

DISTANZA DI SICUREZZA TRA LINEE ELETTRICHE AEREE AD ALTA TENSIONE E DEPOSITI ALL'APERTO DI MATERIALI COMBUSTIBILI. UN CASO ESEMPLARE.

dott. ing. Giuseppe Verme, Comandante VVF Bergamo, via Codussi 9, 24124 Bergamo, tel uff. 035.2278201, fax uff. 035.2278242, e-mail: giuseppe.verme@vigilfuoco.it

dott. ing. Pier Nicola Dadone, Comando VVF Bergamo, via Codussi 9, 24124 Bergamo, tel uff. 035.2278201, fax uff. 035.2278242, e-mail: pierdado@tin.it; piernicola.dadone@vigilfuoco.it

SOMMARIO

Il presente lavoro intende esaminare la problematica della distanza di sicurezza tra linee elettriche ad alta tensione e depositi all'aperto di materiali combustibili. Si tratta di un caso non esplicitamente previsto dalle norme di sicurezza, di cui si esaminano gli aspetti tecnici e gli aspetti giuridici. A tal fine è utile procedere allo studio di un caso reale. Nel 2003 un traliccio portante una linea elettrica aerea ad alta tensione, ubicato in prossimità di un deposito all'aperto di bancali di legno, fu coinvolto nell'incendio del deposito, e crollò.

A seguito di tale evento vari aspetti tecnici e legali sono stati oggetto di un contenzioso presso la giustizia amministrativa.

Tali aspetti vengono in questo articolo analizzati con utilizzo anche dei metodi del Fire Safety Engineering. Da tale analisi emerge che vari aspetti sviluppati nel caso specifico risultano essere di valenza generale.

Corre infine l'obbligo di precisare che tutto quanto riportato nel presente articolo è ottenuto da fonti di pubblico dominio, quali giornali, libri, siti internet e simili, come verificabile nella bibliografia allegata.

1. LE DISTANZE DI SICUREZZA TRA LINEE ELETTRICHE AEREE AD ALTA TENSIONE ED ATTIVITÀ A RISCHIO D'INCENDIO NELLA NORMATIVA ITALIANA

1.1 Situazioni normate

Innanzitutto ricordiamo le definizioni di distanza di sicurezza della norme antincendio italiane

D.M. 30.11.1983: Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi

distanza di sicurezza esterna: valore minimo, stabilito dalla norma, delle distanze misurate orizzontalmente tra il perimetro in pianta di ciascun elemento pericoloso di una attività e il perimetro del più vicino fabbricato esterno all'attività stessa o di altre opere pubbliche o private oppure rispetto ai confini di aree edificabili verso le quali tali distanze devono essere osservate

distanza di sicurezza interna: valore minimo, stabilito dalla norma, delle distanze misurate orizzontalmente tra i rispettivi perimetri in pianta dei vari elementi pericolosi di una attività

distanza di protezione: valore minimo, stabilito dalla norma, delle distanze misurate orizzontalmente tra il perimetro in pianta di ciascun elemento pericoloso di una attività e la recinzione (ove prescritta) ovvero il confine dell'area su cui sorge l'attività stessa.

Già da queste definizioni generali si può notare che vi sono obiettivi di sicurezza non dichiarati ma ben presenti al legislatore. Ma è soprattutto nelle norme specifiche che si riescono ad intuire tali obiettivi di sicurezza.

Le norme di sicurezza italiane che prevedono distanze di sicurezza tra linee elettriche aeree ad alta tensione ed attività a rischio d'incendio sono varie. Ricordiamo le seguenti.

Depositi di gpl in serbatoi fissi di capacità complessiva superiore a 5 mc e/o in recipienti mobili di capacità complessiva superiore a 5000 kg (D.M. 13.10.1994)

Tra gli elementi pericolosi (del deposito) e linee elettriche aeree deve essere osservata una distanza in proiezione di 20 m per tensioni superiori a 1 kV fino a 30 kV. Per tensioni superiori a 30 kV la distanza L, in metri, in funzione della tensione U, in kV, è data dalla formula: $L = 20 + 0,1(U-30)$.

Nella fascia di rispetto di metri $3 + 0,1 \times U$ dalla proiezione in piano delle linee elettriche con tensione oltre 1 kV, non devono sorgere fabbricati di alcun genere.

Depositi gpl con capacità complessiva non superiore a 13 mc (D.M. 14.5.2004)

(distanza di sicurezza tra elementi pericolosi del deposito e) proiezione verticale di linee elettriche ad alta tensione: 15 m.

