MATERIALI PER IL SETTORE FERROVIARIO RESISTENTI AL FUOCO

1. Regolamentazioni nazionali e criteri di classificazione dei materiali resistenti al fuoco.

I materiali resistenti al fuoco vengono classificati con prove di reazione al fuoco (infiammabilità, propagazione della fiamma) e con prove di tossicità ed opacità dei fumi. Le prime permettono di valutare quanto facilmente un materiale può incendiarsi, bruciare e propagare il fuoco, le seconde consentono invece di valutare la pericolosità dei fumi emessi in caso di incendio.

Nel settore dei trasporti pubblici esistono normative europee diverse, delle quali le più note sono l'inglese BS 6853, la francese NF F16-101, la tedesca DIN5510, l'italiana UNI CEI 11170, e la norma europea EN 45545.

Per il settore dell'edilizia e dell'aeronautica sono in vigore altri tipi di normative, che spesso riconducono agli stessi metodi di prova delle norme del settore ferroviario.

In questa trattazione l'attenzione sarà concentrata sulle normative del settore ferroviario.

2. Breve descrizione delle norme per la classificazione dei materiali resistenti al fuoco per il settore ferroviario.

2.1. Norma DIN 5510

La norma DIN 5510, nella sua edizione originaria, classificava i materiali sulla base della resistenza alla fiamma **S** (da S1 a S5, con S5 classe migliore), sviluppo di fumi **SR** (SR1 e SR2, con SR2 classe migliore), e perdita di particelle **ST** (ST1 e ST2, con ST2 classe migliore).
L'appartenenza a queste classi è valutata con un metodo prescritto dalla norma DIN 54837. Un provino lungo 50cm e di larghezza stabilita è fissato in posizione verticale ed esposto per 3 minuti alla fiamma di un bruciatore. La prova viene eseguita in un'apposita camera, con un definito flusso d'aria. La fiamma viene indirizzata sulla superficie del provino, in modo da formare con essa un angolo di circa 45°. Dopo i 3 minuti si allontana la fiamma e si osserva entro quanto tempo il provino si spegne, e quanto provino viene consumato (distrutto) dal fuoco.
La classe **S** viene assegnata in funzione del tempo di spegnimento e della

lunghezza della parte consumata.
La classe **SR** è attribuita a seconda dell'opacità dei fumi, la classe **ST** a seconda del rilascio di particelle e se queste bruciano o non bruciano.
Nell'edizione più recente, destinata ad essere sostituita dalla futura norma europea EN 45545, sono state introdotte prove addizionali, in funzione dell'applicazione del materiale. Per un approfondimento della tematica, si rimanda alla lettura della norma.
Nel caso di guarnizioni, è in genere richiesta una prova integrativa secondo DIN EN ISO 5659 di valutazione della densità ottica e della tossicità dei fumi, in condizioni 25 kW/m^2 in presenza di fiamma. La prova permette di determinare il parametro FED, ottenuto dalla misura di indici di tossicità convenzionali (CIT). Gli indici di tossicità CIT_4 e CIT_8 vengono calcolati misurando la concentrazione di vari gas (CO_2, CO, HF, HCl, HBr, HCN, NO_2 e SO_2) dopo 4 minuti e dopo 8 minuti di combustione. Ogni singola concentrazione di gas è quindi divisa per la concentrazione di riferimento per il singolo gas. IL CIT è ottenuto sommando i risultati di queste divisioni, e moltiplicando la somma per il fattore 0,0805. Un'ulteriore equazione permette di calcolare i parametri FED.

