



Si chiama Transteu, è il programma di ricerca dell'Ue per valutare gli effluenti dell'incendio nel settore dei trasporti di superficie, dal treno alla nave fino a quello collettivo su strada

# Gas tossici nei fumi

## In campo la ricerca europea

■ Claudio Baiocchi  
■ Silvio Messa

**N**on sono necessarie molte parole per ricordare che le vittime degli incendi sono provocate non tanto dall'aumento della temperatura, quanto dall'effetto dei gas tossici contenuti nei fumi. Sarebbe più corretto chiamarli "effluenti dell'incendio", dizione che comprende i gas veri e propri e i fumi stessi. Questi ultimi sono composti dalle particelle che in questo cocktail micidiale sono sospese e che hanno, sul fisico umano, due effetti: impediscono la visione delle vie di fuga (effetto ottico) e nello stesso tempo hanno una duplice azione sul sistema respiratorio. Meccanico, se così si può dire, in quanto si depo-

sitano nei bronchi e successivamente nei polmoni impedendo fisicamente lo scambio aria/sangue, e tossico vero e proprio in quanto contengono sostanze molto dannose per l'uomo. Il Professor Jurgen Pauluhn, durante i lavori dell'SC3 dell'ISO TC 92, ha incominciato ad illustrarne il meccanismo sotto questo aspetto, convincendo che varrà la pena di occuparsi, prima o poi, anche della natura chimica di queste particelle, e non solo delle loro dimensioni e quantità come è stato fatto finora.

Nell'aerosol emesso dalla combustione, ciascun prodotto o materiale coinvolto nell'incendio libera nell'atmosfera dello scena-

rio dell'incendio un certo quantitativo di gas che è tipico del prodotto o del materiale che brucia e varia per specie e quantità da caso a caso in rapporto alle condizioni dello scenario. Troveremo sempre, a seconda delle condizioni di ventilazione e della fase dell'incendio, ossido di carbonio e anidride carbonica, in rapporto variabile, a seconda che la combustione sia più o meno completa.

Nel caso di una combustione perfetta non avremmo ossido di carbonio ma soltanto acqua ed anidride carbonica; ma l'incendio reale è ben lontano dalle condizioni ideali per ottenere questo risultato, e la situazione poi peggiora, di solito, con l'aumentare della sua potenza.

I gas che vengono prodotti sono raggruppati in due grandi famiglie:

- a) *soffocanti e narcotizzanti* che producono l'effetto di bloccare il sistema nervoso e accelerare, in una prima fase, la respirazione anticipando quindi indirettamente gli effetti degli altri gas
- b) *irritanti* che agiscono in questo senso sulla superficie della cornea, sulle mucose e poi in tutto il corpo, anche in rapporto alla loro temperatura.

Il loro effetto varia perciò a seconda del contenuto negli effluenti (specie dei gas, quantità di ciascuno) ma anche della temperatura e soprattutto della presenza contemporanea di più specie. La valutazione è basata dall'ISO 13571 su due indici (FEC, che riguarda l'azione dei gas irritanti e FED, basato sulle misure dei gas narcotizzanti e soffocanti).

Tossicologi, biologi e sperimentatori dell'ISO TC 92 SC3, basandosi anche su esperimenti condotti con l'utilizzo di cavie, babuini, ecc. e sull'esperienza di un gran numero di autopsie, hanno stabilito i valori limite di letalità e di incapacitazione di cui teniamo conto per determinare gli effetti degli effluenti in rapporto al tempo.

### La valutazione degli effetti dei gas tossici

La valutazione della pericolosità di un prodotto che libera con gli effluenti della combustione gas tossici ma soprattutto del tempo per raggiungere le soglie di incapacitazione o di mortalità in uno scenario d'incendio ben definito è un processo molto complesso.

L'incendio si verifica in un ambiente in cui sono presenti contemporaneamente diversi materiali e prodotti, che entrano in combustione con una certa successione logica connessa al modello d'incendio, alla posizione relativa, alla ventilazione, producendo gas che in parte condensano sulle superfici con le quali entrano in contatto. Prevedere gli effetti dei gas nel tempo è perciò molto complicato.

Misurare ad un tempo predeterminato le produzioni di gas dei singoli prodotti o materiali non comporta, di per sé, la conoscenza del tempo in cui le concentrazioni emesse hanno come effetto l'incapacitazione o la morte degli occupanti lo scenario dell'incendio.