Depositi gasolio per autotrazione ad uso privato (fuori terra) di capacità non superiore a 9 mc (D.M. 12.9.2003)

(distanza di sicurezza tra perimetro deposito e proiezione verticale di linee elettriche ad alta tensione: 6 m.
Da un primo esame di tali norme si può ricavare che i possibili obiettivi di sicurezza non dichiarati dal legislatore possono essere:

- prevenire che la linea sia possibile causa d'incendio
- proteggere dall'incendio la linea quale bene generico
- proteggere la linea quale infrastruttura rilevante ed essenziale del territorio.

Il proseguo del lavoro si baserà sull'assunzione che gli obiettivi di sicurezza da perseguire siano proprio questi appena elencati.

1.2 Situazioni non normate – il caso delle linee elettriche aeree ad alta tensione e i depositi all'aperto di materiale combustibile

Vi sono poi molti casi in cui non vi è una norma specifica. Tra i casi in cui non vi è una norma di sicurezza che preveda esplicitamente una distanza di sicurezza vi è quello dei depositi all'aperto di materiale combustibile. A questo punto, invece di procedere per via teorica, pare più utile procedere immediatamente ad esaminare un caso concreto di tale tipo, per poi trarre alcune valutazioni.

2. UN CASO ESEMPLARE: “INCENDIO CON CROLLO TRALICCIO”

2.1 La cronaca dei fatti

La notte del 5 maggio 2003 un incendio si sviluppa in un deposito all'aperto di bancali di legno ubicato nel piazzale di una ditta, che chiameremo ditta X. In prossimità si trova un traliccio dell'alta tensione, che crolla a causa del calore sviluppatosi nell'incendio.

E' agevole iniziare l'esame dell'incendio usando alcuni stralci dell'articolo e alcune foto comparse il giorno successivo sul quotidiano “L'Eco di Bergamo” [1].

Inferno di fuoco con quattro pompieri ustionati l'altra notte in un'area artigianale di Brembate. Le fiamme, alte una ventina di metri, hanno divorato oltre settemila bancali in legno nel piazzale della ditta X. L'azienda costruisce e rigenera bancali in legno. Il forte calore arrivato a un migliaio di gradi ha reso incandescente la base di un traliccio in ferro dell'alta tensione dell'Enel – 132 mila volt – che si innalzava nel centro del piazzale. Nel giro di un'ora la base ha ceduto e il traliccio è rovinato a terra danneggiando la facciata del capannone di un'azienda confinante. I cavi, che per il calore si sono staccati dal traliccio, sono finiti sulla provinciale, su una via vicina e su altri capannoni dell'area artigianale.

Dieci squadre di vigili del fuoco composte da una cinquantina di uomini hanno lavorato più di dieci ore per domare le fiamme, smassare i bancali bruciati e verificare la sicurezza dei capannoni danneggiati dalla caduta del traliccio e dalle fiamme.

Da una prima stima, i danni – quelli ai capannoni, quelli subiti dall'Enel e i bancali distrutti – potrebbero aggirarsi intorno ai 760 mila euro.

Non è stato ancora possibile stabilire le cause del rogo.

Durante i lavori di spegnimento per il forte calore quattro pompieri sono stati ricoverati al Policlinico di Zingonia per ustioni. Sono stati dimessi l'indomani con una prognosi che varia da 2 a 5 giorni.

“Faceva un caldo infernale – racconta un caposquadra dei pompieri – le fiamme erano alte perché i bancali sono un ottimo combustibile e l'elevata temperatura ha fatto crollare il traliccio di ferro. Proprio per il caldo e per gli sforzi ho avuto un malore così per sicurezza sono stato portato al Policlinico di Zingonia, ma sono stato subito dimesso”. Il calore che si è sviluppato era così forte che ha danneggiato leggermente anche un mezzo dei pompieri parcheggiato a una cinquantina di metri.

L'incendio ha cominciato a divorare i bancali, stipati sul piazzale della ditta X, verso mezzanotte e mezza. I vigili del fuoco di Bergamo, ricevuto l'allarme, nel giro di pochi minuti sono giunti a Brembate con una prima autobotte. A questa, con un ritmo incalzante, se ne sono aggiunte altre.

Le fiamme ben presto si sono innalzate oltre venti metri investendo il traliccio. Mentre i pompieri attaccavano l'incendio con ogni mezzo a disposizione, i carabinieri hanno chiuso la circolazione stradale. Le operazioni di spegnimento si sono concluse dopo le 9 del giorno stesso, quando anche gli ultimi focolai sono stati domati.

