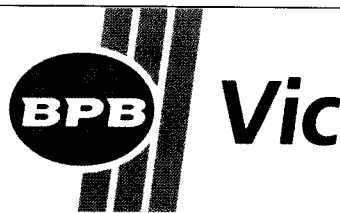




LABORATORIO PREVENZIONE INCENDI SRL  
Via della Quercia, 11 – 59100 PRATO (PO)



**Valutazione dell'emissione di fumo visibile e gas tossici prodotti dall'intonaco denominato IGNIVER nelle fasi *di pre - e post - flashover* di un incendio secondo metodi di prova utilizzati nel settore dei trasporti navale e ferroviario.**

*An evaluation of the emission of visible smoke and toxic gases produced by the plaster denominated IGNIVER in the two phases of pre- and post- flashover according to methods used in the marine and railway transportation field.*

**Prato, 28/06/2006**

## RAPPORTO DI RICERCA no. 06/06 RESEARCH REPORT

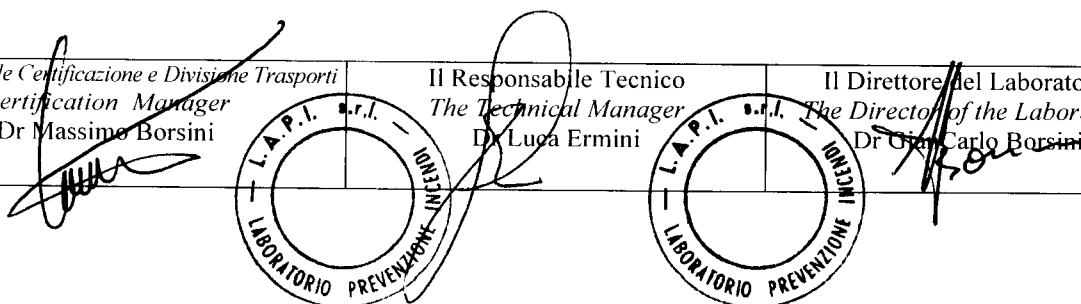
|                                             |                                                                       |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| <b>RICHIEDENTE</b><br><b>SPONSOR</b>        | BPB Italia SpA<br>Viale Matteotti, 62<br>20092 CINISELLO BALSAMO (MI) |
| <b>MATERIALE</b><br><b>MATERIAL</b>         | IGNIVER                                                               |
| <b>RIF. LAB.</b><br><b>RE. LAB.</b>         | 667/06                                                                |
| <b>DATA DELLE PROVE</b><br><b>TEST DATE</b> | 07/06/2006                                                            |

### TITOLO / TITLE

Valutazione dell'emissione di fumo visibile e gas tossici prodotti dall'intonaco denominato IGNIVER nelle fasi di *pre- e post-flashover* di un incendio secondo metodi di prova utilizzati nel settore dei trasporti navale e ferroviario.

*An evaluation of the emission of visible smoke and toxic gases produced by the plaster denominated IGNIVER in the two phases of pre- and post- flashover according to methods used in the marine and railway transportation field.*

|                                                                                                                   |                                                                                  |                                                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Il Responsabile Certificazione e Divisione Trasporti</i><br><i>Certification Manager</i><br>Dr Massimo Borsini | <i>Il Responsabile Tecnico</i><br><i>The Technical Manager</i><br>Dr Luca Ermini | <i>Il Direttore del Laboratorio</i><br><i>The Director of the Laboratory</i><br>Dr Carlo Borsini |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|



## DESCRIZIONE DEL MATERIALE

Il materiale come ricevuto dal Laboratorio si presenta sotto forma di intonaco essiccato di colore beige, con superficie corrugata, spessore nominale 20 mm.

Secondo le informazioni fornite dal Richiedente, il materiale consiste in intonaco a base di vermiculite con leganti speciali e additivi specifici. Il materiale non contiene fibre.

La densità apparente del materiale come ricevuto è di circa 350 kg/m<sup>3</sup>.

Il materiale è destinato alla protezione dal fuoco di componenti delle costruzioni, in particolare strutture metalliche, calcestruzzo armato e canalizzazioni metalliche. La sua applicazione è limitata ad ambienti interni.

## INTRODUZIONE

Come sopra riportato, il materiale IGNIVER è impiegato nella realizzazione di sistemi di protezione passiva dall'incendio, specificamente in strutture per le quali sono richieste prestazioni di resistenza al fuoco.

La resistenza al fuoco è definita come la capacità da parte di una struttura di conservare, per un periodo di tempo stabilito, le caratteristiche di stabilità e/o tenuta e/o isolamento termico definite in prove normalizzate.

Le prove in questione sono realizzate esponendo il materiale ad un "incendio normalizzato" e idealizzato nel quale la temperatura viene aumentata con una legge definita, in funzione del tempo.

Il mantenimento della stabilità e/o della tenuta e/o dell'isolamento termico per una durata stabilita permette la classificazione di resistenza al fuoco della struttura.

## DESCRIPTION OF THE MATERIAL

*The material as received by the Laboratory is in the form of a beige dry plaster having a 20- mm nominal thickness.*

*According to the data supplied by the Sponsor, the material consists of a vermiculite – based plaster with special binders and specific additives. The material does not contain fibres.*

*The material has an apparent density of about 350 kg/m<sup>3</sup>.*

*The material is used for fire protection building components, particularly metal structures, reinforced concrete and metal canals. Its application is limited to inner spaces.*

## INTRODUCTION

*As reported above, IGNIVER is used in the manufacturing of passive fire protection systems, particularly for structures where fire resistance performances are required.*

*Fire resistance is defined as the attitude of a structure to maintain, for a stipulated period of time, the load bearing, and/or integrity and/or thermal insulation capacities*

*Fire resistance tests are effected by submitting the material to a "standard" and ideal fire, whose temperature is raised according to a defined law, as a function of the time.*

*The length of the time for which the load bearing, and/or integrity and/or thermal insulation capacities are maintained yields the classification of fire resistance of the structure.*

Si può in definitiva affermare che le prove di resistenza al fuoco valutano la capacità di una struttura di confinare i prodotti di un incendio (fiamme, fumi, gas caldi, temperature) nella zona di inizio dell'incendio stesso (oltre a garantire, se del caso, la stabilità meccanica della struttura stessa).<sup>1</sup>

Ai fini della protezione delle persone che si trovino in un compartimento non ancora interessato dall'incendio, il mantenimento della tenuta è di fondamentale importanza.

E' un fatto statisticamente fondato che la maggior parte delle morti a seguito di un incendio sia da attribuire agli effetti dei fumi e dei gas, piuttosto che alle temperature o alle fiamme in se stesse<sup>2</sup>

Nelle prove di resistenza al fuoco, però, il mantenimento della tenuta si considera perso se si rileva la formazione di fessure o aperture di misura superiore a dimensioni stabilite e/o se avviene l'accensione di un tampone di cotone (che viene accostato alla struttura nei punti in cui si ravvisa la fuoriuscita di fumi caldi, o dove si nota la formazione di crepe o fessurazioni) o infine se si osserva la presenza di fiamme di durata superiore a un limite stabilito sul lato della struttura non esposto all'incendio.

Quanto sopra descritto definisce quindi una serie di "indicatori" del mantenimento della tenuta, che sono i soli effettivamente impiegati.