E nemmeno basta conoscere il potenziale di produzione di gas tossici di singoli componenti di un prodotto. Questo valore e pa-



Apparecchiatura camera ISO 5659.2 versione TRANSFEU durante la calibrazione con bombola certificata di HCl in azoto

ragonabile al potere calorifico, informazione del tutto inutile, a parere di chi scrive, per l'utilizzo della valutazione del rischio d'incendio perché prodotta in condizioni assolutamente irrealistiche di combustione.

Sarebbe molto più logico servirsi della misura del calore totale svolto effettivamente, misurato con il cono calorimetrico.

Nello scenario d'incendio infatti le persone coinvolte subiscono gli effetti di un cocktail formato da tutti i gas prodotti dai vari combustibili presenti.

Ci serviranno quindi:

- prima di tutto, misure che ci forniscano la produzione – specie e quantità – dei gas dei singoli prodotti nel tempo, quella che all'ISO chiamiamo misura dinamica dei gas tossici contenuti negli effluenti, che può essere raccolta in condizione di accumulo o di test che prevedono l'esaurimento in continuo (fase dinamica)

del flusso di gas prodotti (es. test di full scale)

- una chiara definizione dello scenario d'incendio in cui questa combustione avviene, che tenga realisticamente conto della ventilazione, della geometria, volume e posizioni relative dei prodotti, della condensazione degli effluenti sulle pareti, ecc.
- l'utilizzo di un modello che sappia prevedere l'andamento d'incendio e quindi della produzione dei gas tossici nello scenario, verificato da una validazione non solo virtuale, ma anche sperimentale.

### L'approccio "prudenziale" basato sulla ridondanza in materia di sicurezza

Si sostiene che in materia di sicurezza (nel nostro caso, nella prevenzione incendi) "non

si esagera mai", che la vita umana è un valore prioritario, ecc. È anche vero però, che il buon senso dovrebbe sempre essere la base di tutto, mentre spesso viene messo da parte.

Di questi casi ne ho visti molti. Ho già citato la questione del potere calorifico: ma c'è ben altro.

Quando il carico d'incendio è calcolato, per esempio, in 25 minuti, come possiamo spiegarci la richiesta di utilizzare porte REI di 60/90 e, in qualche caso, di 120 minuti? Farà piacere, senza dubbio, a chi produce porte così buone. Ma si tratta di uno spreco inutile, e una imposizione inutile che comporta un costo insensato per tutti.

Nello specifico caso della produzione di gas tossici, non sono d'accordo sul sistema di bandire un prodotto perché genericamente libera gas di specie tossica o addirittura "supertossicanti" come sono chiamati in gergo. Va solo limitata la quantità di questi prodotti, limitando così la produzione di questi gas in modo da non raggiungere concentrazioni pericolose. Pochi grammi di cavo dati che collega i computer non significano nulla in termini di rischio. I cavi immurati non partecipano all'incendio. I fumi di 10 poltrone incendiate in platea, alla Scala, al massimo sporcano il lampadario!

Da tanto vorrei riuscire a misurare con un sistema standardizzato significativo e affidabile la tossicità degli effluenti dell'incendio. Fin da quando, in tempi lontani, uno speciale Ispettore Generale Capo aveva fatto iniziare il lavoro sulla Reazione al Fuoco, e l'articolo 3 del D.M. del 26/06/84, ormai dimenticato, o ricordato solo dai pochi che allora c'erano, terminava dicendo: "In relazione alle conclusioni alle quali perverranno gli studi, le ricerche e le sperimentazioni in corso a livello nazionale e internazionale, saranno definiti i metodi di prova per la valutazione dell'opacità e della tossicità dei prodotti della combustione".

Va detto che, anche allora, nessun paese, compresi quelli già dotati di regolamentazioni organiche in materia di prevenzione, era

messo meglio di noi in questo campo. Si usavano definizioni generiche, qualche analisi di chimica umida, o di calorimetria, che a quel tempo si potevano considerare all'avanguardia; tutti sistemi che misuravano la situazione ad un momento predefinito o semplicemente la presenza di certi gas, mai l'evoluzione quantitativa delle produzioni nel tempo.

Fino alla metà degli anni '80, quando qualcuno ha incominciato a ipotizzare prima e ad applicare poi la trasformata di Fourier per valutare specie e quantità dei gas più comunemente presenti.