Dopo qualche ora hanno iniziato a operare i tecnici e gli operai dell'Enel per mettere in sicurezza il traliccio caduto e gli altri rimasti senza cavi di collegamento.



Figura 1. Incendio di un deposito bancali a Brembate (BG) il 5.5.2003.



Figura 2. Incendio di un deposito bancali a Brembate (BG) il 5.5.2003.



Figura 3. Incendio di un deposito bancali a Brembate (BG) il 5.5.2003.



Figura 4. Incendio di un deposito bancali a Brembate (BG) il 5.5.2003.

Parimenti interessante è un altro articolo sempre dello stesso quotidiano.

Era alto 30 metri e pesava 250 quintali il traliccio crollato sul piazzale della ditta X. Il traliccio faceva parte di una linea ad alta tensione. Le squadre di tecnici ed operai della "Terna" gruppo Enel sono impegnati a mettere in sicurezza i due tralicci che erano collegati a quello caduto. Ci vorrà qualche mese prima che venga installato un altro traliccio e ripristinata la linea.

"Sono tre mesi che segnaliamo la situazione di pericolo data dall'accatastamento dei bancali di legno vicino al traliccio – spiega il titolare di un'azienda vicina – l'Enel ha risposto che il problema non era grave: la tipologia del materiale non contrastava con la presenza dell'elettrodotto. Purtroppo è proprio accaduto quello che si temeva: l'incendio dei bancali e il crollo del traliccio con danni al capannone. La nostra segnalazione non era priva di fondamento, e proprio a causa dell'incendio dei bancali è caduto il traliccio danneggiando il nostro capannone".

2.2 Il contenzioso amministrativo

Terminata la fase dell'incendio e del suo spegnimento ovviamente segue la fase della ricostruzione del traliccio e della ripresa delle attività economiche. Ed è proprio in questi aspetti che emerge un conflitto insanabile tra l'esigenza di tutelare per il futuro l'integrità del nuovo traliccio e l'aspettativa della ditta X di utilizzare il proprio piazzale come deposito di bancali di legno.

La vicenda amministrativa può essere ripercorsa così come ricostruita negli atti del Tribunale Amministrativo Regionale della Lombardia, sezione di Brescia [2].

In data 25.6.2003 il sindaco di Brembate dispose con una ordinanza contingibile ed urgente lo sgombero dei bancali e di ogni altro materiale combustibile dal piazzale esterno antistante il capannone dell'azienda X.

Ma in data 7.7.2003 il Tribunale Amministrativo Regionale di Brescia, competente per territorio, accolse in via provvisoria l'istanza incidentale di sospensione presentata dalla ditta X. Le motivazioni dell'accoglimento erano che

- non sembrava certo che l'incendio occorso avesse avuto origine da detto materiale ligneo, e che l'accertamento delle cause era ancora in corso
- che sussistevano i presupposti dell'estrema gravità e dell'urgenza, incidendo il disposto divieto di deposito dello stesso materiale nel cortile aziendale sull'attività di produzione, che avrebbe dovuto allegatamente cessare con effetto immediato.

In data 24.7.2003 il TAR ribadì tale sospensione, aggiungendo che il provvedimento impugnato, *stante l'assenza dei pareri dell'Enel e dei Vigili del Fuoco, nulla dice circa le ragioni d'urgenza che non consentirebbero di attendere la conclusione della stessa al fine di rispettare anche il principio di proporzionalità tra sacrificio imposto al privato e interesse pubblico da salvaguardare.*

Inoltre il TAR chiarì che *le condizioni che legittimano l'adozione di provvedimenti contingibili ed urgenti da parte del sindaco sono da un lato la necessità, intesa come situazione di fatto, che rende indispensabile derogare agli ordinari mezzi offerti dalla legislazione, tenuto conto delle presumibili, serie probabilità di pericolo nei confronti dello specifico interesse pubblico da salvaguardare e la urgenza, consistente nella materiale impossibilità di differire l'intervento ad altra data, in relazione alla ragionevole previsione di danno a breve distanza di tempo.*

Alla data del 30.7.2003 l'Enel aveva provveduto a ricostruire il traliccio e la ditta X aveva ripreso ad utilizzare il piazzale come deposito bancali.