*In summary, it is possible to state that the fire resistance tests evaluate the capacity of a structure to confine the products of a fire (flames, smoke, hot gases, temperature) in the starting location of the fire itself (besides allowing, if in case, the load bearing capacity to be maintained).<sup>1</sup>*

*With the aim of protecting the people in a compartment not yet involved in a fire, maintaining the integrity has a primary importance.*

*On a statistic base, it is well known that most deaths caused by a fire are attributable to the effects of smoke and gases, rather than to the temperatures or flames.<sup>2</sup>*

*In fire resistance tests, anyway, integrity is deemed to be lost if cracks having dimensions in excess of stipulated limits are detected, and/or if a cotton pad (located near the structure in points where hot smoke is observed or where cracks are produced) is ignited and, finally, if flames with a duration exceeding a stipulated limit are detected on the side of the structure not exposed to the fire.*

*Therefore, a set of "indicators" of integrity is defined. They are the sole ones actually used.*

<sup>1</sup> Vedere per esempio EN 13501-2 :2003; EN 1363-1:1999; EN 1363-2:1999. Nota 1: See for instance:EN 13501-2 :2003; EN 1363-1:1999; EN 1363-2:1999

<sup>2</sup> Per una delle prime conclusioni in tal senso: G.E. Ferguson "Fire Gases" Vol. 27, no. 2, 110 (1933).

Per riferimenti più recenti: Hall, Jr. John R. NFPA Fire Analysis & Research, Quincy, MA "Burns, Toxic Gases and Other Hazards" NFPA Fire Protection Handbook, 18 th edition Table 1-1P, pag 1-15 e Table 8-1P, pag. 8-17.

Nota 2. for one of the first notes in this connection: G.E. Ferguson "Fire Gases" Vol. 27, no. 2, 110 (1933).

For more recent references: Hall, Jr. John R. NFPA Fire Analysis & Research, Quincy, MA "Burns, Toxic Gases and Other Hazards" NFPA Fire Protection Handbook, 18 th edition Table 1-1P, pag 1-15 e Table 8-1P, pag. 8-17.

La perdita di tenuta, ovviamente, causa il passaggio di fumi o gas caldi dall'ambiente in cui è presente l'incendio agli ambienti adiacenti non ancora interessati da esso. E' importante però notare che tale passaggio può avvenire anche senza che nessuno degli indicatori di perdita di tenuta sopra riportati lo segnali.

In effetti, fumi e gas "freddi" possono diffondere da fessurazioni di dimensioni inferiori a quelle che le norme considerano come causa di perdita di tenuta.

Inoltre, i fumi e i gas in questione potrebbero non essere abbastanza caldi da incendiare il tampone di cotone e quindi la loro presenza potrebbe non essere rilevata.

In definitiva, le prove di resistenza al fuoco non prendono in considerazione l'eventuale passaggio di fumi o gas a meno che tale passaggio non sia rilevato da uno degli indicatori suddetti

Inoltre, i fumi o gas prodotti non sono sottoposti ad alcuna analisi chimico/fisica qualitativa e/o quantitativa al fine di determinarne l'eventuale pericolosità.

*The loss of integrity, of course, causes hot smoke and gases to pass from the starting location of the fire to the nearby compartments not yet attained by the fire. It is important to notice that this can occur even if no indicator of integrity loss gives evidence of the fact.*

*Actually, "cold" smoke and gases could flow from cracks having smaller dimensions than the ones which are considered in the reference standards.*

*Moreover, smoke and gases could be not enough hot to ignite the cotton pad, therefore their presence could not be evidenced.*

*To sum it up, the fire resistance tests do not consider the flow of smoke and gases unless one of the above told "indicators" gives evidence of it.*

*Moreover, the smoke or gases are not submitted to any qualitative or quantitative chemical/physical analysis to determine their potential dangerousness.*

E' da notare che i fumi e i gas prodotti possono provenire, almeno in parte, dalla decomposizione termica e/o dalla combustione dei materiali costituenti la struttura stessa, oltre che dalla combustione dei materiali nel compartimento interessato dall'incendio.

In una situazione reale è impossibile, o comunque molto difficile, allo stato dei fatti, controllare la tipologia di materiali contenuti nei vari compartimenti, al fine di ottenere, in caso di incendio, effluenti che siano i meno tossici possibili e/o riducano il meno possibile la visibilità.

In effetti, alcune limitazioni sulla potenzialità di sviluppo di effluenti tossici e di fumo sono in vigore nell'ambito navale, ferroviario, aeronautico, e nell'edilizia, limitatamente alla opacità dei fumo.<sup>3 4 5 6</sup>

D'altra parte è possibile fare sì che i materiali impiegati nella costruzione di strutture dotate di resistenza al fuoco non contribuiscano o contribuiscano il meno possibile alla produzione di fumi e gas in caso di incendio.

E' da notare che non esistono ad oggi prescrizioni circa l'emissione di fumi e gas da parte dei materiali suddetti per l'impiego in strutture aventi requisiti di resistenza al fuoco.

*It has to be noticed that the smoke and gases can be developed, at least in part, by the thermal decomposition and/or combustion of the materials contained in the fire resistant structure itself, besides by the combustion of the materials in the fire compartment.*

*In a real situation it is impossible, or anyway it is very difficult, as a matter of facts, to control the type of the materials contained in the compartments, in order to obtain, in case of a fire, effluents with the lowest possible toxicity and/or with the lowest smoke production.*

*Actually, some limitations of the development of potentially toxic effluents and smoke do exist in the marine, railway, aeronautical fields and the building applications, this with limitation to smoke opacity.<sup>3 4 5 6</sup>*

*On the other hand it is possible to obtain that the materials used in the manufacturing of structures with fire resistance characteristics give a smallest as possible contribution to the production of smoke and gases in case of fire.*

*It is to be noticed that at the current time no prescription exist concerning the emission of smoke and gases by such materials when used in structures with fire resistance capability.*

<sup>3</sup> IMO MSC 61(67) FTP Code Annex I part 2; MSC Circ. 916, Circ. 1008;

<sup>4</sup> per esempio, AFNOR NF F 16-101 (1988) (1988); BS 6853 Annex B; UNI E 10.02.977 parte 3; prEN 45545-2/for instance, AFNOR NF F 16-101 (1988) (1988); BS 6853 Annex B; UNI E 10.02.977 parte 3; prEN 45545-2.

<sup>5</sup> FAR/JAR/CS 25.853 Appendix F part V; ABD0031; BSS 7239. / FAR/JAR/CS 25.853 Appendix F part V; ABD0031; BSS 7239.

<sup>6</sup> Direttiva 89/106 CPD; standard di valutazione per reazione al fuoco EN 13501-1 / Directive 89/106 CPD; EN 13501-1 reaction to fire evaluation standard

Un'indagine volta a determinare il rilascio di fumi e gas da parte di tali materiali (nel caso in oggetto, da parte di IGNIVER) rappresenta quindi un passo nella direzione di non limitarsi ad ottemperare a disposizioni normative e/o di legge, ma di fornire prodotti il cui impatto globale sulla sicurezza in uso sia valutato a fondo, in accordo al nuovo approccio prestazionale e non più solo prescrittivo di tutte le norme di prevenzione incendi europee ed italiane.

Questo assume inoltre una rilevanza ancora superiore in quanto il materiale può essere applicato solo in ambienti interni, nei quali ovviamente aumenta la possibilità di accumulo di fumi e gas e quindi il potenziale pericolo per gli occupanti del compartimento.

*An investigation aimed at determining the emission of smoke and gases by such materials (in this case, by IGNIVER) is therefore a step in the direction of not limiting to abide to laws and regulations, but to supply products whose impact on safety as a whole is thoroughly assessed, in accordance to the new performance-based, not only prescriptive approach of all the European and Italian fire prevention regulations*

*This has an even increased importance in the present case, as the material can be used only in inner space, where obviously the possibility of gas and smoke build up is enhanced, as it is the potential danger for the people in the compartment.*

## OBIETTIVI E IMPOSTAZIONE DELLA RICERCA

Sulla base di quanto discusso nell'introduzione, la presente ricerca si propone di valutare il contributo alla produzione di fumi e gas fornito, in caso di incendio, dal solo materiale IGNIVER.