Si stava diffondendo allora la tecnica dell'uso del consumo di ossigeno per misurare la potenza dell'incendio e quindi l'andamento della produzione di calore, con la misura contemporanea, in parallelo, di CO e CO<sub>2</sub> che impiegava l'infrarosso. Il computer permetteva ormai la registrazione di un sacco di dati, e i relativi calcoli.

CO	Ossido di carbonio
CO <sub>2</sub>	Diossido di carbonio
HCl	Acido cloridrico
HBr	Acido bromidrico
HF	Acido fluoridrico
HCN	Acido cianidrico
SO <sub>2</sub>	Diossido di zolfo
NO	Ossido di azoto
NO <sub>2</sub>	Diossido di azoto
C <sub>3</sub> H <sub>4</sub> O	Acroleina
CH <sub>2</sub> O	Formaldeide
NH <sub>3</sub>	Ammoniaca

Tabella dei gas misurati (specie e quantità) nel programma Transfeu

#### Claudio Baiocchi

Ricercatore presso LSFIRE con la qualifica di Senior dal 2002. Ha partecipato e partecipa ai lavori dell'ISO TC92 SC1 e SC3 da quando è entrato all'LSF, nel 1991.

Fra i molti programmi di ricerca dedicati ai gas tossici ha contribuito al programma LIPRANDO (densità ottica dei fumi) ALESSANDRO VI (tossicità dei gas di combustione) CBUF (comportamento dei mobili imbottiti anche sotto l'aspetto dei gas tossici prodotti) SAFIR (uso della FTIR Infrared Fourier Transform Technique), misure della tossicità degli effluenti dell'incendio dei cavi – ISO-2006, ecc. Ha partecipato a tutti i RR ed esercizi interlaboratorio organizzati nel mondo, per l'ISO, per l'IMO, per il settore ferroviario, ecc. Ha visitato e lavorato con tutti i laboratori che partecipano al programma TRANSFEU, con il NIST e l'Università del Maryland, con il RIME, ecc.

Negli ultimi ha coordinato in prima persona diversi lavori.

#### Silvio Messa

Si occupa di reazione al fuoco dal 1975, quando è entrato a far parte del Comitato del Ministero dell'Interno per lo studio delle norme di Prevenzione Incendi. Ha partecipato fin da allora ai lavori dell'ISO TC92 e dell'UNI, dove ha presieduto il Gruppo di Lavoro Reazione al Fuoco fino al 2006.

Dal 2004 presiede il WG4 del CEN TC127 – Reazione al Fuoco e partecipa ai lavori del WG7 – classificazione- oltre che del Comitato Tecnico stesso.

All'ISO TC92 fa parte dell'SC3 dell'SC4 in qualità di Convenor dei Gruppi di Lavoro del SC1 – Reazione al Fuoco – di cui è il Chairman; il WG12 'Measurement of smoke gas components', ed il WG14.

Ha partecipato a numerose ricerche e Round Robin ISO per lo sviluppo dei metodi di prova, a tutti i RR del CEN per la messa a punto del sistema europeo e ai principali programmi di ricerca della Commissione CEE: Roland, Belfagor, SBI, Safir, CBUF etc, fino all'ultimo, CEMAC 2 per le misure di classificazione dei cavi elettrici.

È membro del Comitato di gestione, Chairman del WP2 e di molti Gruppi di lavoro ed è il Coordinatore del Comitato Scientifico dell'intero programma.

Era la rivoluzione in un mondo che era basato molto, fino a quel momento, sull'impegno e la capacità dell'operatore, la manualità e la chimica umida tradizionale.

### La FTIR

La nostra prima FTIR (Infrared Fourier Transform Technique) è arrivata a Controguerra nel 1992. Siamo stati istruiti da un'assistente per alcune settimane sull'utilizzo dell'apparecchiatura che loro stessi ci avevano consigliato di acquistare. Imparammo a fare le calibrazioni con le bombole titolate, a leggere correttamente gli interferogrammi, a confrontarci con le non poche complicazioni relative