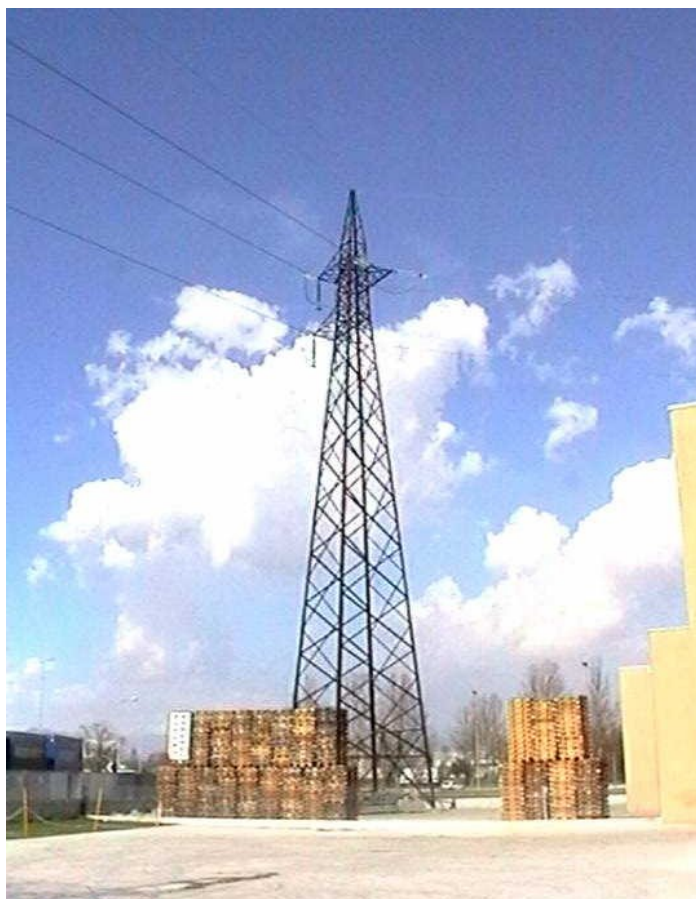


Figura 5. Situazione in data imprecisata successiva alla ricostruzione del traliccio.

Come poi emerge dagli atti successivi del TAR, la situazione di prevenzione incendi della ditta X era il seguente:

- il capannone della ditta X non presentava attività soggette ai sensi del D.M. 16.2.1982 (elenco delle attività soggette ai vigili del Fuoco)
- il quantitativo effettivamente stoccato nel piazzale risultava oggetto di discussione tra le parti, e comunque variava nel tempo (il deposito di legname esterno ubicato nel piazzale era soggetto se superava il quantitativo di 500 q.li, sempre come previsto dal D.M. 16.2.1982).

A questo punto, il 5.8.2003 il Comando dei Vigili del Fuoco, in relazione all'incendio occorso, dispose che tra il traliccio e il deposito di legname esterno venisse rispettata una distanza di sicurezza non inferiore a 20 metri.

Contro tale disposizione la ditta interessata presentò un nuovo ricorso al TAR.

In data 5.12.2003 il TAR accolse l'istanza cautelare di sospensione del provvedimento impugnato.

Infine in data 20.5.2005 il TAR accolse il ricorso e annullò il provvedimento dei Vigili del Fuoco.

L'accoglimento del ricorso da parte del TAR si basò su due motivazioni:

- travisamento del reale stato dei luoghi sui quali si svolge l'attività della società ricorrente
- contraddittorietà tra motivazione e dispositivo dei provvedimenti impugnati.

Nelle parole della sentenza il ricorso è fondato limitatamente alle censure di travisamento dei fatti e di contraddittorietà tra motivazione e dispositivo dei provvedimenti impugnati, perché si sarebbero dovuti adottare i provvedimenti conseguenti al mancato possesso da parte della società ricorrente della certificazione antincendi, mentre la regola di sicurezza di 20 metri di distanza dal traliccio non avrebbe dovuto comportare l'emanazione di una prescrizione che, in ogni caso, non avrebbe potuto essere ottemperata in relazione al reale stato dei luoghi.

Piuttosto l'eventuale constatata impossibilità per la ditta di rispettare tale regola di sicurezza per la mancanza di immobili idonei all'esercizio dell'attività di deposito di legname in area sita a ridosso del traliccio, dato da cui non si può in ogni caso prescindere, avrebbe dovuto essere oggetto di un autonomo apprezzamento da parte dei Vigili del Fuoco relativamente agli aspetti attinenti la prevenzione incendi

nonché dell'Amministrazione competente al rilascio del nulla osta per l'esercizio delle attività produttive, al fine di adottare in via ordinaria le determinazioni necessarie a garantire che l'attività economica della società ricorrente non si svolga in condizioni di pericolo per la sicurezza pubblica e la sicurezza della linea elettrica.

