

Un caso atipico d'incendio di interesse generale

N. Piccinini[°], R. Tommasini[^] e M. Demichela[°]

Politecnico di Torino - C.so Duca degli Abruzzi, 24 - 10129 TORINO

[°] Dipartimento Scienza dei Materiali e Ingegneria Chimica

n.piccinini@polito.it

[^] Dipartimento di Ingegneria Elettrica Industriale

rtommasi@athena.polito.it

RIASSUNTO

Dall'esame di un caso certamente inusuale di sviluppo di un incendio si giunge a conclusioni di carattere generale sulla prevenzione.

L'evento che ha portato alla distruzione di una manifattura di filati di cotone ha avuto inizio con la combustione del polverino accumulatosi nel corso degli anni al di sopra di un controsoffitto in pannelli di lana di vetro. Tale polverino, pur creando un carico d'incendio irrisorio (dell'ordine delle decine di grammi/m²), è stato in grado di propagare le fiamme nell'interno del sottotetto dello stabilimento.

Il tetto "a shed" era costituito da una struttura reticolare in tubi d'acciaio con copertura a mezzo di pannelli isolanti con struttura metallica. La causa dell'innesco è stata certamente l'impianto elettrico di illuminazione che era stato installato nell'intercapedine del tetto, in modo assai precario e difforme dalle prescrizioni normative.

Dall'esame dei luoghi e dalle testimonianze si è potuta ricostruire una dinamica del sinistro in grado di spiegare il rapido propagarsi delle fiamme sia all'interno che all'esterno dello stabilimento.

2. INTRODUZIONE

La manifattura in cui nel 1995 si sviluppò l'incendio, lavorava il cotone in fiocco, allo scopo di ottenere filati.

Dal punto di vista della composizione chimica, il cotone grezzo è costituito per l'88-96% da cellulosa, e per il resto da cere, pectine e sostanze proteiche; trattasi quindi di materiale infiammabile.

Per effetto dell'attrito durante le varie fasi di lavorazione (cardatura, stiratura e filatura), le fibre tendono a liberare un pulviscolo (detto polverino di cotone), costituito da micro fibre molto leggere che si depositano sui macchinari e nelle zone attigue.

Tale polverino potrebbe risultare facilmente infiammabile e quindi essere innescato in vari modi, ad es. dallo scintillio di un'apparecchiatura elettrica difettosa od anche solo da una superficie calda. Difatti da fonti bibliografiche

risulta per il polverino di cotone stratificato una temperatura di autoaccensione di 350°C [1].

La sua infiammabilità invece, classificata in base all'abilità nel propagare la fiamma, risulterebbe di classe 3, ovvero sarebbe in grado di sostenere una combustione locale, ma non di propagarla [1].

Diverso è il comportamento del cotone in balle che, anzichè bruciare con fiamma, può covare a lungo una brace (combustione senza fiamma) e solo per le mutate condizioni di ventilazione e dispersione del calore dar luogo a fiamme.

3. DESCRIZIONE DEI LUOGHI E DELLA LAVORAZIONE

Lo stabilimento consisteva in un edificio a due piani. Al primo piano c'era la sala di lavorazione dove erano installate sei linee di filatura automatiche; tale sala fungeva anche da magazzino per il prodotto finito ed imballato. Il seminterrato era invece adibito a magazzino della materia prima (cotone in balle) e ospitava la cabina elettrica e un'officina meccanica.

La lavorazione era articolata nelle seguenti fasi:

- Prelievo del cotone in fiocchi dalle balle tramite "grattatori";
- Trasporto pneumatico delle fibre al piano superiore;
- Cardatura, il cui semilavorato era automaticamente depositato in vasi di 45-50 kg;
- Stiratura, per trasformare il nastro prodotto dalla carda in un nastro continuo e regolare a sezione più ridotta;
- Filatura. Il filato, raccolto in rocche, era depositato temporaneamente nella zona posteriore dello stabilimento in attesa di essere spedito.