2.2 Norma NF F 16-101

La norma francese NF F 16-101 classifica i materiali sulla base della loro resistenza alla fiamma **M** od **I** (da MO a M4, oppure da I0 a I4), e dell'opacità e tossicità dei fumi **F** (da F0 a F5). A differenza della norma DIN 5510, a numerazione inferiore corrisponde una classificazione migliore.
La prova di resistenza al fuoco è diversa da quella prescritta della DIN 5510: viene infatti utilizzato il metodo del pannello radiante (classi MO-M4), oppure, per articoli di dimensioni limitate, il metodo del filo incandescente unitamente alla determinazione dell'indice di ossigeno (classi I0-I4). Le classi da F0 a F4 sono definite in base all' "indice dei fumi" I.F. Questo indice viene calcolato dopo avere determinato la densità ottica massima dei fumi (Dm), il valore di oscuramento dovuto ai fumi durante i primi 4 minuti di prova (VOF4), e l'indice di tossicità dei fumi (I.T.C.).
La combinazione dei valori **M** (o **I**) ed **F** consente di definire alcune griglie, secondo le quali, per definite applicazioni, possono o non possono essere utilizzati materiali con determinate classificazioni **MF** o **IF**.

2.3 Norma UNI CEI 11170

La norma italiana UNI CEI 11170 parte 3 impone, in funzione dell'applicazione nel settore ferroviario, vari metodi di prova.

Per le applicazioni "guarnizioni", "condotti e tubazioni in materiali flessibili", "materiali utilizzati in piccola quantità", e "materiali utilizzati all'esterno del veicolo" sono richieste la classificazione F secondo NF F 16-101, una prova di propagazione delle fiamma secondo EN ISO 11925-2, ed una valutazione dinamica dei gas e dei fumi secondo l'Allegato A.

In funzione del livello di rischio LR (con LR che varia da 1 a 4) possono cambiare i requisiti per le applicazioni sopra menzionate.

2.4 Norma ASTM C 542

Questa norma americana consente di valutare la facilità di un materiale di propagare la fiamma. Essa consiste nell'esporre un provino standard, fissato in posizione verticale, alla fiamma di un bunsen per un tempo prestabilito.

La fiamma viene posizionata in modo che la sua punta lambisca l'estremità inferiore del provino.

Dopo un tempo prestabilito di 15 minuti la fiamma viene rimossa. Si valuta la capacità del materiale di propagare la fiamma. La prova deve intendersi superata se il materiale si autoestingue o, comunque, se non propaga la fiamma oltre un certo tratto.

2.5 Norma UL 94

Questa norma prevede la possibilità di valutare la capacità di un materiale di bruciare in posizione orizzontale (HB, Horizontal Burning) o verticale (V, Vertical Burning). In questa trattazione ci limiteremo a descrivere sommariamente le prove UL94 V.

Provini di lunghezza 127mm, larghezza 12,7 mm e dello spessore da testare sono fissati in posizione verticale in modo che la loro estremità inferiore si trovi 9,5mm al di sopra di un bunsen, nella cui vicinanza è posto del cotone. Il bunsen viene acceso, lontano dal provino, in modo che produca una fiamma blu con punta gialla alta 19 mm, e quindi collocato al di sotto dell'estremità inferiore del provino per 10 secondi. La fiamma viene rimossa e si misura l'eventuale durata della combustione. La fiamma è immediatamente

ricollocata per altri 10 secondi, quindi rimossa. Si misura la durata della combustione ed incandescenza. La prova è effettuata su almeno 5 provini.

I criteri per una classificazione V-0 sono:

- Nessun provino deve bruciare con fiamma per oltre 10 secondi dopo ciascuna applicazione della fiamma.
- Per ciascun set di 5 provini non ci deve essere un tempo di combustione con fiamma superiore a 50 secondi per le 10 applicazioni della fiamma
- Nessun provino deve bruciare con fiamma o con incandescenza fino all'estremità superiore
- Nessun provino deve rilasciare particelle incandescenti che possano incendiare il cotone
- Nessun provino deve avere una combustione incandescente per oltre 30 secondi dopo la seconda rimozione della fiamma.

I criteri per una classificazione V-1 comportano 30 secondi per il primo requisito, 250 secondi per il secondo requisito, e 60 secondi per l'ultimo requisito.

I criteri per una classificazione V-2 comportano 30 secondi per il primo requisito, 250 secondi per il secondo requisito, possibilità di emettere particelle incandescenti che brucino per breve tempo ed incendino il cotone (quarto requisito), 60 secondi per il quinto requisito, ed il superamento di una prova UL94HB in certe condizioni.

