

Limiti di infiammabilità

Durante un incendio vi è la formazione di fumo. Il fumo è un miscuglio piuttosto eterogeneo composto da gas diversi. Quando ad un certo punto compaiono delle fiamme nello strato di fumo ci si potrebbe chiedere, perché l'accensione avviene proprio in quel momento specifico? E perché si verifica in quella specifica posizione? La risposta più semplice è che in quel momento si è chiuso un "triangolo del fuoco completo". La miscela di combustibile (in forma gassosa) e ossigeno ha raggiunto la temperatura necessaria perché vi sia un'autoaccensione. Molti vigili del fuoco hanno dei problemi a comprendere appieno questo concetto. Come funziona veramente? Perché una certa miscela è in un primo momento troppo magra e poco dopo diviene troppo ricca? Questo articolo si propone di spiegarlo in modo comprensibile.

1.1 Limite di infiammabilità o di esplosività

I limiti di infiammabilità o esplosività sono un concetto importante per comprendere appieno il comportamento al fuoco. Durante l'incendio a causa del processo di pirolisi vi è la formazione di combustibile gassoso. Questi gas di pirolisi si possono mescolare con gli altri gas presenti. Quando si forma una quantità sufficiente di gas infiammabile, si raggiunge il limite inferiore di esplosività. Il limite inferiore di esplosività (LEL in inglese e LIE in Italiano) e il limite inferiore di infiammabilità (LFL in inglese e LII in Italiano) sono due modi diversi di esprimere lo stesso concetto (almeno per i gas e i vapori). Molti vigili del fuoco hanno probabilmente visto la sigla LEL su un rivelatore di multigas ("esplosimetro"). In questo articolo, io userò la definizione di limite inferiore di infiammabilità, perché meglio si adatta ai concetti intesi. Il momento in cui una miscela di gas di combustione (fumo) e di aria oltrepassa il limite inferiore, può essere innescata. Una miscela presente in un locale che sia appena al di sopra del limite inferiore non esplose. Al massimo, avviene una combustione lenta. Un fatto importante da tenere a mente è che questo articolo, in sostanza, parla di incendi e di gas prodotti da un incendio. I gas d'incendio contengono meno energia rispetto al metano. Il metano è il gas che viene utilizzato più avanti per spiegare i principi che regolano questi fenomeni.



Figura 1 Accensione di una miscela di gas e aria. Nella foto a sinistra, accensione è appena avvenuta. Il fronte di fiamma si muove in modo circolare in tutte le direzioni. L'immagine di destra mostra un aumento del volume delle fiamme. (Photo's: Karel Lambert)

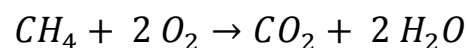
Quando poi, l'infiammabilità della miscela aumenta, la percentuale di gas infiammabili nella miscela aumenterà. Ad un certo punto, vi sono così tanti gas infiammabili che la miscela non può più essere incendiata. Questo è chiamato limite superiore di esplosività (UEL, LSE in italiano), o il limite superiore di infiammabilità (UFL, LSI in Italiano).

Le miscele di ossigeno e combustibile che si trovano entro questi limiti sono infiammabili. Possono incendiarsi (vedi figura 1 e 2). Da qualche parte tra questi due limiti vi è la miscela ideale. Questa è la miscela che causa l'esplosione più violenta. L'articolo ora approfondirà i limiti di esplosione del metano. Sappiamo tuttavia che il fumo prodotto da un incendio è costituito da molti prodotti differenti. Nonostante questo il metano ci è d'aiuto per descrivere i principi dei limiti di infiammabilità.

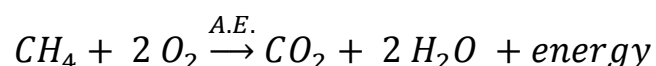


Figura 2 Queste foto mostrano il resto del processo di reazione illustrato nella figura 1. La foto a sinistra mostra la fiamma diffondersi quanto più possibile. Questo fenomeno si vede anche nella foto di destra. In questo modo, le fiamme si stanno diffondendo lungo l'intero volume della miscela che si trova all'interno del campo di infiammabilità. (Photo's: Karel Lambert)

Qui sotto è espressa l'equazione chimica che descrive la combustione del metano. Metano (CH_4) è il nome scientifico del gas naturale, il gas che è utilizzato ad esempio in cucina. Il metano può essere acceso quando vi è ossigeno (O_2). Tipicamente, entrambi i componenti sono gassosi. In questa specifica equazione, vi è una molecola di metano che reagisce con due molecole di ossigeno. Dopo che la reazione è avvenuta, non c'è più metano o ossigeno. Si è avuta la formazione di una molecola di anidride carbonica (CO_2) e due molecole di acqua (H_2O). Una miscela in cui tutto l'ossigeno e tutto il combustibile sia bruciato, è chiamata miscela stechiometrica. Questo è un altro nome per definire la miscela ideale.