La seconda motivazione atteneva soprattutto ad aspetti amministrativi di prevenzione incendi: in parole povere, la pratica di prevenzione incendi rimane la strada maestra per disciplinare situazioni di questo genere, piuttosto che disposizioni una tantum.

La prima motivazione è invece più interessante sotto l'aspetto tecnico di prevenzione incendi: *risulta dalla documentazione versata in atti che la prescrizione del rispetto della distanza di 20 m tra il deposito di bancali ed il traliccio non potrebbe in ogni caso essere rispettata, in quanto tra il capannone utilizzato dalla società ricorrente ed il traliccio vi è una distanza di poco superiore a 11 metri e, pertanto, potrebbero essere rispettate solo distanze inferiori utilizzando l'area di pertinenza esterna. Di tale stato dei luoghi effettivamente non vi è traccia nei provvedimenti impugnati, i quali sembrano dettare la distanza di sicurezza in via generale ed astratta trascurando la reale estensione e dislocazione degli immobili della proprietà della società ricorrente.*

Il contenzioso amministrativo fin qui illustrato potrebbe non essere ancora concluso, in quanto è possibile che esso prosegua in appello presso il Consiglio di Stato.

Si può già però utilizzare quanto finora emerso per elaborare alcuni aspetti tecnici e normativi.

3. ANALISI DELL'INCENDIO CON I METODI DEL FIRE SAFETY ENGINEERING

3.1 Parametri fisici di interesse

L'incendio sviluppatosi in prossimità del traliccio può essere esaminato con metodi analitici della Fire Safety Engineering, in quanto è riconducibile ad un classico incendio all'aperto di materiale solido.

E' anche possibile applicare dei metodi basati su indici, come il metodo della norma NFPA 80 A, ma tali metodi paiono poco comprensibili nei vari passaggi. Si preferisce pertanto optare per i classici modelli d'incendio reperibili nella letteratura FSE.

Il combustibile, legno, è tra i combustibili più utilizzati nelle sperimentazioni della FSE, e numerosi sono in letteratura i casi di studio simili. Tuttavia il caso oggetto di studio si discosta da quelli reperiti in letteratura per un aspetto essenziale: la dimensione, ossia la quantità di combustibile coinvolta. Infatti i casi di studio presenti in letteratura riguardano casi di cataste di legno di limitate dimensioni, che per ovvie ragioni risultano di più facile gestione nell'ambito di ricerche scientifiche.

Comunque occorre innanzitutto individuare i principali parametri fisici di interesse. Questi sono:

- calore e potenza sviluppati
- frazione radiante e frazione convettiva
- temperatura raggiunta nei cavi e nella struttura metallica del traliccio
- le condizioni di collasso
- distanza di sicurezza.

3.2 Le cataste di bancali

Le caratteristiche geometriche e di massa dei bancali di legno sono abbastanza variabili. Ad esempio le dimensioni in pianta variano da 60 a 120 cm ed oltre per ciascun lato. Ed a parità di superficie in pianta varia anche l'altezza e la massa di legno coinvolta. Per il nostro studio possiamo però assumere dei valori medi. Consideriamo pertanto delle caratteristiche medie di un bancale [3]:

- peso pari a 20 kg di legno
- dimensioni pari a 1,2 m x 1 m x h 0,15 m
- volume (vuoto per pieno) pari a 0,16 mc



Figura 6. Schema tipo di un pallet

Le cataste di pallets possono essere fatte mettendo i pallets stessi semplicemente sovrapposti, oppure incastrandoli due a due (ottenendo pertanto una maggiore densità di materiale). Nel nostro studio consideriamo il primo caso, in quanto è quello più frequentemente usato.

Ne segue che

$$\text{Peso specifico} = \text{Peso} / \text{Volume (vuoto per pieno)} = 20 \text{ kg} / 0,16 \text{ mc} = 125 \text{ kg/mc} \quad (1)$$

Tale parametro risulta essere quello di più immediato utilizzo nei calcoli che seguono, in quanto nel proseguo considereremo sempre la catasta di pallet come un volume omogeneo.