Al momento dell'incendio erano immagazzinati ca. 700 bancali di filati per un peso di ca. 500 t.

Allo scopo di eliminare il pulviscolo dovuto alle diverse lavorazioni, lo stabilimento era dotato di un impianto di depurazione e condizionamento dell'aria, che provvedeva alla filtrazione, all'umidificazione e ricircolo della stessa. La potenzialità dell'impianto era di 20 ricambi/ora, cioè l'intero volume della sala di lavorazione veniva rimosso ogni 3 minuti.

Per meglio comprendere la dinamica degli eventi è necessario descrivere la struttura del tetto dello stabilimento. La copertura era del tipo "a shed" (a denti di sega) con strutture portanti metalliche (Fig.1).

La superficie verticale dei "denti" era completamente vetrata mentre quella orizzontale era parte vetrata per favorire l'illuminazione e parte con pannelli isolanti e fono-assorbenti, che costituivano un controsoffitto. In particolare questo era costituito da un sandwich formato da una sottile lamina metallica forata di alluminio sulla quale era sovrapposto uno strato di lana di vetro di 5 cm, il tutto coperto da un cartoncino catramato (Fig.2).

Nel corso degli anni, il polverino di cotone penetrato all'interno della controsoffittatura aveva costituito uno strato di alcuni millimetri che copriva non solo l'intera faccia superiore del rivestimento e tutte le strutture metalliche del tetto, ma anche, verosimilmente, le superfici vetrate orizzontali. Inoltre, soprattutto in corrispondenza di superfici verticali o di cavi elettrici aveva creato

dei “festoni” che sfaldandosi per il peso proprio creavano, localmente, sulla superficie della controsoffittatura, dei grumi spessi anche qualche centimetro.

Tale polverino di cotone, pur creando un carico d’incendio irrisorio (dell’ordine delle decine di grammi /m²) era in grado, se innescato, di propagare le fiamme nell’intero sottotetto dello stabilimento. Inoltre, nello spigolo di raccordo tra un dente e l’altro dello shed vi era dal lato interno una parte convessa realizzata con tavole di legno.

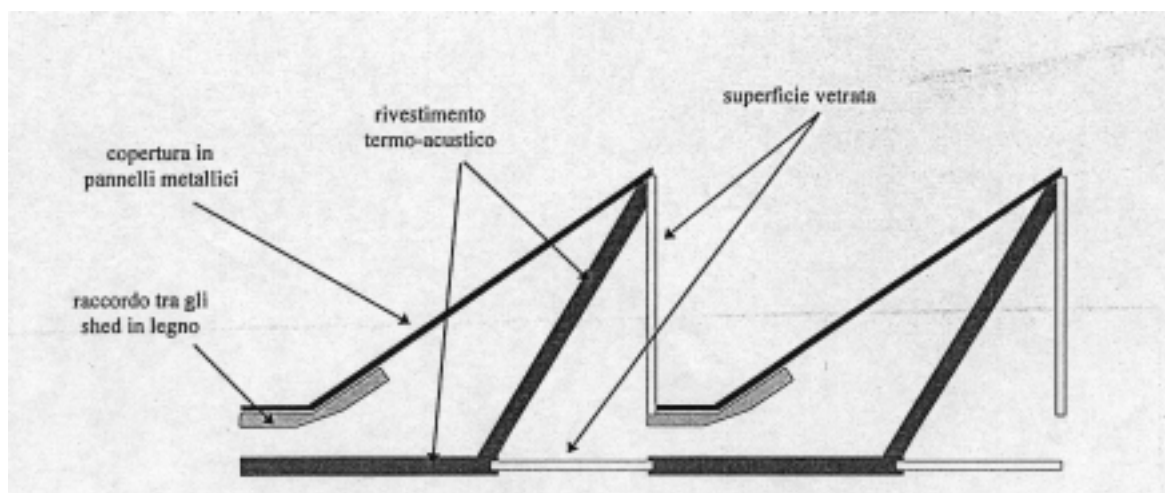


Figura 1: Struttura del tetto dello stabilimento. Copertura era “a shed”.