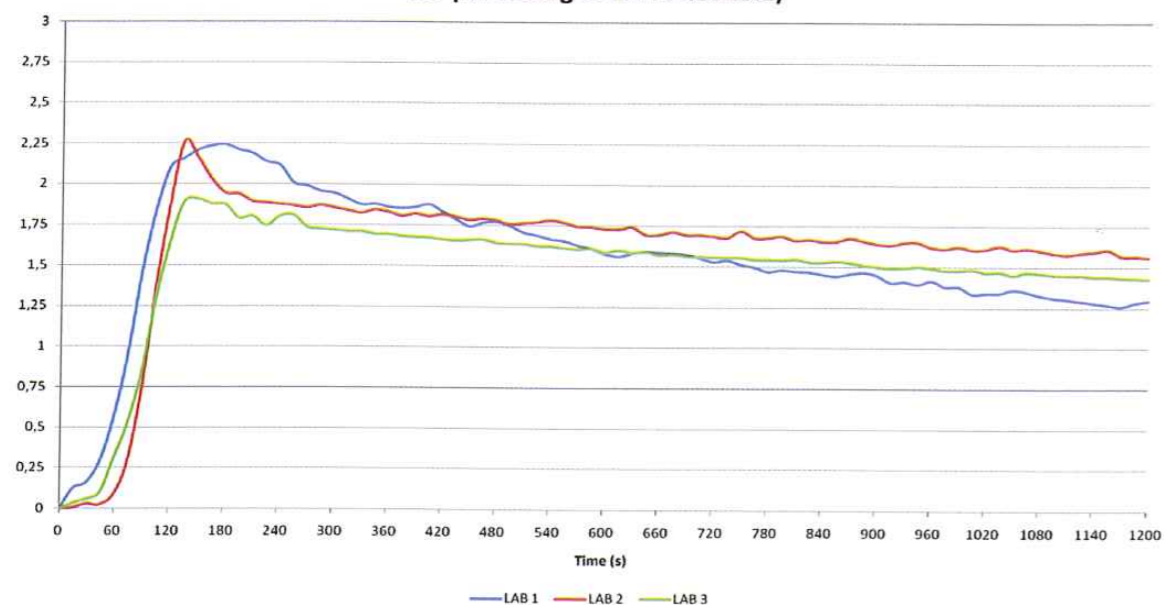
ai filtri, al sistema ed al flusso di estrazione adatto alla cella, alle necessarie manutenzioni continue e a quelle periodiche.

L'assistente è rimasta con noi fino alla fine dello storico meeting dell'ISO TC 92 ad Ascoli (storico perché per la prima volta si riunì anche l'SC4 - FIRE ENGINEERING) e potemmo orgogliosamente mostrare ai 128 delegati di tutto il mondo il nostro gioiello, la seconda FTIR operante nel nostro settore in Europa.

### TRANSFEU e la nuova frontiera

Per diversi anni abbiamo cercato di lanciare un programma di ricerca per definire un metodo che permetta di misurare qualità e

CIT (according to EN TS 45545.2)



CITG è definito come segue:

$$CIT_G = \frac{0.51m^3 \times 0.1m^2}{150m^3 \times 0.004225m^2} \times \sum_{i=1}^{i=8} \frac{c_i \cdot mgm^{-3}}{C_i \cdot mgm^{-3}}$$

dove:

- Il modello prevede la combustione di una superficie di 0.1m<sup>2</sup> di materiale i cui effluenti gassosi tossici si disperdono in un volume di 150m<sup>3</sup>
- c<sub>i</sub> = concentrazione del i<sup>mo</sup> gas nella camera dei fumi EN ISO 5659-2
- C<sub>i</sub> = concentrazione di riferimento di i<sup>mo</sup> gas.

Riproducibilità relativa alla curva di CIT secondo PR EN 45545.2 nei 3 laboratori di riferimento (LSFire-LNE-Currenta) con camera e procedura TRANSFEU: miscela di cloro paraffina-isocianato-metil sulfone

quantità di gas prodotti nel corso dei test, in modo da consentire di definire il tempo per raggiungere la soglia di incapacitazione.

Soprattutto nel settore del trasporto ferroviario, dove la tossicità si misurava e ancora si misura utilizzando l'informazione per stabilire classi di impiego in rapporto allo scenario (livello di rischio del treno considerato) senza considerare la dinamica della produzione. Si usa anche nel settore del trasporto marittimo, utilizzando la camera dell'ISO 5659-2 con un prelievo, che varia da prodotto a prodotto perché si effettua più o meno al tempo del picco di emissione del fumo.

Assumendo erroneamente, ormai sappiamo, che il punto di massima densità dei fumi coincida con la massima concentrazione di gas. Il settore aereo utilizza la stessa ca-

mera dei fumi, ma con il vecchio apparato della camera NBS, con la fornace e il campione in posizione verticale, situazione che la rende la misura non significativa per i prodotti che fondono (termo fusibili) o che si accartocciano sotto l'effetto dell'attacco termico.