3. Materiali resistenti al fuoco clorurati: neoprene e PVC

Storicamente l'elastomero policloroprene è stato utilizzato per realizzare materiali elastomerici antifiamma, così come il PVC ha trovato largo impiego per la produzione di cavi elettrici resistenti al fuoco. La presenza di legami carbonio-cloro nelle macromolecole impartisce al policloroprene ed al PVC un'intrinseca resistenza al fuoco, ottimizzabile ricorrendo a formulazioni con ritardanti di fiamma quali cloroparaffine ed opportuni additivi. Non è stato quindi difficile in passato realizzare materiali a base di neoprene e PVC con eccellente classificazione per quanto concerne la prova di reazione al fuoco (ad esempio M1 o M2 secondo NF F16-101). L'inconveniente di tali materiali è legata all'emissione di fumi tossici e corrosivi (acido cloridrico), spesso molto densi ed opachi. Ciò corrisponde a classificazioni superiori a F2

secondo NF F 16-101. Il gruppo REDA dispone di una gamma di mescole di neoprene (serie Neofer e 65 FR/TN) in un range di resistenza al fuoco da M1 a M4, con classe di fumo media F3, esenti comunque da triossido d'antimonio.

E' da notare che un'elevata emissione di fumi rende gli interventi in caso di incendio molto difficoltosi se non impossibili. Le persone coinvolte in un incendio, se ostacolate nella fuga da un fumo denso, perdono spesso tempo e sono esposte di conseguenza a fumi tossici per un tempo più prolungato.

In anni recenti l'attenzione si è rivolta verso materiali ritardanti di fiamma non alogenati (FRNH, Flame Retardant Non-Halogen), privilegiando l'aspetto della bassa emissione di fumi.

4. Materiali resistenti al fuoco non alogenati

4.1 Siliconi

Una valida alternativa al neoprene è costituita dal silicone. In caso di incendio questo elastomero brucia liberando vapor d'acqua, monossido di carbonio e diossido di carbonio, lasciando come residuo diossido di silicio, una polvere inerte. Speciali formulazioni consentono di realizzare materiali con eccellente resistenza al fuoco, come la mescola **NF-68/T** (classificata **I2 F1** secondo NF F16-101 ed in grado di soddisfare i requisiti per tutte e quattro le classi di rischio LR1, LR2, LR3 e LR4 previste per le posizioni 22 "guarnizioni", 23 "condotti e tubazioni in materiali flessibili", 27 "materiali utilizzati in piccola quantità", e 28 "materiali utilizzati all'esterno del veicolo" della norma UNI CEI 11170 parte 3) e la mescola **BS-68/T**, rispondente a **BS 6853**. Mescole antifiamma, certificabili, appartengono alla serie **SR-XX-FR/T**. Rispetto al neoprene, il silicone possiede inoltre una migliore resistenza all'ozono, agli agenti atmosferici, all'invecchiamento accelerato, ed è utilizzabile in una più ampia gamma di temperature d'utilizzo (tipicamente da –60°C a +180°C). In funzione della formulazione, queste ultime, specie nel colore bianco carta da zucchero, hanno possibilità di superare la prova UL94-V0. Un esempio è costituito dal materiale Elasil-60-FR/T, che nel colore grigio chiaro è stato classificato UL-V0.

4.2 EPDM di nuova generazione

La gamma di materiali antifiamma in neoprene e silicone è stata ampliata realizzando nuovi prodotti a base di terpolimero etilene-propilene-diene (EPDM). L'EPDM è un polimero idrocarburico, non contenente alogeni e quindi combustibile. Come il silicone, in caso di incendio libera principalmente vapore d'acqua, monossido di carbonio e diossido di carbonio. Altri gas possono formarsi in dipendenza del sistema di vulcanizzazione. Come il silicone, l'EPDM ha eccellente resistenza all' ozono ed agli agenti atmosferici, ma può essere utilizzato in una gamma più ristretta di temperature (tipicamente da –40°C/–20°C sino a +120/+140°C, a seconda dei gradi e formulazioni). Il principale vantaggio è costituito dal minor costo dell'elastomero.