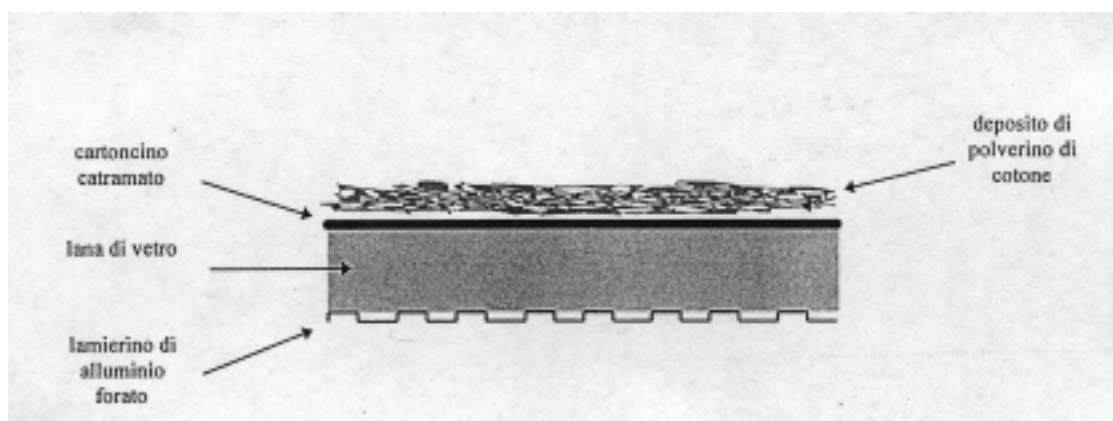


Figura 2: Struttura del controsoffitto.

4. POSSIBILI CAUSE D’INNESCO

Lo stabilimento della manifattura, a causa del suo elevato carico d’incendio specifico, rientrava tra gli ambienti a maggior rischio d’incendio di cui all’art. 751.03.3 della norma CEI 64-8, le cui prescrizioni addizionali sono brevemente illustrate nel seguito assieme a quelle ordinarie.

4.1. Protezione contro le sovracorrenti

L'impianto elettrico utilizzatore costituisce "l'impianto elettrico fisso" dello stabilimento che ha inizio nel punto di consegna dell'energia elettrica da parte dell'ente distributore (contatore ENEL), e termina con le prese a spina alle quali sono collegati gli apparecchi utilizzatori (gli apparecchi utilizzatori fissi, anche se collegati tramite prese a spina fanno parte dell'impianto elettrico utilizzatore)

Con il termine corrente nominale si indica la massima corrente che un circuito è in grado di sopportare senza subire danni. Con sovracorrente si intende una corrente di intensità superiore a quella nominale che, in tempi più o meno lunghi, può produrre pericolosi surriscaldamenti delle condutture.

Le norme tecniche di sicurezza prescrivono che i circuiti elettrici siano provvisti di adeguati dispositivi di protezione, atti ad interrompere i corto circuiti e i sovraccarichi prima che si possa produrre un riscaldamento pericoloso per i componenti dell'impianto o per l'ambiente esterno (norma CEI 64-8: artt.131.4, 131.5 e sez. 473).

4.2. Dispersioni verso terra

Una delle più comuni cause di incendio è la dispersione di corrente verso terra, in seguito al guasto di un componente dell'impianto. Tale corrente può essere di bassa intensità, tale da non far intervenire le protezioni a massima corrente, e può quindi permanere per lungo tempo, causando il pericoloso surriscaldamento del componente guasto o della parte metallica attraversata dalla corrente di dispersione.

Per ridurre tale pericolo, le norme relative agli ambienti a maggior rischio in caso di incendio prevedono che i circuiti elettrici terminali siano racchiusi in involucri con grado di protezione pari ad almeno IP4X, o, in alternativa, siano protetti con interruttori differenziali con $I_{dn} \leq 500$ mA (o altri dispositivi per la rilevazione delle dispersioni verso terra).

