gli impianti ad halon sono stati sostituiti da impianti a nebbia d'acqua (water mist), di cui abbiamo parlato in precedenza.

Gli idrocarburi fluorurati agiscono sul fuoco in modo simile ai vecchi halon, hanno, cioè, un effetto di inibizione sulla catena di reazione nella fiamma, ma

35. Ricordiamo che Halon è un'abbreviazione del termine americano Halogenated Hydrocarbon. Si riferiva in generale a quegli idrocarburi paraffinici i cui atomi di idrogeno erano stati tutti sostituiti da atomi di alogeni (es.: fluoro, cloro, bromo o iodio) e che erano impiegati per uso antincendio. Ora, dopo che il loro impiego è stato drasticamente limitato ad «usi critici», il termine nella nostra regolamentazione ha assunto un significato più specifico. Infatti, il D.M. 3 ottobre 2001 del Ministero dell'Ambiente, art.1-a), col termine «halon» designa *"le sostanze controllate lesive dell'ozono stratosferico elencate nella tabella A, gruppo II, allegata alla legge 28 dicembre 1993, n. 549, nonché quelle contenute nell'allegato I, gruppo III del regolamento (CE) n. 2037/2000 del 29 giugno 2000"*, sostituito dal regolamento (CE) 1005/2009 del 16/09/2009 sulle sostanze che riducono lo strato di ozono.
L'allegato VI «Usi critici degli halon» di questo regolamento è stato successivamente sostituito dall'allegato VI di pari nome del Regolamento U.E. n. 744/2010.
36. Gli halon rappresentavano non più del 3% delle emissioni in atmosfera di derivati alogenati degli idrocarburi, ma si è valutato che il bromo in essi contenuto abbia contribuito per ben il 30% all'impoverimento della fascia di ozono.
37. Anche gli idroclorofluorocarburi (HCFC) sono lesivi dello strato di ozono, anche se in misura minore degli halon. Pertanto, il loro uso è limitato solo per i casi in cui non esistono sostanze alternative che non riducono lo strato di ozono. In particolare, in sostituzione degli halon per usi critici. Gli HCFC hanno però anche altri impieghi oltre a quelli antincendio, per cui la produzione e il commercio sono per ora ancora ammessi ma soggetti a particolari limitazioni. Quelli recuperati da sistemi di protezione antincendio o estintori possono essere rigenerati o riciclati (Art. 22 Regolamento n. 1005/2009 (CE) del 16/09/2009).

presentano una efficacia inferiore sia in termine di peso che di volume di agente impiegato di almeno il 60%. Inoltre producono una maggiore quantità di prodotti di decomposizione tossici e hanno un costo molto elevato.

È comunque ammesso l'impiego [38] come estinguenti di «halon riciclati o rigenerati (non quelli vergini)» per un ristretto numero di ***"usi critici"*** [39], quali:

a) protezione dei vani motore, dell'avionica, dei compartimenti di carico e delle cabine degli aerei civili e militari;

b) protezione dei vani motore e delle sale di controllo delle imbarcazioni militari;

c) soppressione delle esplosioni e inertizzazione di mezzi militari;

d) protezione delle piattaforme petrolifere.

È inoltre, per ora, consentito l'uso di idroclorofluorocarburi (HCFC) nel settore dell'antincendio per le seguenti applicazioni:

a) <u>in sostituzione dell'halon 1301</u>:
- negli aerei per la protezione dei compartimenti dell'equipaggio, della gondola motore, degli scomparti merci e del carico secco;
- in veicoli militari terrestri e in navi da guerra, per la protezione degli spazi occupati dal personale e dei compartimenti motore;
- per l'inertizzazione di spazi occupati in cui potrebbe verificarsi la fuoriuscita di liquidi e/o gas infiammabili, nel settore militare, petrolifero, del gas, e petrolchimico e delle navi mercantili;
- per l'inertizzazione dei centri di comunicazione e di comando, con presenza di personale, delle forze armate o per altri centri indispensabili per la sicurezza del paese;
- per l'inertizzazione di spazi in cui possa esservi il rischio di dispersione di sostanze radioattive.

b) <u>in sostituzione dell'halon 1211</u>:
- negli estintori a mano e apparecchiature fisse per i motori per l'uso a bordo di aerei;
- negli estintori indispensabili per la sicurezza delle persone e in quelli utilizzati dai vigili del fuoco, militari e polizia.