Tuttavia, queste due sostanze non sono gli unici prodotti della reazione. La combustione del metano è una reazione esotermica. Ciò significa che viene rilasciata dell'energia. Prendiamo in esame una miscela formata da metano e ossigeno. In questa miscela vi sono due molecole di ossigeno per ogni molecola di metano. Supponendo che in totale venga bruciato un chilogrammo di metano, vi sarà la produzione di 50 MJ (MegaJoule) di energia. Se necessario nella bibliografia scientifica si possono trovare informazioni approfondite su questo argomento.



La reazione non si avvia da solo però. Se si dovesse aprire il gas della stufa della cucina di casa, il gas naturale inizierebbe a fluire. Il gas si mescolerebbe con l'aria, ma non avremo una combustione spontanea. Questo perché è richiesta una fonte di innesco. L'ossigeno e il gas naturale hanno entrambi una temperatura di circa 20°C. L'energia di accensione causerà un aumento di temperatura fino ad un livello specifico, che sia sufficientemente alto per avviare la reazione. Questo livello specifico è definito: temperatura di accensione. Più alta è la temperatura iniziale di entrambi i gas, minore è l'energia di accensione richiesta. In altre parole, è richiesta più energia durante l'inverno con una temperatura esterna di -20°C per accendere la miscela, di quello che serve in estate con una temperatura esterna di 30°C. Dopo tutto, la miscela deve essere riscaldata per 50°C in più

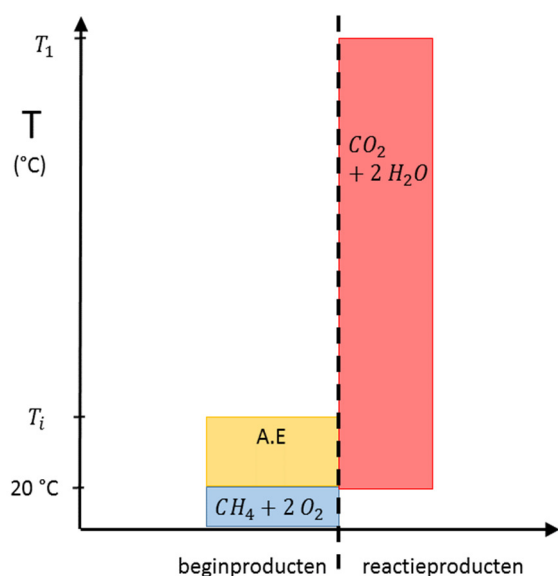


Figura 3 Illustrazione grafica della combustione ideale del metano con ossigeno puro. I due prodotti (metano e ossigeno) sono a temperatura ambiente ($20^\circ C$). Aggiungendo una certa quantità di energia di attivazione la reazione può avvenire. I prodotti di reazione vengono riscaldati alla loro temperatura finale. (Drawing: Karel Lambert)

durante l'inverno. Questo è un fattore importante, perché i fumi di un incendio (il nostro combustibile gassoso), possono avere temperature molto diverse. Più alta è la temperatura dei fumi, meno energia sarà necessaria per innescare il fumo. Questa energia è chiamata energia di attivazione (AE).

L'energia che viene prodotta durante la reazione chimica, fa sì che la temperatura dei prodotti di reazione sia superiore della temperatura dei gas all'inizio della reazione. L'energia chimica contenuta all'interno del metano è stata convertita in energia termica. In realtà, è più corretto affermare che l'energia viene rilasciato durante la reazione. Prima che avvenga il processo reazione, l'energia è immagazzinata nel gas metano. Nel linguaggio di tutti i giorni, diciamo semplicemente che l'energia viene prodotta. Tale formulazione è utilizzata anche in questo articolo.

L'energia che si è liberata, è distribuita tra i prodotti di reazione: CO_2 e acqua.

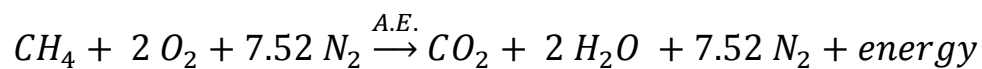
Quando l'accensione avviene, da qualche parte nella miscela, si ha una produzione di calore. Questo calore si diffonde verso le molecole vicine. Il calore prodotto serve come energia di attivazione per le molecole confinanti. Ciò provoca una reazione a catena. La fiamma che si forma si diffonde a tutta la miscela (vedere Figura 1 e Figura 2).