Anche l'uso della FTIR - che si può applicare a tutti i metodi che permettono di estrarre l'atmosfera dalle apparecchiature di prova sia direttamente sia dal condotto di esaurimento in cui vengono convogliati gli effluenti (purché lo si faccia in determinate condizioni) - sta diffondendosi sempre più per sostituire le altre tecniche di misura. Programmi come CBUF e soprattutto SAFIR hanno definito procedure, tecniche di riconoscimento della qualità e misura della quantità, e convinto sempre più ricercatori ad operare con questa apparecchiatura.

**BOCCIOLONE ANTINCENDIO S.p.A.**

**Leader del settore antincendio**

Ma a tutt'oggi non c'è ancora un metodo standardizzato che effettui la misura in continuo di gas prodotti dalla combustione, in un tempo prolungato, per studiare la dinamica delle emissioni (concentrazioni dei vari gas) ed i suoi effetti sulle persone.

**L'uso della FTIR (Infrared Fourier Transform Technique) sta diffondendosi sempre più per sostituire le altre tecniche di misura della qualità e della quantità del gas**

delle specie e quantità di gas tossici prodotti durante la combustione, la classificazione dei prodotti utilizzati nei mezzi di trasporto ferroviario, ma anche navale e su gomma (autobus, per esempio) e il ricorso alla modellazione per prevedere l'andamento della crescita dell'incendio nei diversi scenari.

**L'intervento della Commissione CE**

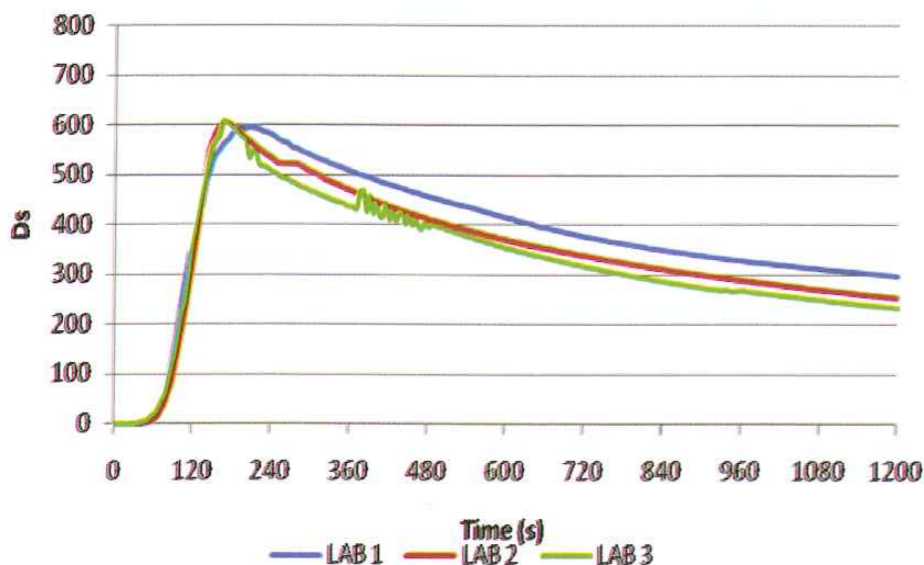
È a questo punto, tenendo conto dell'entrata in servizio di numerosi tunnel di notevole lunghezza, delle statistiche degli incendi, di vandalismi e attentati, della interoperabilità dei treni, in particolare di quelli che attraversano diversi paesi dell'Europa ad Alta velocità, che la Commissione di Bruxelles ha deciso di lanciare, nell'ambito del 7° programma quadro per la ricerca, il programma proposto dal consorzio di 21 operatori che si chiama TRANSFEU.

Questo prevede la messa a punto di un metodo di prova per le misure in continuo

Scopo principale è definire il tempo per raggiungere la prima delle condizioni critiche (aumento della temperatura, perdita di visibilità e soglia di incapacitazione a causa dei gas tossici) in modo da garantire l'evacuazione dei passeggeri prima di questo tempo X. Con l'intervento di misure di Fire Engineering poi, si potrà intervenire per prolungare il tempo di raggiungimento della soglia critica che si raggiunge per prima, in modo da renderla compatibile con il tempo di evacuazione.