38. Ministero dell'ambiente, D.M. 3 Ottobre 2001, Recupero, riciclo, rigenerazione e distruzione degli halon.
39. Vedi Allegato VI al Regolamento CE 744/2010/UE del 18/08/2010 che riporta la "data limite", cioè la data oltre la quale gli halon non devono più essere usati per gli usi critici ed entro la quale gli estintori o i sistemi antincendio contenenti halon devono essere "smantellati" (sic).

I gas inerti, trattandosi di prodotti esistenti in natura, non hanno limitazioni di impiego né per quanto riguarda l'ozono, né per l'ambiente in genere.

Essi agiscono sulla fiamma per diluizione dell'ossigeno e assorbimento di calore, in modo analogo alla CO_2, ma a concentrazioni superiori. Pur non essendo tossici, presentano problemi legati alla riduzione dell'ossigeno nell'ambiente protetto al di sotto dei valori minimi per la respirazione umana. Inoltre, non essendo liquefattibili, hanno un elevato ingombro di stoccaggio. Il loro costo è notevolmente superiore sia alla CO_2 che ai vecchi halon.

I principali gas inerti sono: argon puro, Argonite (miscela di argon e azoto), Inergen (argon, azoto e CO_2). Riguardo a quest'ultimo si deve osservare che, contenendo una piccola quantità di CO_2 nella miscela, dovrebbe promuovere le caratteristiche respiratorie con l'intento di permettere la sopravvivenza in un ambiente impoverito di ossigeno.

Tutte queste sostanze (halon e sostituti) richiedono, comunque, precauzioni per il personale analoghe a quelle previste per l'anidride carbonica.

1.3.6 Aerosol estinguenti condensati

Una nuova categoria di sostituti degli halon si è aggiunta a quelli appena descritti. Si tratta degli **aerosol condensati**, per i quali è stata di recente approvata una norma nazionale [40].

Questi estinguenti sono particolati solidi estremamente suddivisi, originati dalla combustione di una massa pirotecnica e sospesi nei gas originati dalla combustione stessa. Sotto il nome di "aerosol estinguenti pirotecnici" sono stati impiegati in sistemi di estinzione speciali fin dagli ultimi anni del novecento. [41] Da allora sono stati compiuti molti progressi nella preparazione del prodotto solido che li genera per combustione e negli impianti fissi. Da qui il nome "aerosol condensati di seconda generazione" che viene talvolta usato per quelli attuali.

Vengono impiegati in impianti fissi a "saturazione totale" e ad "applicazione

40. Norma UNI ISO 15779:2012 - "Installazioni fisse antincendio - Sistemi estinguenti ad aerosol condensato – Requisiti e metodi di prova per componenti e progettazione, installazione e manutenzione dei sistemi – Requisiti generali".
41. Fonti: I) S. Tiburzi, Gli estinguenti aerosol pirotecnici, Rivista "Antincendio", aprile 1999; 2) DOT/FANAR-99/63 Options to the use of Halons for Aircraft Fire Suppression Systems - 2001 Update; 3) C. J. Kilbert, Micro-K Fire Suppression System: The ultimate industrial fire protection technology, Ansul Inc. – Allora il paese più avanzato in questo campo era la Russia che era anche la maggior produttrice di prodotti base per la fabbricazione delle masse pirotecniche.

locale". Vi è comunque anche la possibilità di applicazioni manuali. Sono utilizzati per fuochi A, B e C.

L'UNI dà le seguente definizione per l'aerosol antincendio:

"mezzo di estinzione composto da particelle finemente suddivise e sostanze gassose, generate attraverso un processo di combustione di un composto solido formante aerosol".

L'aerosol estinguente è costituito da una miscela di particelle solide sottili e di gas inerti, in cui la fase gassosa è costituita principalmente da azoto e anidride carbonica, mentre la fase solida contiene principalmente carbonato, bicarbonato e cloruro di potassio.

La formazione dell'aerosol estinguente avviene all'interno di speciali dispositivi chiamati **generatori** e l'erogazione avviene direttamente nell'ambiente attraverso una bocca, una grata, o anche attraverso dispositivi analoghi agli usuali sprinkler.

Il "composto" è costituito di regola da ossidanti inorganici e sali (nitrato o clorato di potassio e cloruro di potassio) e da combustibili inorganici od organici (magnesio, combinazioni epossidiche o altri). [42] La combustione del composto (*aerosol-forming compound*) viene innescata da un dispositivo elettrico o termico comandato da un sistema di allarme o da un computer.