4.3. Propagazione dell'incendio

Le condutture, oltre a poter essere la causa dell'incendio possono contribuire a propagarlo quando non sono realizzate in materiale adeguato: le fiamme possono infatti progredire lungo i conduttori (o i fasci di conduttori) e trasferirsi da un ambiente all'altro. Per questo motivo, le condutture negli ambienti a maggior rischio in caso di incendio devono essere realizzate con uno dei seguenti accorgimenti:

- utilizzo di conduttori di costruzione speciale (cavi ad isolamento minerale);
- posa all'interno di tubi o involucri metallici con grado di protezione almeno IP4X;
- posa incassata in struttura non combustibile.

Negli altri casi devono essere utilizzati conduttori del tipo non propagante l'incendio o non propagante la fiamma posati con particolari accorgimenti all'interno di tubazioni o canali protettivi.

Nello stabilimento, la maggior parte delle condutture in partenza dal quadro generale non risultavano adeguatamente protette contro le sovracorrenti.

Inoltre i circuiti di illuminazione non erano provvisti di interruttore differenziale ed erano realizzati con condutture di tipo ordinario posate sopra il controsoffitto senza alcun involucro protettivo.

In definitiva, l'impianto elettrico installato nello stabilimento della Manifattura non era da considerarsi realizzato conformemente alle prescrizioni di sicurezza.

Viste queste premesse si può affermare che l'incendio si sia verificato per cause elettriche, considerando anche che all'interno della controsoffittatura, da dove presumibilmente l'incendio ha avuto origine, oltre all'impianto elettrico di illuminazione, non vi erano altri impianti o elementi che possano essere state causa d'innesco.

L'innesco elettrico può essersi verificato per una delle seguenti cause:

- a. guasto verso terra su una delle condutture dell'impianto di illuminazione;
- b. guasto all'interno di un alimentatore delle lampade fluorescenti;
- c. cortocircuito tra i conduttori attivi dell'impianto di illuminazione;
- d. arco elettrico dovuto a cedimento dell'isolamento.

a) Guasto verso terra su una delle condutture dell'impianto di illuminazione

Le correnti verso terra sono una delle principali cause elettriche. Se la corrente di guasto a terra è inferiore alla corrente nominale dei dispositivi a massima corrente, come avviene normalmente nei sistemi IT e in molti casi nei sistemi TT, essa non costituisce un pericolo per le condutture, ma potrebbe tuttavia produrre dei pericolosi surriscaldamenti o la formazione di piccoli archi elettrici all'interno degli apparecchi utilizzatori o nei circuiti di ritorno della corrente di guasto (comprendenti ad es. le masse estranee) che si trovino in parallelo al conduttore di protezione. Nei sistemi TN, come quello in esame, le correnti verso terra possono essere anche molto intense se non limitate da alcuna impedenza di guasto. Il caso peggiore è tuttavia quello in cui tali correnti sono inferiori o dello stesso ordine di grandezza della corrente nominale e possono così perdurare per un lungo periodo.

La protezione contro le correnti di guasto a terra e in generale il controllo dello stato di isolamento delle condutture può essere convenientemente realizzata per mezzo di interruttori differenziali, cioè di dispositivi che interrompono l'alimentazione del circuito quando si verificano delle correnti verso terra.

Altre due modalità di protezione sono quelle di utilizzare condotti metallici anziché in materiale isolante, o di installare un conduttore nudo collegato a terra (conduttore di guardia) all'interno delle tubazioni isolanti. L'efficacia di tali protezioni è legata alla probabilità che, in caso di guasto, almeno una parte della corrente di guasto si chiuda effettivamente attraverso il conduttore di guardia o il condotto metallico.

b) Guasto all'interno di un alimentatore delle lampade fluorescenti

L'alimentatore di un apparecchio di illuminazione provvisto di lampada a scarica è il dispositivo che ha il compito di ridurre e stabilizzare la corrente di assorbimento della lampada durante il funzionamento ordinario.