L'effettuazione di tale valutazione presuppone:

1. la scelta di un set di condizioni alle quali sottoporre il materiale per determinarne lo sviluppo di fumi/ gas
2. la scelta di metodiche di prova, rilevamento ed analisi per la quantificazione di tali fumi e gas
3. la scelta di un quadro di riferimento normativo per valutare l'accettabilità o meno dei valori ottenuti.

Per quanto riguarda il punto 1, lo sviluppo di fumi e gas da parte di IGNIVER. deve essere investigato in un range che includa sia condizioni riferibili ad una fase iniziale dell'incendio (fase di pre flashover), sia condizioni riferibili ad una fase pienamente sviluppata, (flashover) e infine, declinante, dello sviluppo dell'incendio (fase di post flashover). Ogni fase di un incendio è associata a un insieme di temperature rilevabili nell'ambiente dell'incendio.

Al variare delle temperature tipiche delle diverse fasi dell'incendio possono attivarsi differenti cammini di reazione coinvolgenti i componenti del materiale.

## PURPOSES AND SET UP OF THE RESEARCH

*On the base of the introduction, this research aims at evaluating the contribution to the production of smoke and gases yielded, in case of fire, by the sole IGNIVER.*

*Such an evaluation implies:*

- 1. choosing a set of conditions to which the material has to be submitted to determine the development of smoke and gases*
- 2. choosing a set of test methods, detection and analysis for the quantitation of such smoke and gases*
- 3. choosing a normative framework to assess the acceptability of the values obtained.*

*As for point 1, the development of smoke and gases by IGNIVER must be investigated in a range including both conditions referable to the initial phase of the fire (preflashover phase) and conditions referable to fully developed phase (flashover) and, finally, to declining phase of the development of the fire (post-flashover phase). Each phase of a fire is associated to a set of temperatures in the fire compartment.*

*The variation of the temperatures associated with different phases of the fire can activate different reaction paths involving the components of the material.*

Questo può produrre effluenti la cui composizione quali-quantitativa varia con la temperatura: ad esempio, a temperature basse potrebbero essere predominanti prodotti caratterizzati da un grado di ossidazione meno spinto rispetto a quelli ottenibili a temperature alte.

In linea di principio, quindi, il potenziale tossico e lo sviluppo di fumo sono una funzione anche della temperatura.

Un materiale soggetto ad un incendio sperimenta, oltre a temperature variabili nel corso dell'incendio stesso, anche dei flussi termici (variabili con l'avanzamento dell'incendio) dovuti all'irraggiamento da parte dei materiali in combustione.

L'intensità del flusso termico viene correntemente misurata come potenza incidente sull'unità di superficie del materiale ed è quindi misurata in  $\text{kW/m}^2$ .

Esiste ovviamente una relazione, seppure in generale non esprimibile analiticamente, fra la temperatura di un dato ambiente e il flusso termico sperimentato da oggetti contenuti in tale ambiente.

In analogia al caso della temperatura descritto sopra, lo sviluppo di fumi e gas da parte del materiale deve essere valutato in funzione dell'irraggiamento applicato, in un intero range comprendente, come estremi rispettivamente inferiore e superiore la fase di pre flashover e di post flashover.

I valori esatti delle temperature e degli irraggiamenti rilevati nelle varie fasi dell'incendio sono ovviamente funzione del carico di incendio, della volumetria del compartimento, della ventilazione, degli scambi termici fra le pareti del compartimento e l'esterno.

*This can produce effluents whose qualitative and quantitative composition varies with the temperature; for instance, at low temperatures products having a less advanced oxidation degree could predominate, in contrast with the behaviour at higher temperatures.*

*In principle, therefore, the toxic potential and the smoke development are also a function of the temperature.*

*A material in a fire is subject, besides to temperatures changing in the duration of the fire, to thermal fluxes as well. These are caused by the irradiance by burning materials and they also vary with the advancement of the fire.*

*The intensity of the thermal flux is currently measured as the power impinging on a unit surface of the material, therefore it is measured as  $\text{kW/m}^2$ .*

*There is of course a correlation, although not generally an analytical one, between the temperature of a given compartment and the thermal flux impinging on the objects contained in such an ambient.*

*By analogy with the case of the temperature described above, the development of smoke and gases by the material must be assessed in a whole range including as respectively the lowest and highest limit the preflashover and postflashover phases.*

*The actual values of the temperatures and irradiances in the various phases of the fire are of course a function of the fire load, of the volume of the compartment, of its ventilation and of the thermal exchanges between the compartment walls and the surroundings.*

In linea di principio, esistono quindi infinite combinazioni differenti di tempo, temperatura, irraggiamento. All'atto pratico, è ragionevole comunque delimitare il campo di indagine all'intervallo 400°C – 800°C.

Non si ritiene utile investigare il comportamento a temperature inferiori, in quanto il materiale non contiene leganti fibrosi (del tipo della cellulosa) la cui decomposizione potrebbe iniziare a temperature inferiori a 400°C. L'estremo superiore (800°C) è invece associabile alla completa scissione di eventuali legami organici contenuti in IGNIVER e alla decomposizioni di alcuni composti inorganici con produzione di molecole piccole (es. CO, CO<sub>2</sub>).

Per quanto riguarda l'irraggiamento, valori di 25 kW/m<sup>2</sup> sono associati con un attacco esteso anche se non completo delle molecole organiche, mentre valori di 50 kW/m<sup>2</sup> o superiori sono associati con un attacco virtualmente completo di tali strutture chimiche.

E' da notare che tali condizioni di temperatura e di irraggiamento sono essenzialmente quelle prese in considerazione nelle più largamente usate metodiche di determinazione del potenziale tossico e dello sviluppo di fumi.

Tali metodiche sono state adottate per il presente lavoro e vengono di seguito descritte.

La determinazione dello sviluppo di gas è stata effettuata tramite la norma francese AFNOR NF X 70-100 (2001).

Tale norma è ampiamente usata nell'ambito ferroviario europeo.

La prova consiste nello scaldare una quantità dell'ordine di un grammo del materiale in una fornace tubolare in quarzo.

*In principle, there is an infinite number of different combinations of time, temperatures, irradiance. In practice, anyway, it is reasonable to limit the analysis to the range 400°C – 800°C.*

*It has not been deemed useful to investigate the behaviour at lower temperatures, as the material does not contain fibre binders (e.g. cellulose) whose decomposition could start at temperatures lower than 400°C. The upper limit (800°C) is associated instead with the complete decomposition of the chemical bonds of the organic compounds (if any) in IGNIVER and even with possibly the decomposition of inorganic bonds with the formation of small molecules (e.g. CO, CO<sub>2</sub>).*

*As for the irradiance, values of 25kW/m<sup>2</sup> are associated with an extensive, although not complete attack of the organic molecules, while values of 50 kW/m<sup>2</sup> or more are associated with a virtually complete attack of these chemical structures.*

*It has to be noticed that such temperature and irradiance conditions are essentially the one taken into consideration in the most widely used methods of determination of the toxic potential and smoke development.*

*These methods are been adopted for this work and are described below.*

*The determination of the development of gas has been effected according to the french standard AFNOR NF X 70-100 (2001).*

*This standard is widely used in the european railway sector.*

*The test prescribes to heat a nominal 1-g quantity of the material in a quartz tubular furnace.*

I prodotti della pirolisi/combustione sono trascinati da una corrente d'aria avente un flusso prefissato e raccolti per le successive analisi.

Nella presente ricerca, campioni del materiale sono stati sottoposti alla prova AFNOR NF X 70-100 (2001) alle temperature di 400°C e 800°C per una durata di 20 minuti.

La prova effettuata alle temperature sopra riportate consente di effettuare una mappatura dello sviluppo di gas nell'intero range "pre-flashover / post-flashover".