All'interno del generatore i prodotti della reazione esotermica sono allo stato gassoso ma all'uscita raffreddandosi la parte salina si condensa formando una polvere sottilissima e la miscela di solidi e gas formatasi si diffonde nell'ambiente.

Il meccanismo di estinzione del fuoco per mezzo di aerosol condensati non è ancora ben conosciuto con precisione, ma si ritiene che la fase solida dell'aerosol agisca sulla fiamma similmente alle polveri estinguenti.

In sostanza questi aerosol sono polveri chimiche formatesi al momento.

Le particelle, essendosi appena formate, hanno una superficie "fresca" e quindi più attiva. Inoltre, poiché sono sottilissime, penetrano dappertutto, per cui dall'insieme di queste proprietà deriva un'efficienza superiore a quella delle pol-

42. Fonti:"The mechanism of fire suppression by condensed aerosols", Vladimir V. Agafanov, Sergey N. Kopylov e altri – Russian Scientific Research Institute for Fire Protection; "Fire extinguishing aerosol forming means" European Patent EP 1109601; it. Wikipedia: "Aerosol (agente estinguente)" e "Condensed aerosol fire suppression"; Sito web dell'UNI-ente nazionale italiano di unificazione.

veri estinguenti normali. Non solo, ma essendo le particelle numerosissime hanno una superficie complessiva per unità di massa molto grande, per cui gli aerosol possono risultare più efficaci degli stessi halon.

Il diametro aerodinamico [43] delle particelle solide è molto basso (diametro medio delle particelle minore di 5 μm) e questo consente loro di rimanere a lungo sospese nell'aria formando una nube opaca che impedisce la visibilità ma che penetra dappertutto.

La lunga permanenza nell'atmosfera dell'ambiente impedisce la riaccensione del combustibile, comunque l'intervento del sistema deve essere pronto per impedire che nei combustibili di classe A si formino braci profonde.

L'attivazione del sistema deve però essere preceduta da un segnale di allarme (acustico ed ottico) per consentire alle persone eventualmente presenti di abbandonare l'ambiente prima del rilascio dell'aerosol. [44]

Sono stati recentemente messi in commercio, ad esempio negli USA, dei generatori molto piccoli che si attivano da soli, cioè senza un comando proveniente da un sistema di controllo e allarme, che vengono messi sul fondo degli armadi che contengono cavi elettrici, apparecchiature elettriche ed elettroniche. Tali generatori hanno trovato vasta applicazione per la protezione dei vani motore dei mezzi di trasporto, soprattutto in quelli militari.

1.3.7 Classi di fuoco ed estinguenti ammessi

Tab. 1.9

CLASSE DI FUOCO	AGENTE ESTINGUENTE
A	**Acqua**
	Schiuma
	Polvere chimica polivalente
	Sostituti degli halon
	Anidride carbonica

43. Il diametro aerodinamico è il diametro di una particella sferica con densità $\rho = 1$ g/cm^3 che cade con la stessa velocità della particella in esame.
44. D.M. 10 marzo 1998, allegato V, punto 5.3.

Tab. 1.9 *(segue)*

CLASSE DI FUOCO	AGENTE ESTINGUENTE
B	**Schiuma**
	Polveri chimiche
	Sostituti degli halon
	Anidride carbonica
	Acqua frazionata
C	**Polveri chimiche**
	Sostituti degli halon
	Anidride carbonica
D	**Polveri speciali**
F	**Estinguenti specifici***
Apparecchi elettrici sotto tensione	**Anidride carbonica**
	Sostituti degli halon**
	Polveri chimiche

**) In genere soluzioni di sali organici di potassio (wet chemicals).*
***) Ad esclusione delle nebbie d'acqua (water mist).*
Nota: Gli estinguenti più idonei sono quelli in grassetto.

1.4 Rischi derivanti dall'incendio alle persone e all'ambiente

I prodotti che la combustione sviluppa in un incendio possono essere divisi in:

- calore;
- gas d'incendio;
- fumo visibile.

Tutti questi prodotti comportano pericoli per l'uomo e per l'ambiente. Sono quindi fattori di rischio di cui è necessario conoscere natura e possibile gravità, al fine di potere adottare le precauzioni e contromisure più opportune [45].

45. Cfr. Combustion Products and their Effect on Life Safety in *Fire Protection Handbook*, Op. cit.