Nel caso delle lampade fluorescenti ordinarie (scarica in gas rarefatto a bassa pressione) l'alimentatore, quando non è di tipo elettronico, è sostanzialmente costituito di un avvolgimento realizzato su un nucleo di materiale ferromagnetico (reattore).

Un tipico guasto di tale dispositivo consiste nel cedimento dell'isolamento tra alcune delle spire dell'avvolgimento. L'impedenza si riduce e aumenta la corrente che fluisce nell'alimentatore, provocandone il surriscaldamento.

La sovratemperatura raggiunta dall'avvolgimento durante il guasto può essere anche molto elevata, tale da condurre alla fusione del rame. La temperatura dell'involucro esterno del reattore non raggiunge naturalmente tali limiti, ma può comunque arrivare ad alcune centinaia di gradi.

c) Cortocircuito tra i conduttori attivi dell'impianto di illuminazione

Per cortocircuito franco, o semplicemente cortocircuito, si intende il guasto tra due punti di un circuito elettrico attraverso un'impedenza nulla. Il cortocircuito non franco è invece il guasto attraverso un'impedenza non trascurabile. L'impedenza può essere determinata da un isolante parzialmente deteriorato o da una parte del circuito utilizzatore (avvolgimento di macchina elettrica, reattore di lampada fluorescente, condensatore, etc.). Un caso particolare di guasto non franco si ha per la presenza di un arco elettrico. In tutti questi casi si stabilisce nel circuito un valore di corrente inferiore a quello di cortocircuito.

Una condotta protetta contro il sovraccarico e contro il cortocircuito, secondo le indicazioni della norma CEI 64-8 può di fatto considerarsi protetta anche contro il cortocircuito non franco.

Se il circuito non è protetto contro il sovraccarico, come è ammesso dalle norme stesse per i circuiti non sovraccaricabili (ad es. gli impianti di illuminazione) le correnti di guasto non franco possono costituire una causa elettrica di incendio.

Il rischio relativo è accettato dalle norme CEI 64-8 per gli impianti ordinari, mentre nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio è sempre richiesta la protezione delle condutture contro il sovraccarico.

Ai fini della protezione contro il guasto non franco i dispositivi di protezione contro il sovraccarico devono essere comunque disposti all'inizio della condotta.

d) Arco elettrico dovuto a cedimento dell'isolamento

Un arco elettrico può prodursi per inquinamento macroscopico della superficie isolante, ad esempio la presenza di acqua inquinata o di altro liquido conduttore interposto tra le parti attive.

Più frequentemente esso è dovuto al noto fenomeno di tracking: la superficie isolante, inquinata anche solo dal pulviscolo atmosferico e umida (condensa) è percorsa da piccole correnti di dispersione attraverso l'elettrolita. Il fenomeno, intermittente perché il passaggio di corrente producendo calore elimina l'umidità, è accompagnato dalla formazione di piccole scariche

superficiali. La piccola corrente di dispersione può alterare nel tempo la superficie dell'isolante, specie dei composti polimerici, rendendola parzialmente conduttrice.

Il fenomeno quindi tende ad esaltarsi nel tempo, essendo figlio di se stesso, può condurre al completo cedimento dell'isolante; in quest'ultima fase può prodursi un arco elettrico. E' stato calcolato che la densità di potenza di un arco superficiale di questa natura può raggiungere valori dell'ordine di $1\text{kW}/\text{cm}^2$.

5. DINAMICA DEL SINISTRO

Come emerso dalle testimonianze e dallo stato dei luoghi, l'incendio ha avuto origine nel sottotetto al di sopra della controsoffittatura, in corrispondenza dell'ultimo shed del lato Nord dello stabilimento.