Proprietà antifiamma possono essere impartite aggiungendo alle formulazioni di EPDM prodotti alogenati. Questa soluzione si rivela però anacronistica, alla luce di recenti direttive comunitarie. Ad esempio, le Direttive 2002/95/CE e 2003/11 CE vietano l'uso di bifenilipolibromurati (PBB) e di etere di difenilipolibromurati (PBDE). Paraffine clorurate sono classificate come materiali pericolosi per l'ambiente ed il loro impiego è ormai sconsigliato in Germania. L'ossido di antimonio, raccomandato dalla letteratura tecnica in combinazione con cloroparaffine, è stato inserito negli ultimi anni in liste grigie (ossia elenchi di ingredienti preferibilmente da evitare) o addirittura nere (ingredienti vietati). Prestando attenzione alle imposizioni delle Direttive CE ed ai requisiti ecologici, il Laboratorio REDA ha realizzato già nel 1998 una formulazione in EPDM con eccellenti proprietà antifiamma, bassa emissione di fumi e, soprattutto, assenza di alogeni, ossido d'antimonio e zolfo e prodotti solforati, grazie allo speciale sistema di vulcanizzazione adottato. Questo materiale "FRNH" altamente ecologico, denominato 75-FR/TN, ha conseguito la classificazione S4 SR2 ST2 con FED(15min) di 0,01 e FED(30min) 0,02 secondo norma tedesca DIN 5510, e M2F1 secondo norma francese NF F 16-101, e soddisfa tutti i requisiti per tutte e quattro le classi di rischio LR1, LR2, LR3 e LR4 previste per le posizioni 22 "guarnizioni", 23 "condotti e tubazioni in materiali flessibili", 27 "materiali utilizzati in piccola quantità", e 28 "materiali utilizzati all'esterno del veicolo" della norma UNI CEI 11170 parte 3. Ha durezza 75 Shore A, è nero, possiede discrete prestazioni fisico meccaniche e più che buona resistenza alla deformazione permanente.

Il materiale è stato recentemente affiancato dalle versioni a durezza nominale 65 Shore A (65-EP-FR/TN) e 55 Shore A (55-EP-FR/TN). Anche il materiale 65-EP-FR/TN è classificato S4 SR2 ST2 con FED(15min) di 0,01 e FED(30 min) di 0,02 secondo norma tedesca DIN 5510. Il materiale 55-EP-FR/TN

deve ancora essere classificato. Rispetto al materiale 75-FR/TN i gradi a durezza inferiore presentano una resistenza al fuoco progressivamente inferiore, per la presenza di un maggior quantitativo di plastificante.

La serie è stata completata con il materiale espanso SP-EP-FR/TN, di densità 0,8 g/cm3. Formulato con gli stessi criteri (assenza di alogeni, ingredienti ecologici, bassa emissione di fumi) della 75-FR/TN, è stato studiato per la realizzazione di profili e guarnizioni a bassa durezza apparente, di coestrusi pieno-espanso, per applicazioni ove è richiesta un'ottima resistenza al fuoco. Anch'esso è classificato S4 SR2 ST2 secondo norma tedesca DIN 5510.

5. Uno sguardo al futuro. Norma prCEN/TS 45545-2 e EN 45545.

Nel 2013 è prevista l'introduzione della norma europea EN 45545. Essa rappresenterà l'unificazione delle varie regolamentazioni nazionali del settore ferroviaro, cui si è accennato in precedenza, e rappresenta la conversione in norma della specifica tecnica prCEN/TS 45545-2.

La norma prCEN/TS 45545-2 è stata elaborata al fine di migliorare e completare le regolamentazioni nazionali. Essa prevede prove addizionali, ad esempio quella del "cone calorimeter" per determinare lo sviluppo di calore durante la combustione di un materiale, e prove di tossicità dei gas.

Il materiale 75-FR/TN è stato certificato secondo CEN TS 45545-2, con prove secondo DIN EN ISO 5659-2:2007 (determinazione della densità ottica dei fumi ed analisi tossicologica con spettroscopia FTIR) e secondo ISO 5660-1:2002 (prova di reazione al fuoco, sviluppo di calore, produzione di fumi, perdita di peso con valutazione della velocità di sviluppo di calore col metodo del "Cone calorimeter").