Lo sviluppo di fumo è stato valutato per mezzo della norma ISO 5659-2 (1994).

In tale prova, un provino di 76x76 mm, posto in una camera chiusa del volume di circa 0.5 m<sup>3</sup>, è irraggiato a mezzo di un'apposita fornace, con un irraggiamento prefissato. Il provino, oltre al suddetto irraggiamento, può anche essere sottoposto all'azione di fiamme di innesco. Viene misurata l'attenuazione di un raggio luminoso in luce bianca in funzione del tempo. Il valore di attenuazione viene convertito in un valore di densità ottica (Ds), che tiene conto della geometria della camera e che in linea di principio è da considerarsi un valore dipendente solo dal materiale e dalle condizioni di irraggiamento.

La fornace è posta orizzontalmente e irradia il provino (anch'esso disposto orizzontalmente) sotto di essa.

La norma specifica usualmente tre condizioni di prova (25 kW/m<sup>2</sup> in assenza di fiamma di innesco, 25 kW/m<sup>2</sup> in presenza di fiamma di innesco, 50 kW/m<sup>2</sup> in assenza di fiamma di innesco).

*The products of the pyrolysis/combustion are swept by an air flow at a fixed rate and collected for the analysis.*

*In this research, specimens of the material have been tested per AFNOR NF X 70-100 (2001) at the temperatures of 400 and 800°C for a 20-minute period.*

*The test effected at the temperature reported above allows to effect a mapping of the gas development in the whole range "pre-flashover / post-flashover".*

*The smoke development has been evaluated per ISO 5659-2 (1994).*

*In this method, a 76x76 mm specimen, placed in a closed chamber (approximated volume 0.5 m<sup>3</sup>) is irradiated by a suitable furnace, with a stipulated irradiance.*

*The specimen can also be submitted to igniting flames, besides being irradiated.*

*The attenuation of a white light beam is measured as a function of the time.*

*The value of the attenuation is converted in an optical density value (Ds) which takes into account the geometry of the chamber and that in principle has to be considered as dependant from the material and the irradiation conditions only.*

*The furnace is horizontal and irradiates a horizontal specimen, placed under the furnace.*

*The standard specifies customarily three test conditions (25 kW/m<sup>2</sup> without igniting flame, 25 kW/m<sup>2</sup> with igniting flame, 50 kW/m<sup>2</sup> without igniting flame)*

La ISO 5659-2 (1994) è adottata nei regolamenti IMO per la valutazione della opacità dei fumi prodotti da materiali per uso navale; in tale ambito essa è impiegata anche quale norma di valutazione della tossicità di tali fumi, analizzando l'atmosfera presente nella camera di prova. Con l'obiettivo di effettuare una mappatura dello sviluppo di fumo nell'intero range "pre-flashover / postflashover" sono state scelte le seguenti condizioni di prova:

ISO 5659-2 (1994): 25 kW/m<sup>2</sup> con e senza fiamma di innesco e 75 kW/m<sup>2</sup> senza fiamma di innesco.

L'irraggiamento a 75 kW/m<sup>2</sup> è stato espressamente scelto per la ricerca in oggetto in modo da valutare il comportamento del materiale nella condizione di post-flashover, nella quale si suppone che il materiale abbia ricevuto il massimo attacco termico.

Quindi, le prove effettuate secondo ISO 5659-2 (1994) a 25 e 75 kW/m<sup>2</sup> permettono la valutazione dell'emissione di fumo da parte del materiale sia nelle fasi iniziali dell'incendio che in quelle culminanti, quando il materiale stesso è investito da flussi termici di forte entità.

Tutte le prove sopra riportate hanno il vantaggio di far parte o di essere riconducibili a enti di normazione nazionali e internazionali, per cui gli aspetti tecnici legati alla loro esecuzione, e alla loro ripetibilità e riproducibilità sono da considerarsi come acquisiti e stabilizzati. Inoltre, le prove suddette necessitano di quantitativi modesti di materiale, per cui risulta agevole eseguire una mappatura di vari parametri.

*ISO 5659-2 (1994) is adopted in IMO Regulations for the evaluation of the opacity of smokes produced by materials for marine applications. In such a field it is used also as a standard for gas toxicity evaluation, by means of the analysis of the atmosphere in the test chamber.*

*With the objective of effecting a mapping of the smoke development in the whole "pre-flashover / postflashover" range the following test conditions have been chosen*

*ISO 5659-2 (1994): 25 kW/m<sup>2</sup> with and without igniting flame and 75 kW/m<sup>2</sup> without igniting flame.*

*The 75 kW/m<sup>2</sup> irradiance has been expressly chosen for the research in object in order to assess the behaviour of the material in the post-flashover condition, when the material has been supposedly submitted to the maximum thermal attack.*

*Therefore, the tests effected according to ISO 5659-2 (1994) at 25 and 75 kW/m<sup>2</sup> allow to evaluate the smoke emission by the material both in the initial and in the culminating phases of the fire, when the material is submitted to huge thermal fluxes.*

*All the tests reported above have the advantage to be part of or to be referred to national or international standardization organizations, therefore the technical aspects connected to their procedure, repeatability and reproducibility are to be considered as acquired and stabilized.*

*Moreover, the tests above need a rather small quantity of material, so it is easy to effect a mapping of various parameters.*

**Quindi, l'impianto della ricerca può essere riassunto come segue:**

- la combinazione delle prove AFNOR NF X 70-100 (2001) a 400°C e della prova ISO 5659-2 (1994) a 25 kW/m<sup>2</sup> (con e senza fiamme pilota) esplora il comportamento del materiale nella zona di iniziale di "flash-over";
- le prove AFNOR NF X 70-100 (2001) a 800°C e le prove ISO 5659-2 (1994) a 75kW/m<sup>2</sup> esplorano la zona di "post-flashover".

***Therefore, the frame of the research can be summarized as follows***

- *the combination of AFNOR NF X 70-100 (2001) at 400°C and ISO 5659-2 (1994) at 25 kW/m<sup>2</sup> (with and without igniting flame) investigates the behaviour of the material in the starting "pre-flashover" zone;*
- *AFNOR NF X 70-100 (2001) at 800°C and ISO 5659-2 (1994) at 75 kW/m<sup>2</sup> investigate the advanced flash-over and post-flashover zones.*

Vedi tabella seguente per la schematizzazione di quanto sopra riportato

*See the following table for a scheme of what has been reported above*

|                                        | Condizione / Condition                                                              |                                                                                    |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|                                        | Preflashover                                                                        | Postflashover                                                                      |
| Metodi di prova<br><i>Test Methods</i> | AFNOR NF X 70-100 (2001),<br>T = 400°C +<br>ISO 5659-2 (1994), 25 kW/m <sup>2</sup> | AFNOR NF X 70-100 (2001)<br>T = 800°C +<br>ISO 5659-2 (1994), 75 kW/m <sup>2</sup> |

Infine, ricollegandosi al punto 3 sopra riportato, è da notare che tali norme di prova sono adottate in ambiti regolamentari ben definiti e consolidati, quali i regolamenti IMO e le normative ferroviarie adottate in vari paesi europei.

*Finally, in connection with point 3 above, it is to be noticed that such test standards are adopted in well defined and consolidated regulation fields.*

In particolare, la norma francese AFNOR NF F 16-101 (1988) definisce delle classi di fumo dei materiali per uso ferroviario (e quindi dei criteri di accettabilità) sulla base dei risultati delle prove AFNOR NF X 70-100 (2001) e AFNOR NF X 10-702 (1995), per la determinazione della opacità.