3.3 Ipotesi di studio

Per il nostro studio assumiamo come valore di studio un quantitativo pari a 1000 qli:

- $100000 \text{ kg} / 125 = 800 \text{ mc}$ volume complessivo di bancali

A tale volume facciamo corrispondere un parallelepipedo di:

- altezza: 7 metri
- carico d'incendio: 877 kg/mq
- area in pianta di 114 mq ($10,5 \text{ m} \times 10,5 \text{ m}$)

Tali caratteristiche non vogliono essere quelle della catasta andata a fuoco il 5 maggio 2003. Tuttavia si può aggiungere che l'ipotesi di studio sicuramente non si discosta molto da quella "reale", dell'incendio.

E' inoltre opportuno considerare subito che la catasta di bancali risulta molto "porosa", con molti passaggi utili per il passaggio dei gas, condizione questa che favorisce in generale una combustione "veloce". Tale aspetto è desumibile dal caso reale: come desumibile dalle foto e dai racconti dell'incendio, le fiamme hanno raggiunto un'altezza di circa 20 metri. Inoltre è desumibile dalla tabella HRR / tempo illustrata successivamente.

3.4 Calcolo calore sviluppato

Poiché la combustione ha coinvolto pressoché totalmente tutto il legno presente, si può calcolare il calore sviluppato:

$$E = m \cdot \text{Pot. Calorifico inf.} \quad (2)$$

Dove E – energia, m – massa; Pot. Calorifico inf – potere calorifico inferiore.

Il potere calorifico del legno prescelto è pari a 4400 kcal/kg , ossia il valore standard utilizzato dalla normativa antincendio italiana.

$$E = 100.000 \text{ kg} \cdot 4400 \text{ kcal/kg} = 440.000.000 \text{ kcal} = 1,8 \times 10^6 \text{ MJ}$$

Possiamo ora stimare che 2/3 del calore sviluppato si sia sprigionato nella fase più intensa, che ipotizziamo pari a circa 2 ore (mentre tutto l'incendio è stato estinto nel corso di circa 9 ore). Otteniamo pertanto

$$W = E / \text{tempo} \quad (3)$$

Dove E – energia, W – potenza.

$$W = 1,2 \times 10^6 \text{ MJ} / 7200 \text{ s} = 250 \text{ MW}$$

3.5 Calcolo con formula di Heat Release Rate

La fase di crescita iniziale dell'incendio, in condizioni di non carenza di comburente, può essere descritta con la seguente relazione empirica [4]

$$HRR = \alpha \cdot (t)^2 \quad (4)$$

in cui **HRR** è il Rilascio di calore nell'unità di tempo, o Heat Release Rate, in KWatt, **t** è il tempo, in secondi, **α** è il coefficiente di HRR, kWatt/(secondi)².

Tipo di incendio	α (kW/s ²)
Incendio lento (incendio di pezzi di legno di grossa pezzatura, ecc)	0,0029
Incendio medio (incendio di legno, plastica, gomma, in pezzatura di media dimensione)	0,0117
Incendio veloce (carta, legno, plastica, in piccola pezzatura e facile ventilazione)	0,0469
Incendio ultraveloce (incendio di liquidi infiammabili)	0,1875

Tab.1. Valori standard di α (coefficiente di HRR)

Un primo calcolo lo possiamo fare assumendo

$$\alpha = 0,0469 \text{ kw/sec}^2 \text{ (curva veloce)}$$

$$HRR = 250 \text{ MW}$$

Si ottiene $t = 2308 \text{ s} = 38 \text{ minuti}$

Tale valore pare compatibile con quanto riferito sull'intervento.

Due ulteriori parametri da ricavare immediatamente sono la frazione radiante e la frazione convettiva della potenza sviluppata.

Il calore totale sviluppato dalla combustione di casi come quello in studio (incendio all'aperto) si può dividere in due parti: la parte che si trasmette per convezione e la parte che si trasmette per irraggiamento. La frazione radiativa varia in letteratura dal 20 % al 40 %, e simmetricamente la frazione convettiva varia dal 80 % al 60 %.

La frazione di calore irradiato dalle fiamme usata dalla maggioranza delle applicazioni ingegneristiche è 35 % del calore totale sviluppato dall'incendio, ed è pertanto il valore che utilizzeremo in questa sede. Conseguentemente la frazione di calore devoluta nella convezione sarà pari al 65 %.