La norma prevede condizioni di prova con irraggiamento a 50 kW/m^2 senza fiamma, diversamente da quanto richiesto (25kW/m^2 con fiamma) dall'attuale integrazione della DIN 5510.

5.1. Risultati

La prova secondo DIN EN ISO 5659-2:2007 ha fornito i seguenti valori di densità ottica (Ds e VOF4) e di indici di tossicità dei fumi (CIT):

Ds(4): 151
VOF4: 279
CIT 4 minuti: 0,02
CIT 8 minuti: 0,03

La prova secondo ISO 5660-1:2002 ha fornito un valore di MAHRE (Maximum Average Rate of Heat Emission ossia massima velocità media di emissione di calore) di 87,34 kW/m^2.

5.2. Classificazione rispetto a prCEN/TS 45545-2:2008

La norma suddivide i veicoli ferroviari in funzione del tipo di veicolo e dell'esercizio. La combinazione di questi due parametri si traduce in livelli di rischio HL1, HL2 e HL3.
La norma prescrive una serie di requisiti R, cui sono abbinati per i livelli di rischio precisi valori di CIT 4 minuti, CIT 8 minuti e MAHRE.
I valori ottenuti col materiale 75-FR/TN soddisfano i numeri di requisiti R1, R2, R3, R5, R10 e R11 e R6, R8 e R16, come da tabella seguente:

Numero di requisito	Componente	Prova	Condizioni di prova	Parametri	Requisiti		
			ISO 5659-2		HL1	HL2	HL3
R1,R2,R3,R5,R10,R11	Vari, tra cui	T11.01	50Kw/m2	CIT 4min o 8 min	1,2	0,9	0,75
	porte e finestre		senza fiamma				
R6, R8, R16	Vari	T11.01	50Kw/m2	CIT 4min o 8 min		1,8	1,5
	(esterno)		senza fiamma				

Per il numero di requisito R1, il valore di MAHRE di 87,34 copre il requisito HL2 (90 massimo), ma non HL3 (60 massimo). I valori di Ds4 e VOF4 soddisfano tutti i requisiti HL1, HL2 e HL3.

5.3. Classificazione secondo EN 45545-2

La nuova norma europea EN 45545-2 stabilisce più semplicemente che i profili in gomma devono rispondere al requisito R23. Sono richieste le seguenti tre prove: determinazione dell'indice di ossigeno secondo EN ISO 4589-2, della densità ottica dei fumi secondo EN ISO 5659-2 a 25 kW/m^2 e della tossicità dei fumi secondo NF X 70-100-1 e -2 a 600°C.

L'indice di ossigeno indica quanto facilmente un materiale brucia: più basso è il valore, meno ossigeno il materiale richiede per bruciare. Quindi mescole più resistenti al fuoco hanno indice di ossigeno più elevato. La densità ottica dei fumi è indice della pericolosità (opacità) dei fumi in caso di incendio. Più basso è il suo valore, meno densi e più chiari sono i fumi. Invece il parametro CIT (Indice di Tossicità Convenzionale) indica quanto tossici sono i fumi. Più esso è basso, meno tossici sono i fumi.
Il requisito R23 prevede tre livelli di rischio HL (HL1, HL2 e HL3) in funzione del tipo di treno, con diversi requisiti, come mostrato in tabella.
I due materiali 65-EP-FR/TN e 75-FR/TN rientrano entro tutti i limiti per le tre classi di rischio del requisito R23.

Norma	Prova		HL1	HL2	HL3	65-EP-FR/TN	75-FR/TN
EN ISO 4589-2	Indice di ossigeno %	min	28	28	32	>33	>32
EN ISO 5659-2 25 kWm^{-2}	D_s max (densità ottica)	max	600	300	150	33	92
NF X70-100-1 e -2 600°C	CIT_{NLP}	max	1.2	0.9	0.75	0,069	0,40

6. Tabella dei materiali certificati e/o autocertificati

La Tabella "Materiali resistenti al fuoco" riporta i materiali che hanno conseguito certificazioni presso laboratori esterni riconosciuti, o che sono stati valutati (autocertificazione) presso il nostro laboratorio.