*In particular, the french standard AFNOR NF F 16-101 (1988) defines smoke classes of materials for railway application (and therefore, acceptability criteria) on the base of the results of the tests AFNOR NF X 70-100 (2001) and AFNOR NF X 10-702 (1995).*

Si fa notare che tale ultimo metodo di prova implica una fornace disposta verticalmente, con il solo irraggiamento a  $25 \text{ kW/m}^2$  con e senza fiamme pilota.

I provini hanno le stesse dimensioni di quelli impiegati per la ISO 5659-2 (1994).

I risultati sono in genere migliorativi rispetto a ISO 5659-2 (1994),  $25 \text{ kW/m}^2$  sopra citata.

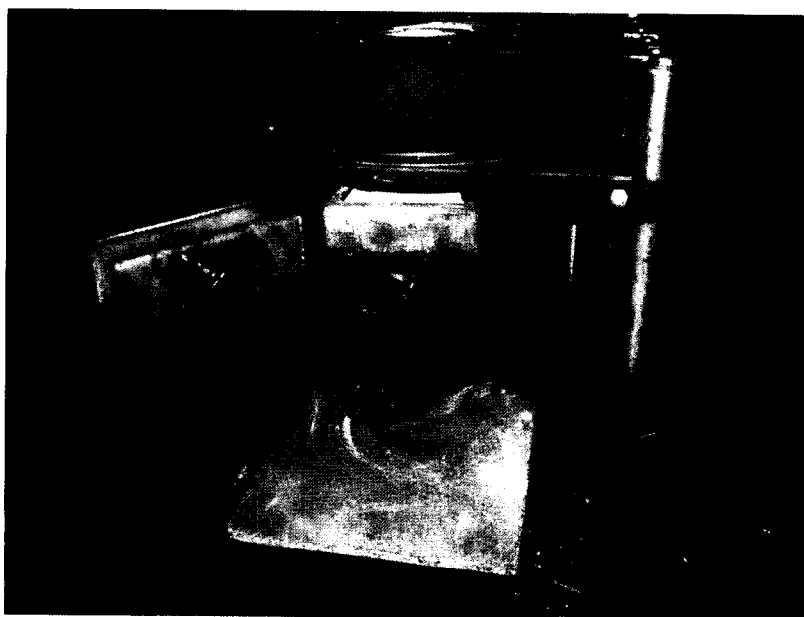
Pertanto, la presente ricerca, con l'adozione dei metodi e delle condizioni di prova citate ottiene il duplice obiettivo di raccogliere dati in un ampio range di temperature (in genere non considerato dalla normazione) e, ove una normazione consolidata sia presente (v. AFNOR NF F 16-101 (1988) ) di valutare il comportamento del materiale nei confronti di requisiti regolamentari in uso.

*It has to be noticed that this last test method implies a vertically oriented furnace, with the sole  $25 \text{ kW/m}^2$  irradiance, with and without pilot flames.*

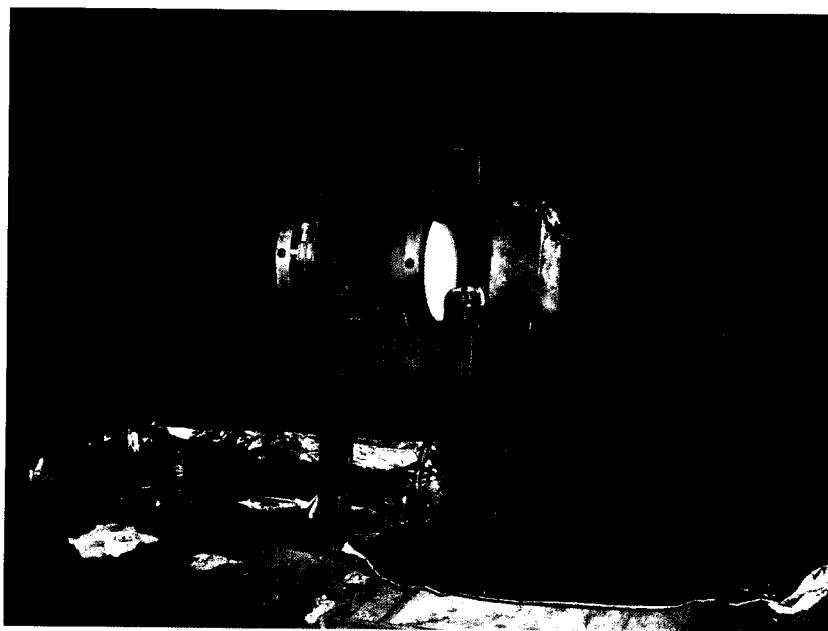
*The specimens have the same dimensions as the ones used for ISO 5659-2 (1994).*

*The results are generally lower than the ones obtained per ISO 5659-2 (1994)  $25 \text{ kW/m}^2$ , cited above.*

*Therefore, this research, with the adoption of the methods and of the test conditions cited above obtains a twofold result, that is collecting data in a wide range of temperatures (generally not considered by the normative) and, where a consolidate normative body is present (as for AFNOR NF F 16-101 (1988) ) to evaluate the behaviour of the material against regulatory requirements under current use.*



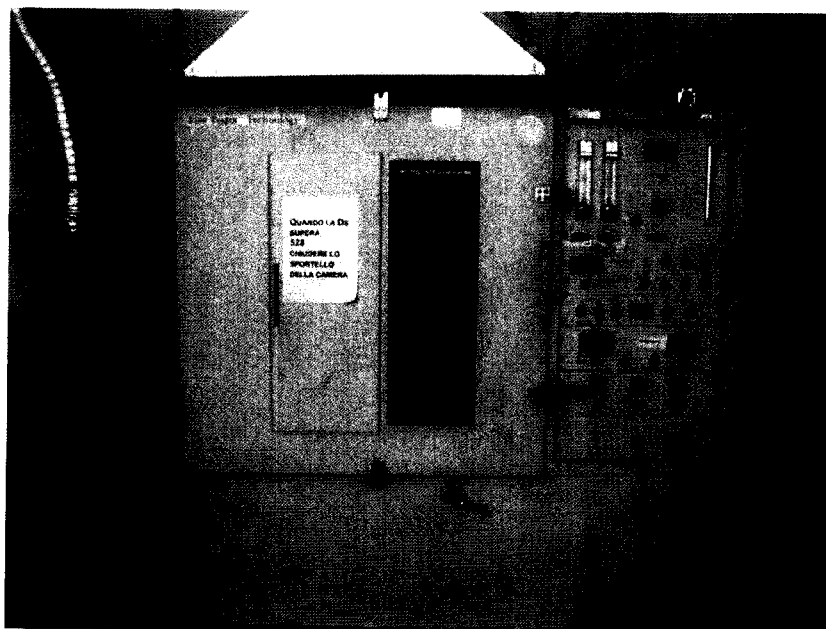
**FOTO/PHOTO 1:** Fornetto per ISO 5659-2 / *Radiant Furnace for ISO 5659-2*



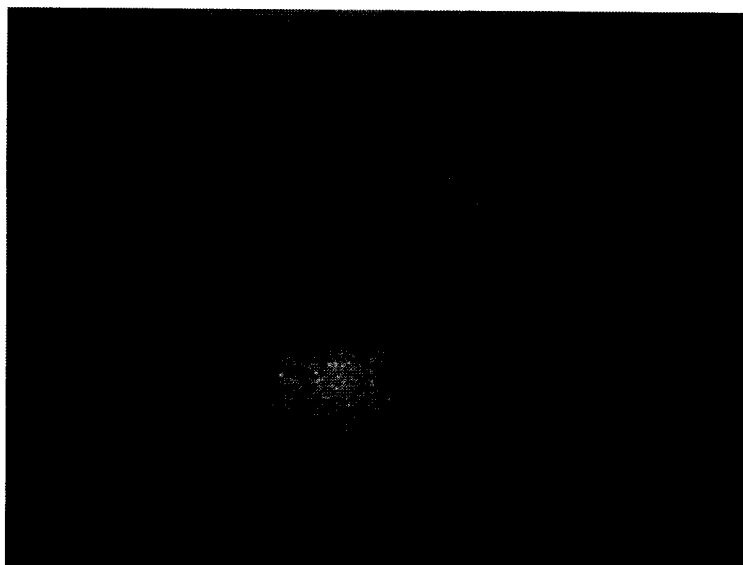
**FOTO/PHOTO 2:** Fornetto per AFNOR X 10-702 / *Radiant furnace for AFNOR X 10-702*