Pertanto

$$HRR_{rad} = HRR \cdot 0,35 \quad (5)$$

$$HRR_{conv} = HRR \cdot 0,65 \quad (6)$$

$$HRR_{rad} = 250 \cdot 0,35 = 87,5 \text{ MW}$$

$$HRR_{conv} = 250 \cdot 0,65 = 162,5 \text{ MW}$$

3.6 Effetto del calore sulla struttura in acciaio

Per valutare l'effetto del calore sulla struttura in acciaio si possono utilizzare due grandezze fisiche diverse:

- 1) La temperatura di collasso
- 2) L'irraggiamento di collasso

Tali due grandezze ovviamente sono correlate tra loro, ma dal punto di vista pratico è più comodo utilizzare la prima, la temperatura, quando si considera la fiamma o i gas di combustione lambire la struttura metallica, mentre è più comodo utilizzare la seconda, ossia l'irraggiamento, quando la fiamma si trova ad una certa distanza dalla struttura metallica.

Per quanto riguarda la relazione tra temperatura e stabilità della struttura metallica si può usare l'equazione della norma UNI 9503 [5] [6] che mette in relazione il limite elastico dell'acciaio ad alta temperatura con quello a temperatura ordinaria.

$$f_{yT} / f_y = 1 + T / [767 \cdot \ln(T/1750)] \quad (7)$$

Dove

f_{yT} - limite convenzionale di snervamento dell'acciaio ad alta temperatura, f_y - tensione di snervamento a temperatura ordinaria, T - temperatura.

Ad esempio,

per $T = 210^\circ \text{C}$ si ottiene $f_{yT} / f_y = 0,87$.

E' più comodo però cercare direttamente in letteratura una temperatura di riferimento, da assumere come temperatura di collasso. Un intervallo di valori tratto da [7] quale temperatura di collasso è pari all'intervallo tra 300°C e 500°C . Quale valore prudenziale si può assumere il valore di 300°C .

C'è infine da aggiungere che i cavi elettrici nudi di un traliccio sono poi sicuramente più vulnerabili al calore rispetto alla struttura del traliccio, dato la loro sezione ridotta. Pertanto la temperatura di collasso dei cavi elettrici probabilmente andrebbe ulteriormente ridotta.

Come già detto, la temperatura di collasso è sicuramente di agevole uso quando più semplice è stabilire la temperatura raggiunta a causa dell'incendio.

Ma quando la struttura metallica si trova ad una certa distanza dal fuoco, ossia quando la trasmissione del calore non è dovuta alla conduzione o alla convezione, bensì all'irraggiamento, allora è più comodo cercare in letteratura il valore dell'irraggiamento di collasso, ossia il valore di irraggiamento che determina il collasso della struttura.

Il valore che si assume, tratto da [7], è pari a 100 kW/mq . C'è da aggiungere che tale valore deve essere mantenuto, a seconda del tipo di profilato metallico, per un intervallo di tempi da 15 a 50 minuti. Tale variabile temporale nel nostro caso non è tuttavia rilevante, visto che il tempo di durata dell'incendio è ben maggiore di 50 minuti.

3.6 Schematizzazione dell'incendio

Si può dividere lo spazio dell'incendio in tre zone:

- volume del materiale combustibile e delle sovrastanti fiamme (10 m x 10 m circa in pianta)
- colonna superiore alle fiamme, in cui si hanno i moti convettivi verso l'alto dei gas caldi della combustione (è di interesse l'altezza max dal suolo di 30 m)
- volume circostante, in cui avviene principalmente la trasmissione del calore per irraggiamento

Nel volume 1 la temperatura è quella delle fiamme: si raggiungono valori elevati, sicuramente superiori ai 300°C posti come valore limite. Tali valori sono stimabili in base a valori di letteratura, oppure mediante esame visivo del colore delle fiamme.

Colore della fiamma	Temperatura (°C)
Rosso nascente	525
Rosso scuro	700
Rosso ciliegia	900
Giallo scuro	1100
Giallo chiaro	1200
bianco	1300
Bianco abbagliante	1500

Tab.2. Scala cromatica delle temperature di combustione dei gas.

Nel volume 2, che si eleva fino a 30 m di altezza, la temperatura è quella dei gas di combustione, che si elevano in verticale. Il valore della temperatura dei gas lungo l'asse centrale della fiamma è stimabile mediante formule ricavate da dati sperimentali.