Una sorgente di energia di origine elettrica (surriscaldamento o scintilla) ha innescato il polverino di cotone che come miccia ha propagato la fiamma ad un'ampia porzione dei pannelli termo-acustici costituenti non solo il controsoffitto, ma posti anche come superficie di chiusura della parte vetrata. Questi ultimi, con la loro posizione inclinata, hanno particolarmente favorito il propagarsi delle fiamme provenienti dal basso, zona dov'era installato l'impianto elettrico.

Benché il carico fosse assai modesto, i fumi caldi raccogliendosi nel ristretto vano formato dallo spigolo superiore dello shed hanno quivi raggiunto sicuramente una temperatura di alcune centinaia di gradi provocando:

- a) la dilatazione e deformazione della struttura metallica, anche se in forma inizialmente non vistosa,
- b) la fusione del bordo superiore dei pannelli termo-acustici,
- c) la rottura dei vetri verticali e, per la caduta di frammenti di carta catramata o festoni di polverino incendiati, la rottura dei vetri orizzontali.

A questo punto si innescavano due "effetti domino": uno verso l'esterno dello stabilimento, l'altro verso l'interno, il primo sviluppatosi alcuni minuti prima del secondo.

- 1) Dopo la rottura del bordo superiore dei vetri verticali dell'ultimo shed, per effetto del tiraggio provocato dai fumi caldi fuoriuscenti avveniva verso l'esterno una pioggia di frammenti incendiati (festoni di polverino e cartoncino catramato) che ricadevano inevitabilmente sulla copertura della banchina di carico e scarico delle merci. Questa copertura era parte in fibrocemento (incombustibile) e parte in lastre trasparenti in materiale polimerico rinforzate con fibre di vetro, materiale invece combustibile.

La presenza di un discreto vento, come emerge da una videoregistrazione eseguita dai VV.F., favoriva non solo la combustione della copertura della tettoia, ma anche il propagarsi dell'incendio. In particolare il gocciolamento di polimero infiammato od anche il semplice calore di irraggiamento della tettoia in fiamme provocava l'innescò di un'alta pila di bancali di cartoni da imballo.

E' ragionevole ritenere che dal momento iniziale all'innescò dei cartoni possono essere trascorsi una quindicina di minuti.

- 2) Con un modesto ritardo rispetto agli eventi descritti nel punto 1), avveniva la rottura dei vetri orizzontali all'interno dello stabilimento nella zona Nord-Est dello stesso.

In questo secondo caso, la rottura dei vetri è stata, verosimilmente, provocata dal calore di combustione delle tavole di legno poste a raccordo tra il primo ed il secondo "dente" dello shed. Questa volta però la caduta dei frammenti incandescenti avveniva sui bancali di prodotto finito che per un'altezza di 2,20 m occupavano tutta la parte libera dalle macchine in fondo al salone dello stabilimento.

Purtroppo i bancali di prodotto finito, essendo pronti per la spedizione, erano imballati con un foglio di polietilene che li avvolgeva completamente. E' stato questo film polimerico, estremamente infiammabile, a propagare l'incendio in ogni direzione e a renderlo incontrollabile in quanto le rocche di filato di per sé non avrebbero potuto farlo.

La dinamica degli eventi è anche suffragata dalle prove sperimentali condotte sul materiale costituente la copertura. Tali prove sono state svolte secondo la normativa RF2 e sono state eseguite valutando i tempi di post-combustione, di post-incandescenza e la zona danneggiata su campioni di dimensioni standard (304x102 mm) che sono posti in una camera di combustione di dimensioni opportune e a contatto (dalla parte dove è presente la carta catramata ricoperta di polverino di cotone) con una fiamma inclinata a 45° e di lunghezza 2 cm per un tempo di 30 secondi. Trascorso tale tempo, allontanando la fiamma dal campione, si misurano nell'ordine il tempo relativo alla persistenza della fiamma sul campione stesso e quello successivo valutato fino alla permanenza di zone incandescenti. La misura dei tempi di postcombustione e di postincandescenza permette di classificare il campione in una particolare classe di merito e quindi caratterizzarlo dal punto di vista del comportamento al fuoco.