FOTO/PHOTO 3: Forno tubolare / *Tubular furnace*

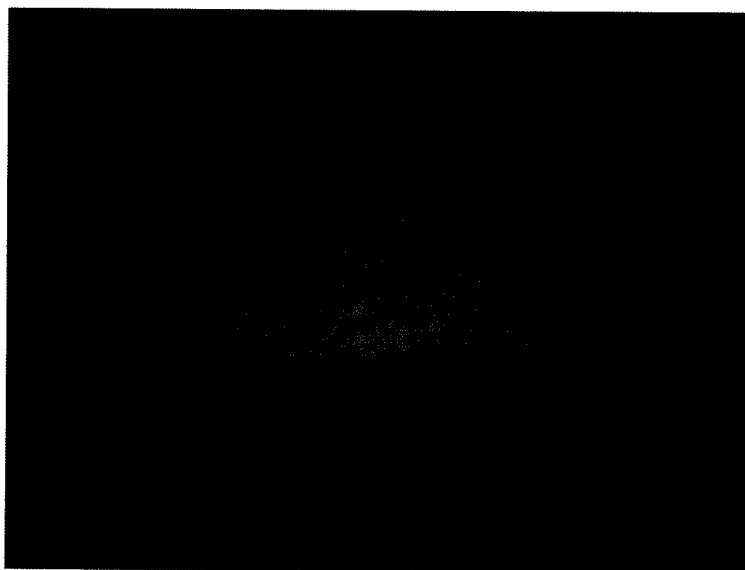


FOTO/PHOTO 4: Camera per opacità dei fumi / *Smoke density chamber*



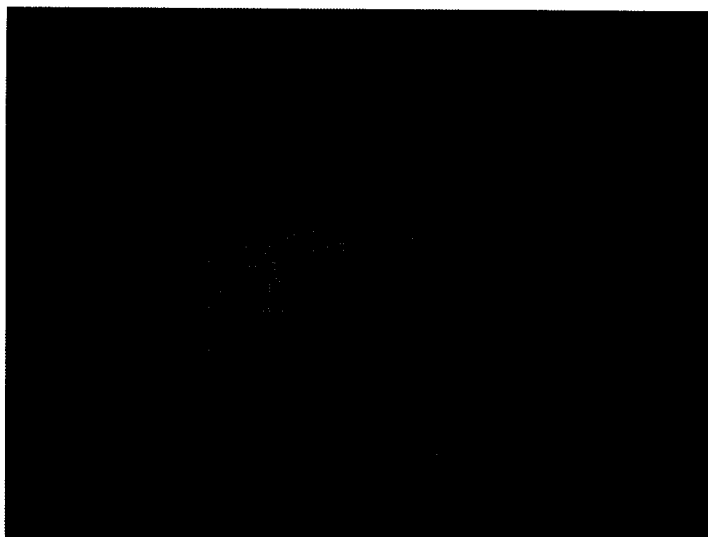
**FOTO/PHOTO 5: Materiale in prova / *Testing material***

Provino per AFNOR X 70-100 / *Specimen for AFNOR X 70-100*)



**FOTO/PHOTO 6: Materiale in prova / *Testing material***

Provino per ISO 5659-2 / *Specimen for ISO 5659-2*



**FOTO/PHOTO 7: Materiale in prova / *Testing material***

Materiale e vista in sezione / *Material and cutaway view*

## RISULTATI

### **Sviluppo di gas in funzione della temperatura**

La tabella seguente riporta i risultati relativi allo sviluppo di gas ottenuti effettuando la prova secondo AFNOR NF X 70-100. La prova è stata eseguita alle temperature di 400°C e 800°C in modo da effettuare la mappatura dello sviluppo dei gas descritta sopra.

I gas ricercati e dosati sono CO, CO<sub>2</sub>, HF, HCl, HBr, HCN, SO<sub>2</sub>.

Tali gas sono quelli presi in considerazione dalla norma NF F 16-101 (1988) che, come detto in precedenza, è stata presa come norma di riferimento per la valutazione dei risultati.

**Le specie gassose HF, HCl, HBr, HCN, SO<sub>2</sub> risultano essere sotto i limiti di rilevabilità del metodo.**

La resa di tali gas è quindi inferiore a 0.1 mg/grammo di campione.

Per chiarezza espositiva, nel seguito vengono riportate solo le rese dei gas sopra il limite di rilevabilità (cioè CO e CO<sub>2</sub>)

Tali rese sono riportate alle varie temperature di prova considerate.

## RESULTS

### ***Gas development as a function of the temperature***

*The following table shows the results of the development of gases obtained according to AFNOR NF X 70-100. The test has been effected at the temperatures of 400° and 800°C, in order to effect the mapping of the gas development described above.*

*The gas to be detected and quantified are CO, CO<sub>2</sub>, HF, HCl, HBr, HCN, SO<sub>2</sub>.*

*Such gases are the ones taken into consideration by the standard NF F 16-101 (1988) which, as already explained, has been taken as the reference standard for the evaluation of the results.*

***The gaseous species HF, HCl, HBr, HCN, SO<sub>2</sub> result to be under the detection limit of the method.***

*The yield of such gases is therefore lower than 0.1 mg/g of sample.*

*For the clarity of the discussion, only the yields of the gases above the detection limit (i.e. CO and CO<sub>2</sub>) are reported.*

*Such yields are reported at the different temperatures considered.*

|                 |         | Preflashover<br>T = 400°C | Post flashover<br>T = 800°C |
|-----------------|---------|---------------------------|-----------------------------|
| Gas             | UM / MU | 20<br>120                 | 35<br>340                   |
| CO              | mg/g    |                           |                             |
| CO <sub>2</sub> | mg/g    |                           |                             |

**Tabella / Table 1:** rese di CO e CO<sub>2</sub> alle due temperature di prova / *CO and CO<sub>2</sub> yields at the two test temperatures.*

L'andamento delle rese di CO e CO<sub>2</sub> conferma l'ipotesi di partenza che la miscela gassosa cambi qualitativamente e quantitativamente al variare della temperatura.

*The trend of the yields of CO and CO<sub>2</sub> supports the starting hypothesis that the gaseous mixture changes both in a qualitatively and quantitatively with the temperature.*

#### **Sviluppo di fumo in funzione dell'irraggiamento**

La Tabella 2 seguente riporta i risultati relativi allo sviluppo di fumo ottenuti effettuando le prove ISO 5659-2 (1994) a 25 kW/m<sup>2</sup> con e senza fiamme di innesco e 75 kW/m<sup>2</sup> senza fiamme di innesco.

Si riportano i valori massimi della densità ottica (Dsmax, adimensionale) e il valore di VOF4.

Tale valore è impiegato nella normativa AFNOR NF F 16-101 (1988) per valutare la quantità di fumo che viene prodotta nei primi 4 minuti della prova AFNOR NF X 10-702 (1995). Esso è in effetti un'approssimazione dell'integrale della curva Ds in funzione del tempo, da 0 a 4 minuti, ed ha quindi dimensione [minuti].