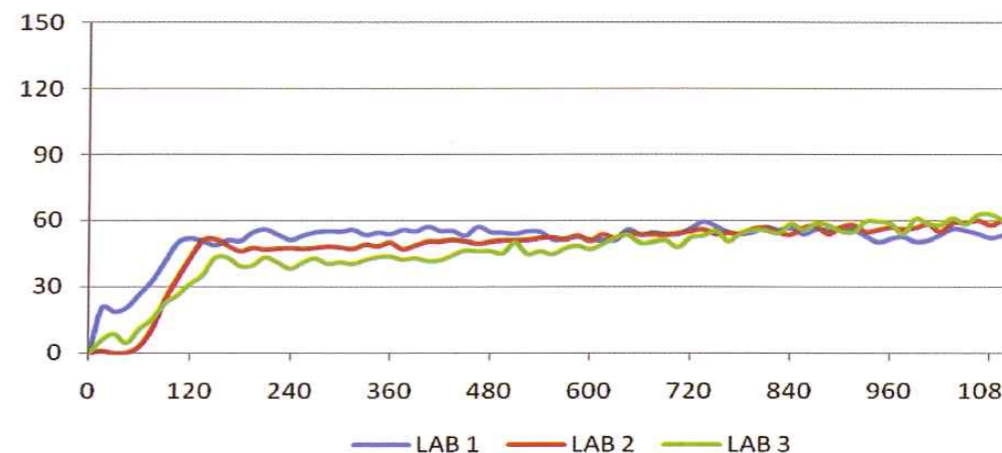
La messa a punto del metodo di prova per i gas sarà basato sulla misura in continuo, utilizzando la FTIR applicata alla camera del-

**Smoke density ave**

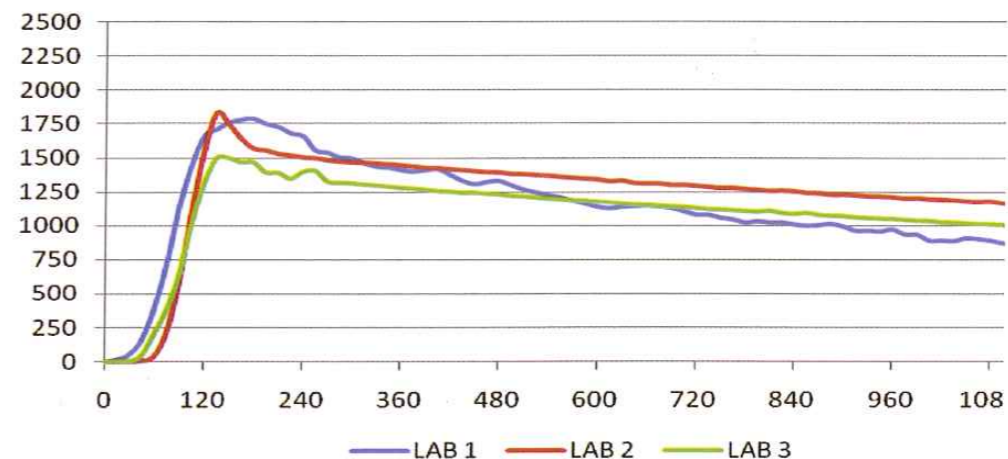


Riproducibilità relativa alle misure di densità ottica dei fumi nei 3 laboratori di riferimento (LSFire-LNE-Currenta) con camera e procedura TRANSFEU: miscela di cloro paraffina-isocianato-metil sulfone

**HCN mass concentration mg/m<sup>3</sup>**



**HCl ave concentration mg/m<sup>3</sup>**



Riproducibilità relativa alla curva di HCN e HCl nei 3 laboratori di riferimento (LSFire-LNE-Currenta) con camera e procedura TRANSFEU: miscela di cloro paraffina-isocianato-metil sulfone

l'ISO 5659-2 con una serie di misure per ottenere un risultato congruo in termini di significatività, ripetibile e riproducibile grazie alle modifiche all'apparecchiatura, alla procedura ed al software, nonché all'addestramento degli operatori.