Il materiale sottoposto ad analisi è risultato di classe 4 (e dunque facilmente infiammabile) dato che sia il tempo di postcombustione che quello di postincandescenza erano superiori a 60 secondi. In Tabella 1 sono riportati i risultati ottenuti, che sottolineano la facilità con cui brucia lo strato di cartoncino catramato e relativo deposito di polverino di cotone mentre rimangono ovviamente incombusti gli altri componenti il sandwich.

Tabella 1: Prove sperimentali di caratterizzazione del comportamento al fuoco del materiale costituente la controsoffittatura della manifattura: in nessuna delle prove effettuate si è avuto gocciolamento del campione

Campione	Tempo di post		Zona danneggiata
	Combustione [s]	Incandescenza [s]	
1	3	1	14
2	> 60	> 60	> 20
3	> 60	> 60	> 20
4	> 60	35	> 20
5	> 60	40	> 20

La dinamica del sinistro e i risultati ottenuti sembrerebbero in disaccordo con quelli riportati in letteratura, secondo i quali il polverino di cotone quando innescato non dovrebbe propagare le fiamme.

Una possibile spiegazione può risiedere sia nella natura del poverino, sia nella particolare stratificazione dei materiali. E' infatti verosimile che il polverino non fosse solo di cotone, ma anche di filati diversi (ad es. fibre acriliche), più infiammabili, depositatesi nel corso degli anni.

6. CONCLUSIONI

Nell'incendio sviluppatosi nella manifattura, l'innescò fu causato dall'impianto elettrico di illuminazione dello stabilimento. L'esatta causa d'innescò dell'incendio non è stata determinata con certezza a causa della completa distruzione della zona in cui si è originato. Le cause più probabili sono circoscritte tra le seguenti: un guasto verso terra a livello di una delle condutture o dei componenti (reattori) del circuito elettrico oppure un corto circuito tra i conduttori di fase. In entrambi i casi le sovratemperature raggiunte furono sufficienti ad innescare la combustione del polverino di cotone e del cartoncino catramato, faccia superiore della controsoffittatura. La rottura delle vetrate a soffitto per l'illuminazione portò poi una pioggia di fiammelle sul prodotto imballato e pronto alla spedizione. Il film di polietilene, parte esterna delle confezioni portò ad una rapidissima propagazione delle fiamme ed al loro sviluppo incontrollato.

Le proporzioni dell'incendio sono state rilevanti, tant'è che hanno portato alla quasi completa distruzione dello stabilimento.

Con riferimento alla sicurezza dell'esercizio degli impianti di lavorazione, in relazione alla natura dell'attività produttiva e quindi alle misure idonee a prevenire l'accensione e il propagarsi delle fiamme si è constatato quanto segue:

- L'edificio era pienamente rispondente allo scopo ed era stato realizzato secondo tipologie costruttive e materiali più che adeguati.
- Le linee produttrici (cardatrici, stiratoi e filatoi) erano tenute in perfetta efficienza dato che operavano in automatico 24 ore su 24; una delle sei linee anzi era nuovissima essendo stata installata circa sei mesi prima.
- Lo stabilimento era dotato di una rete antincendio esterna con prese per idranti tipo UNI 45 nonchè di una rete antincendio interna con manichette già predisposte.
- E' invece emerso che l'impianto elettrico di illuminazione non era rispondente alla normativa di sicurezza relativa agli impianti elettrici nei luoghi a maggior rischio in caso di incendio di cui alla norma CEI 64-8.

Bibliografia

1. R.K. Eckhoff, "Dust explosions in the process industries", Butterworth-Heinemann, Oxford, 1997.
2. D. Drysdale, "An introduction to fire dynamics", John Wiley and sons, Chichester, 1985.
3. V. Carrescia, "Fondamenti di sicurezza elettrica", Ed. TNE, Torino, 1999.