#### **Smoke development as a function of the irradiance**

*Table 2 below shows the results of the development of smoke obtained according to ISO 5659-2 (1994) at 25 kW/m<sup>2</sup> with and without igniting flames and 50 kW/m<sup>2</sup> without igniting flames.*

*The maximum values of the optical density (Dsmax, dimensionless) is reported together with the value of VOF4.*

*Such value is used to in the standard AFNOR NF F 16-101 (1988) to evaluate the quantity of smoke produced in the first 4 minutes of the test according to AFNOR NF X 10-702 (1995). It is actually an approximation of the integral of the curve of Ds versus time, from 0 to 4 minutes, therefore its dimensions are [minutes]*

Benché non richiamato da ISO 5659-2, tale parametro viene ugualmente riportato per confronto con gli altri risultati

Nota: le diciture “Flaming” e “Smouldering” si riferiscono rispettivamente alle condizioni di prova con e senza fiamma di innesco

*Although not referred to in ISO 5659-2, such parameter is nevertheless reported in order to be compared with the other results*

*Note: the wording “Flaming” and “Smouldering” refer respectively to the conditions of test with and without igniting flame.*

|                                                                    | Dsmax               |   |   |         | VOF4                |     |     |         |
|--------------------------------------------------------------------|---------------------|---|---|---------|---------------------|-----|-----|---------|
|                                                                    | Provino<br>Specimen |   |   | Media   | Provino<br>Specimen |     |     | Media   |
| Prova e condizioni<br>Test and conditions                          | 1                   | 2 | 3 | Average | 1                   | 2   | 3   | Average |
| Preflashover<br>ISO 5659-2 -25 kW/m <sup>2</sup><br>“Flaming”      | 0                   | 0 | 0 | 0       | 0                   | 0   | 0   | 0       |
| Preflashover<br>ISO 5659-2 -25 kW/m <sup>2</sup><br>“Smouldering”  | 1                   | 0 | 1 | 0.6     | 0.5                 | 0.5 | 0.5 | 0.5     |
| Postflashover<br>ISO 5659-2 -75 kW/m <sup>2</sup><br>“Smouldering” | 5                   | 4 | 5 | 3.6     | 2                   | 1   | 2   | 1.7     |

**Tabella / Table 2:** valori di Ds max e di VOF4 per ISO 5659-2 (1994)/ *Values of Ds max and VOF4 for ISO 5659-2(1994)*

I dati sopra riportati saranno utilizzati e discussi più estesamente nel seguito.

Comunque, deve essere notato che i valori ottenuti sono estremamente bassi, praticamente trascurabili in più di una condizione.

***Perdita di peso in funzione dell'irraggiamento***

Nella Tabella 3 seguente viene riportata la perdita di peso subita dai provini al termine della prova (durata 20 minuti).

Questi dati non sono direttamente correlati al potenziale tossico e/o allo sviluppo di fumi da parte del materiale, ma vengono comunque forniti per completezza di informazione.

Sono riportate inoltre le temperature massime rilevate sulla superficie del provino:

*The data reported above will be used and discussed more widely below.*

*Anyway, it has to be noticed that the values obtained are extremely low, virtually negligible in more than one condition.*

***Mass loss as a function of the irradiance***

*In Table 3 below, the mass loss of the specimens at the end of the test (20 minutes) is reported.*

*These data are not directly correlated with the toxic potential and/or to the smoke development by the material; they are reported anyhow for completeness of information.*

*Moreover, the maximum temperatures measured on the specimen surface are reported:*

| <b>Prova<br/>Test</b>                            | <b>Perdita di massa, %<br/>Mass loss, %</b> | <b>Temperatura massima. °C<br/>Maximum temperature, °C</b> |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| ISO 5659-2 -25 kW/m <sup>2</sup><br>"Flaming"    | 1%                                          | 360                                                        |
| ISO 5659-2 -25 kW/m <sup>2</sup><br>"Smoldering" | 1%                                          | 350                                                        |
| ISO 5659-2 -75 kW/m <sup>2</sup><br>"Smoldering" | 2%                                          | 450                                                        |

**Tabella / Table 3:** perdita di peso del materiale / mass loss of the material

## VALUTAZIONE DEI RISULTATI /

## EVALUATION OF THE RESULTS

### Fase di pre flashover

### Preflashover phase

Sulla base dei dati riportati in Tabella 1, relativi allo sviluppo di gas secondo AFNOR NF X 70-100 (2001) a 400°C, si osserva che le rese dei soli gas rilevati (CO e CO<sub>2</sub>) sono modeste.

*On the base of the results reported in Table 1, concerning the development of gases according to AFNOR NF X 70-100 (2001) at 400°C, it has to be observed that the yields of the only gases detected (CO and CO<sub>2</sub>) are mediocre.*

### Fase pre flashover

### Pre flashover phase

#### Valutazione dei risultati secondo AFNOR NF F 16-101 (1988)

#### Evaluation of the results according to AFNOR NF F 16-101 (1988)

Come anticipato, la norma francese NF F 16-101 (1988) è largamente usata in ambito ferroviario per valutare la pericolosità combinata risultante dall'esposizione subita dalle persone a fumi e gas tossici e/o irritanti.

*As anticipated, the french standard NF F 16-101 (1988) is widely used in the railway field to assess the combined hazard resulting from the exposure of the people to smoke and toxic/irritant gases.*

A questo scopo, la norma prende in considerazione i risultati delle prove AFNOR NF X 70-100 (2001) e AFNOR NF X 10-702 (1995).

*With this aim, the standard takes into consideration the results of the tests according to AFNOR NF X 70-100 (2001) and AFNOR NF X 10-702 (1995).*

Tali risultati vengono pesati attraverso specifici coefficienti e combinati in modo da ottenere un valore numerico che consente di attribuire i materiali nelle cosiddette "Classi di fumo".

*These results are weighted through specific coefficients and combined to yield a numerical value which allows to insert the materials in the so defined "Smoke class".*

Le modalità di tale calcolo sono esemplificate nel seguito.

- Per mezzo della prova AFNOR NF X 70-100 (2001) sono ricavati i dati delle rese in mg/g dei gas CO, CO<sub>2</sub>, HF; HCl, HBr; HCN, SO<sub>2</sub>; per il calcolo richiesto nel caso in oggetto si deve considerare la temperatura di 600°C. (nel seguito si indica la rese del gas i-esimo con ti)
- Tali dati vengono divisi per i relativi coefficienti di rischio:
- CO: 1750 mg/m<sup>3</sup>
- CO<sub>2</sub>: 90000 mg/m<sup>3</sup>
- HF: 19 mg/m<sup>3</sup>
- HCl: 150 mg/m<sup>3</sup>
- HBr: 170 mg/m<sup>3</sup>
- HCN: 55 mg/m<sup>3</sup>
- SO<sub>2</sub>: 260 mg/m<sup>3</sup>

Tali coefficienti rappresentano le concentrazioni che possono essere sopportate da una persona per 15 minuti senza danni permanenti.

Nel seguito, i coefficienti relativi al gas esimo vengono indicati con C.C.i (da "Concentration Critique")

- Viene calcolato un indice di tossicità convenzionale I.T.C.
- $I.T.C. = 100 \cdot \sum i (ti/C.C.i)$
- Per mezzo della prova AFNOR NF X 10-702 (1995) vengono ricavati i valori di Dm e VOF4 (descritti precedentemente); viene considerata la condizione che dà il valore più alto di VOF4.