Si utilizza la seguente formula [4]:

$$\Delta T = A \cdot (HRR_{conv})^{2/3} \cdot (Z - Z_0)^{-5/3} \quad (8)$$

dove: A – costante, pari a $25,0 \text{ } ^\circ\text{K m}^{5/3} \text{ kW}^{-2/3}$; ΔT – differenza di temperatura gas/ambiente; Z – altezza sopra la sorgente di fuoco; Z_0 – locazione della sorgente del fuoco virtuale.

Adottando un valore medio di ubicazione del fuoco virtuale, Si ricava $\Delta T = 257^\circ \text{ C}$, ossia un valore dei gas di combustione pari a 277° C : tale valore non è sostenibile per i cavi elettrici e probabilmente anche per le strutture metalliche.

Se ne ricava che nelle zone 1 e 2 la temperatura raggiunta nell'incendio conduce al collasso delle strutture e dei cavi.

Più complesso è il caso della zona 3. In essa occorre valutare come varia l'irraggiamento in relazione alla distanza.

Noi usiamo il metodo di Lawson e Quintiere [4], che utilizza un semplice modello a emisfera, basato su correlazioni ottenute da dati sperimentali.

$$Q_{rad} = HRR_{rad} / (4\pi R_0^2) \quad (9)$$

Dove Q_{rad} – energia radiante al mq, R_0 – distanza dal centro fiamma.

Misure sperimentali indicano che tale formula è buona per

$$R/R_0 > 4 \quad (10)$$

Dove R – raggio della base della fiamma (nel nostro caso $R = 5 \text{ m}$). Invece quando il rapporto è inferiore a 4 il metodo tende a sottostimare il flusso di calore incidente.

Per $R = 10 \text{ m}$ si ottiene $Q_{rad} = 70 \text{ kW/mq}$, valore che deve essere inteso come sottostimato, e non accettabile ai fini di sicurezza.

Per $R = 20 \text{ m}$ si ricava $Q_{rad} = 17 \text{ kW/mq}$, valore sopportabile per la struttura metallica.

Tale valore conferma la bontà delle determinazioni del Comando VVF: la distanza di sicurezza imposta è adeguata alla protezione dall'irraggiamento conseguente all'incendio.

Un ulteriore ultimo aspetto, che non si sviluppa in questa sede, è la determinazione di una ideale distanza di sicurezza.

Tale aspetto è lasciato a futuri sviluppi. Comunque occorre approfondire due aspetti [8]:

- la validazione del metodo
- il margine di sicurezza da introdurre

Occorrerà infatti ancora procedere a stabilire quale è il margine di errore insito nei valori determinati con i modelli applicati, in modo da stabilire l'intervallo di validità delle distanze così determinate, e poi stabilire un ulteriore margine di sicurezza.

4. CONCLUSIONI

Se si esaminano i vari aspetti giuridici emersi nel contenzioso amministrativo (sicurezza vs. libertà d'impresa, applicabilità delle prescrizioni, strumento dell'ordinanza e immediatezza del pericolo, etc), in generale emerge la difficoltà di stabilire una distanza di sicurezza qualora non si disponga di norme di sicurezza specifiche.

Tra le possibili strade per giungere alla tutela della sicurezza in un quadro di responsabilità e rischi più chiaro e condivisibile dalle varie parti, una percorribile è quella delle metodologie della Fire Safety Engineering.

Si tratta di un metodo che ha vari limiti:

- 1 la complessità di calcolo
- 2 l'incertezza insita nei margini di errore
- 3 la mancanza di ancoraggi sicuri nella normativa vigente.

Tuttavia è una strada che permette di valutare effettivamente quale è l'entità del danno possibile. In conclusione, si ritiene che le metodologie del Fire Safety Engineering possano essere un efficace ausilio nella tipologia di casi esaminata in questo articolo.

RIFERIMENTI

- [1] Eco di Bergamo, giornale quotidiano edizione del 6 maggio 2003
- [2] Tribunale Amministrativo Regionale della Lombardia, sezione di Brescia, siti internet www.tarbrescia.it e www.giustizia-amministrativa.it
- [3] Colombo, *Il manuale dell'ingegnere*, 1994
- [4] NFPA, *Fire Protection Handbook*, 2003
- [5] Norma UNI 9503: *Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi in acciaio*, 1989
- [6] Manuale CNR n. 192: *Istruzioni per la progettazione di costruzioni resistenti al fuoco*, 1999
- [7] TNO, *Methods for the determination of possible damage*, 1992
- [8] Richard L.P. Custer and Brian J. Meacham, *Introduction to Performance-Based Fire Safety*, Society of Fire Protection Engineers and National Fire Protection Association, 1997