La scelta dei laboratori che partecipano a TRANSFEU è stata fatta esclusivamente fra quelli che da anni utilizzano la FTIR, partecipano ai lavori e ai RR dell'ISO e dell'IMO, che hanno preso parte ai programmi: CBUF, SAFIR, CEMAC, FIRESTAR, ecc. Sarà necessario un grosso sforzo di integrazione fra gli otto laboratori di TRANSFEU, una volta

che un primo nucleo dei tre laboratori guida (L.S. FIRE, che funge da capofila, LNE e COURRENTA) ha messo a punto le numerose e sostanziali modifiche all'apparecchiatura, alle procedure di calibrazione e di prova, compresa la comparazione dei risultati ottenuti monitorando le emissioni di una serie di liquidi e miscele degli stessi utilizzati come prodotti di riferimento. La sperimentazione finale con questi liquidi è terminata e il testo dello standard (calibrazioni ed istruzioni per la comparazione dei risultati, compresa l'analisi statistica prevista) è stato consegnato alla Commissione il 19 di maggio, dopo

l'approvazione del Comitato Scientifico che sovrintende l'intero programma.

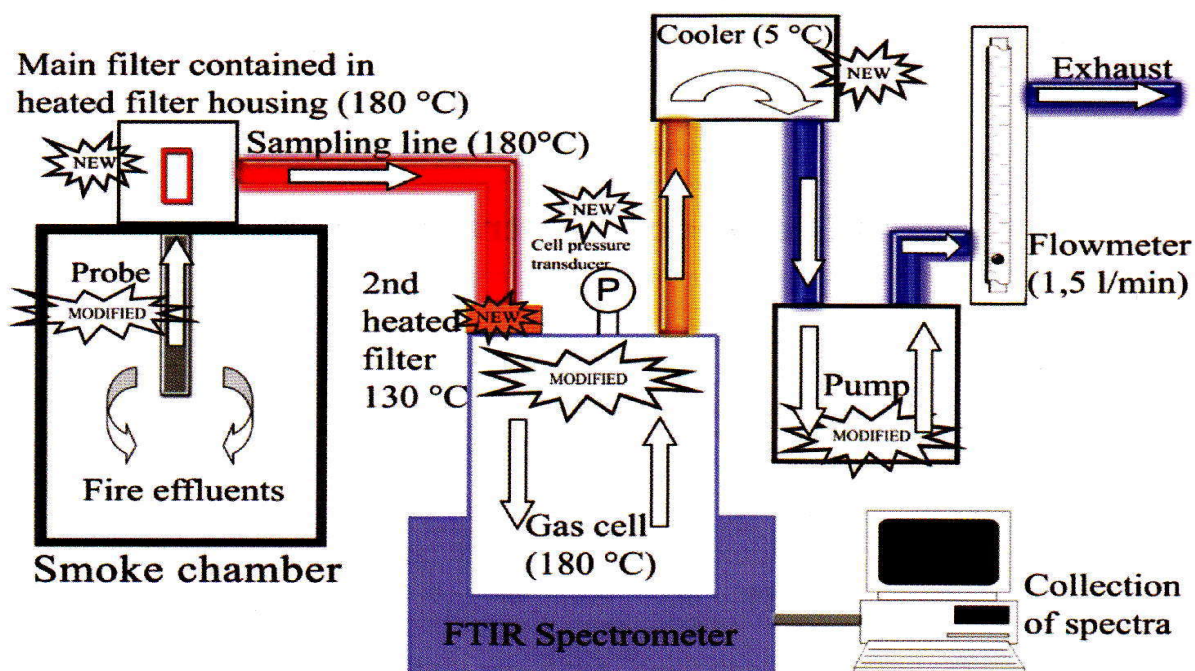
La Commissione ha accettato il rapporto e ci ha permesso di utilizzare il testo dello standard per iniziare i lavori di normalizzazione all'ISO TC92 SC1 WG12, il comitato internazionale competente per le misure dei fumi e dei gas tossici.

### La sperimentazione di TRANSFEU

La prima attività sperimentale riguarda la messa a punto del metodo di misura in fase dinamica dei gas contenuti negli effluenti della combustione, che avviene nella camera dell'ISO 5659-2, con un prelievo in continuo e le misure dei gas per mezzo della FTIR. A parte i problemi di tenuta della camera – il cui controllo è stato spesso diciamo pietosamente “trascurato” pur essendo previsto dal metodo (anche perché l'impiego

che prevede l'estrazione per periodi brevissimi non rende fondamentale verificare se si produce una depressione dell'atmosfera della camera, per compensare l'aspirazione del flusso destinato alla cella di analisi) – e quelli legati alla calibrazione dell'attacco termico, e del gruppo ottico, si sono presentati altri problemi seri. Legati ai filtri, che lavorano adesso in continuo, alle condensazioni da evitare nei punti freddi, alla portata del flusso di prelievo consentita, che deve essere limitato per evitare depressioni nella camera, e il controllo della pressione sia nella camera stessa che, soprattutto, nella cella per misurare correttamente le concentrazioni poi al tipo della pompa, al refrigeratore per stabilizzare il flusso al termine del percorso: problemi che hanno reso piene per noi le giornate per tutti gli ultimi mesi del 2009 e i primi del 2010. Abbiamo stabilito un altro record, per quanto ne sappiamo.