*The calculation procedure are described below*

- *By means of AFNOR NF X 70-100 (2001) they yields(mg/g) of CO, CO<sub>2</sub>, HF; HCl, HBr; HCN, SO<sub>2</sub> are obtained; the temperature of 600°C has to be considered for this calculation (i-th gas yield is indicated as ti below)*
- *Such yields are divided by their risk coefficients*
- *CO: 1750 mg/m<sup>3</sup>*
- *CO<sub>2</sub>: 90000 mg/m<sup>3</sup>*
- *HF: 19 mg/m<sup>3</sup>*
- *HCl: 150 mg/m<sup>3</sup>*
- *HBr: 170 mg/m<sup>3</sup>*
- *HCN: 55 mg/m<sup>3</sup>*
- *SO<sub>2</sub>: 260 mg/m<sup>3</sup>*

*These are the concentration a person can be exposed to for 15 minutes without permanent damages.*

*Below, the i-th gas coefficients are indicated as C.C.i (from Concentration Critique)*

- *A conventional toxicity index, I.T.C. is calculated*
- *$I.T.C. = 100 \cdot \sum i (ti/C.C.i)$*
- *AFNOR NF X 10-702 (1995) yields the data of Dm and VOF4 (see above); it is considered the condition yielding the highest value of VOF4.*

- Si calcola infine l'indice di fumo I.F.  

$$= (I.T.C./2) + (Dm/100) + (VOF4/30)$$
- Il valore di I.F. permette la classificazione del materiale in 6 "Classi di fumo", F0, F1, F2; F3; F4, F5 così definite:
- F0 (I.F.  $\leq 5$ )
- F1 (I.F.  $\leq 20$ )
- F2 (I.F.  $\leq 40$ )
- F3 (I.F.  $\leq 80$ )
- F4 (I.F.  $\leq 120$ )
- F5 (I.F.  $> 120$ )

La prestazioni dei materiali peggiorano quindi al passare da F0 a F5.

**Sulla base di quanto riportato sopra e dei dati ricavati, il materiale IGNIVER è classificato F0 con un valore di I.F. di 0.**

Nota: i valori di I.F. devono essere arrotondati all'unità più vicina.

Si deve notare che i dati inseriti nel calcolo suddetto sono stati ottenuti tramite ISO 5659-2 (1994) anziché tramite AFNOR NF X 10-702 (1995). Inoltre, la temperatura di prova impiegata per AFNOR NF X 70-100 è 400°C, anziché 600°C.

Come precedentemente spiegato, tali scelte sono state effettuate per investigare il comportamento nel materiale in un intero range di temperature, **impiegando però riferimenti normativi largamente accettati per la valutazione del suo comportamento, comunque sempre con un approccio peggiorativo.**

- *Finally, the smoke index I.F. =  $(I.T.C./2) + (Dm/100) + (VOF4/30)$  is calculated.*
- *The value of I.F. allows the classification of the material in 6 "Smoke classes" F0, F1, F2; F3; F4, F5, defined as below*
- *F0 (I.F.  $\leq 5$ )*
- *F1 (I.F.  $\leq 20$ )*
- *F2 (I.F.  $\leq 40$ )*
- *F3 (I.F.  $\leq 80$ )*
- *F4 (I.F.  $\leq 120$ )*
- *F5 (I.F.  $> 120$ )*

*The performance of the material declines passing from F0 to F5.*

*On this base and considering the data reported in Table 1 and 2, the material IGNIVER is classed as F0 with I.F. = 0.*

*Note: the values of I.F. have to be rounded to the nearest integer*

*It has to be noticed that the data fed to the calculation have been obtained per ISO 5659-2 (1994) instead of AFNOR NF X 10-702 (1995). Moreover, the test temperature used for AFNOR NF X 70-100 is 400°C instead of 600°C.*

*As previously explained, these options have been choosen to investigate the behaviour of the material in a whole temperature range, though **using widely accepted normative references to assess its behaviour, anyway always with a pejorative approach.***

### Post flashover

I dati della Tabella 1, ottenuti tramite AFNOR NF X 70-100, mostrano come a 800°C le rese dei gas rilevati (CO e CO<sub>2</sub>) siano rispettivamente pari a 35 mg/g e 340 mg/g.

Una valutazione della pericolosità di tali gas può essere effettuata prendendo ancora come riferimento la norma AFNOR NF F 16-101 (1988) che prevede (in effetti, per il materiale elettrico) di effettuare la prova AFNOR NF X 70-100 (2001) a 800°C.

Impiegando i dati di produzione di fumo ottenuti con ISO 5659-1 a 75 kW/m<sup>2</sup>, **in modo da avere una valutazione peggiorativa del materiale, si ottiene ancora**

**classe F0, con I.F. = 1.**

### CONCLUSIONI

La valutazione dello sviluppo di fumi e gas è stata effettuata secondo alcune delle metodiche di più corrente utilizzo.

In particolare, adottando il metodo di calcolo della normativa ferroviaria AFNOR NF F 16-101 (1988), il materiale si classifica in classe F0, con I.F. = 0.

E' importante notare che tale classificazione si mantiene in tutto l'arco di temperatura 400°C – 800°C e per tutte le condizioni di irraggiamento impiegate (25 kW/m<sup>2</sup> "Flaming" e "Smouldering", 75 kW/m<sup>2</sup> "Smouldering")

### Postflashover

*The data in Table 1, obtained by AFNOR NF X 70-100, show that at 800°C the yields of the gases detected (CO and CO<sub>2</sub>) are respectively 35 mg/g and 340 mg/g.*

*An assessment of the potential danger of these gases can be effected again making reference to AFNOR NF F 16-101 (1988), which foresees (actually, for material for electrical uses) to carry out the test according to AFNOR NF X 70-100 (2001) at 800°C.*

*Again, using the smoke production data obtained according to ISO 5659-2 at 75 kW/m<sup>2</sup>, in order to have a pejorative evaluation of the material, still is obtained*

***F0 classification, with I.F. = 1.***

### CONCLUSIONS

*The assessment of the development of smoke and gases has been effected according some of the more widely used methods.*

*In particular, adopting the calculation method reported in the railway standard AFNOR NF F 16-101 (1988), the material is classed as F0, with I.F. = 0*

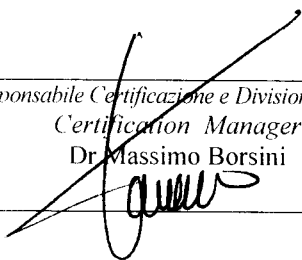
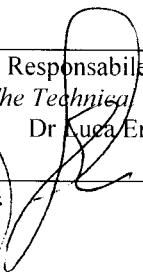
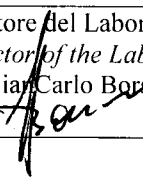
*It is important to notice that such a classification is maintained on the whole range of temperature 400°C – 800°C and for all the irradiance conditions adopted (25 kW/m<sup>2</sup> "Flaming" e "Smouldering", 75 kW/m<sup>2</sup> "Smouldering")*

E' infine da notare come tale classificazione sia stata ottenuta adottando condizioni peggiorative rispetto a quelle previste dalla AFNOR NF F 16-101.

*Finally, it is to be noticed that such a classification is obtained adopting pejorative conditions compared with the ones prescribed by AFNOR NF F 16-101.*

Sulla base dei risultati sopra riportati e discussi, si conclude che il materiale **IGNIVER**, non dà un contributo significativo alla produzione di fumi e gas in nessuna fase dell'incendio, dal pre flashover al post flashover, quando i dati sono valutati con i metodi internazionali di più corrente utilizzo nell'ambito dei trasporti.

*On the base of the result reported and discussed above, it it can be concluded that **IGNIVER** does not give a significant contribution to the production of smoke and gases in any phase of the fire, from preflashover to postflashover, when the data are assessed against the more widely used international methods in the transportation field.*

|                                                                                                     |                                                                                     |                                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Il Responsabile Certificazione e Divisione Trasporti<br>Certification Manager<br>Dr Massimo Borsini | Il Responsabile Tecnico<br>The Technical Manager<br>Dr Luca Ermini                  | Il Direttore del Laboratorio<br>The Director of the Laboratory<br>Dr Gian Carlo Borsini |
|                  |  |    |