### Transfeu WP 2.1.3 Small-scale test method for fire effluents



Configurazione dell'apparecchiatura di misura (camera e sistema di prelievo) nella procedura TRANSFEU

La calibrazione con le bombole titolate e certificate (ce ne sono volute 42 per la lista dei 12 gas previsti) per la prima volta è stata effettuata dai tre laboratori con le medesime bombole.

I due bancali sono arrivati a Controguerra: abbiamo effettuato le calibrazioni e mandato le bombole a Leverkusen dove è stata effettuata la stessa operazione, quindi sono state spedite a Parigi dove LNE ha a sua volta calibrato la propria FTIR e rimandato il tutto a Controguerra, dove alcune calibrazioni sono state ripetute per verificare lo stato delle bombole al termine del tour in Europa.

Nel mese di marzo, i cinque laboratori che dovranno partecipare al programma nella seconda fase si sono riuniti per alcuni giorni a Controguerra, dove hanno preso visione e hanno familiarizzato con il sistema e l'apparecchiatura modificata, in modo da prepararsi ad effettuare i test dei secondi 30 prodotti ferroviari previsti.

Previa visita di verifica che tutti i dettagli dell'attrezzatura siano in funzione, e la comparazione dei risultati della produzione di gas dei liquidi di riferimento, spillati dalla stessa "botte" per tutto il tempo del programma TRANSFEU<sup>(\*)</sup>.

## La situazione a fine giugno 2010

Le tappe previste dal programma per la messa a punto del metodo di prova e di

**Oggi non c'è ancora un metodo standardizzato per la misura dei gas prodotti dalla combustione nel lungo periodo e per lo studio delle emissioni e dei loro effetti sulle persone**

mostrarne l'affidabilità in termini di riproducibilità basandosi sui risultati della combustione di quattro liquidi di riferimento (cloroparaffina, tetrametilsulfone ed isocianato industriale "spillati" dallo stesso contenitore e una miscela dei tre, prodotta in un'unica operazione e consegnata a ciascuno dei tre laboratori in occasione della riunione

di Controguerra) sono terminate. Il rapporto, meglio i relativi rapporti, verificati e accettati dal Comitato Scientifico di TRANSFEU, approvati ed accettati poi dai Servizi della Commissione di Bruxelles, l'analisi dei dati, che ora comprende anche i risultati dei primi 3 prodotti di allestimento ferroviario, quindi 7 rapporti di prova completi, hanno consentito al VTT, che per contratto svolge la funzione di verifica dei valori di ripetibilità e riproducibilità, di dare semaforo verde alla sperimentazione dei primi 30 prodotti, selezionati dall'apposito gruppo di lavoro diretto dall'UNIFE e comprendente i principali operatori ferroviari (per noi Trenitalia).

I cinque laboratori rimanenti stanno allestendo le proprie apparecchiature: è un lavoro impegnativo e costoso, comporta l'acquisto di numerose parti ed attrezzature ausiliarie, calibrazioni certificate di gas finora non da tutti misurati (anche se per fortuna una buona percentuale dei laboratori già identificava e quantificava ammoniaca, NOX, formaldeide e acroleina). Dovrebbero essere pronti per l'autunno e iniziare quindi le prove del secondo gruppo di 30 prodotti alla camera ISO 5659-2.

Verranno poi le prove di full scale e, quando saranno disponibili i risultati della modellazione, la validazione con le prove di scala reale nello scompartimento e nelle vetture ferroviarie in Francia e in Italia.

La Rivista Antincendio verrà tempestivamente informata e quindi tutti i nostri lettori.

\* *I liquidi si sono mostrati i più efficaci prodotti per questo tipo di controllo. Bruciano con regolarità, la perdita di massa è spesso equivalente al peso iniziale (uno solo lascia residui solidi) ed è possibile ripetere nel tempo i test con i medesimi risultati, se vengono conservati correttamente. È in fondo l'unico modo di verificare che l'apparecchiatura e il sistema funzionino correttamente, data l'omogeneità assoluta della campionatura.*