È possibile illustrare questo concetto con un disegno. La figura 3 mostra la temperatura sull'asse verticale. I prodotti iniziali sono elencati in blu: CH_4 e ossigeno. In questo caso particolare, i prodotti iniziali hanno una temperatura di $20^\circ C$. Questa è anche la temperatura iniziale della reazione. La superficie del rettangolo blu nell'area raffigura l'energia immagazzinata all'interno dei due gas. Ciò significa che non è l'asse X che rappresenta l'energia. L'energia viene rappresentata da un'area. L'asse X ha i prodotti iniziali a sinistra della linea tratteggiata. Sulla destra della linea tratteggiata vi sono i prodotti della reazione.

Come detto sopra, una certa quantità di energia di attivazione deve essere fornita ai gas. Perché questo avvenga abbiamo bisogno di una fonte di accensione. Questa può essere una scintilla, un fiammifero, una superficie riscaldata, ecc. La quantità di energia che deve essere fornita, è rappresentata dal rettangolo arancione. Dell'energia dovrà essere aggiunta finché i prodotti iniziali non hanno raggiunto una determinata temperatura: la temperatura di accensione T_i . La reazione è rappresentata dalla linea tratteggiata nera. Ancora una volta, a sinistra della linea tratteggiata vi sono i prodotti iniziali, a destra sono i prodotti formati durante la reazione. Durante la reazione, una quantità enorme di energia viene prodotta. Questa energia è utilizzata per riscaldare i prodotti di reazione. La figura 3 mostra che la temperatura finale del CO_2 e dell'acqua è notevolmente superiore alla temperatura iniziale. La temperatura dei prodotti di reazione è rappresentata dal punto T_1 .

L'energia prodotta dalla reazione è illustrata dalla superficie del rettangolo rosso. Questa è l'energia termica prodotta dal processo di combustione. Va detto che l'asse verticale non è in scala. Se il rettangolo rosso fosse disegnato nelle sue dimensioni reali, sarebbe di parecchi metri invece dei pochi centimetri che sono disegnati al momento. Ciò significa che tutte le illustrazioni seguenti mostrano una temperatura dei prodotti di reazione che è "troppo bassa" rispetto alla realtà.

Se pensiamo alla nostra stufa della cucina, avviene qualcosa di diverso da quanto descritto sopra. In cucina, il metano non brucia ossigeno puro. La miscela contiene anche l'azoto (N_2) accanto al metano e all'ossigeno. L'aria nel nostro ambiente è costituito da 21% di ossigeno e 79% di azoto. Ciò significa che per ogni molecola di ossigeno, ci sono 3,76 molecole di azoto presenti. L'equazione chimica per la combustione del metano in aria è quindi:



Anche la rappresentazione di questa reazione è cambiata. Ad entrambe le estremità, si è aggiunto un elemento supplementare. La Figura 4 rappresenta l'azoto con due rettangoli verdi. L'azoto è presente prima che avvenga la combustione. E anche se non partecipa alla reazione chimica, vi è la necessità di riscaldarlo fino a T_i . Dopo tutto, la natura si sforza di tenere tutto uniformemente caldo o freddo. Se vogliamo accendere la miscela (o in altre parole: se vogliamo riscaldare la miscela alla sua temperatura di accensione), quindi dovremo aggiungere più energia di quanto non serva ad una miscela di ossigeno-metano. Il disegno permette di comprendere chiaramente questo aspetto. La superficie del rettangolo arancione è notevolmente maggiore. Una miscela di metano e aria richiede quindi una fonte di accensione più potente di una miscela di metano e ossigeno.

Anche il risultato della combustione risulta diverso. L'azoto non partecipa alla reazione chimica e lo si ritrova quindi anche dopo. Una miscela di CO_2 , acqua e azoto è il risultato della combustione. Dal momento che la reazione coinvolge la stessa quantità di metano, l'energia prodotta è esattamente la stessa della situazione precedente. Tuttavia, la quantità di calore prodotta ora deve essere distribuita tra i tre diversi prodotti finali. L'azoto assorbe una grande quantità di calore. La Figura 4 mostra anche che la temperatura finale del processo di reazione è inferiore a quella di figura 3: $T_2 < T_1$. La superficie complessiva dei rettangoli rossi e verdi in figura 4 è uguale a quella del rettangolo rosso nella figura 3. Questo può essere chiaramente visto nel disegno.

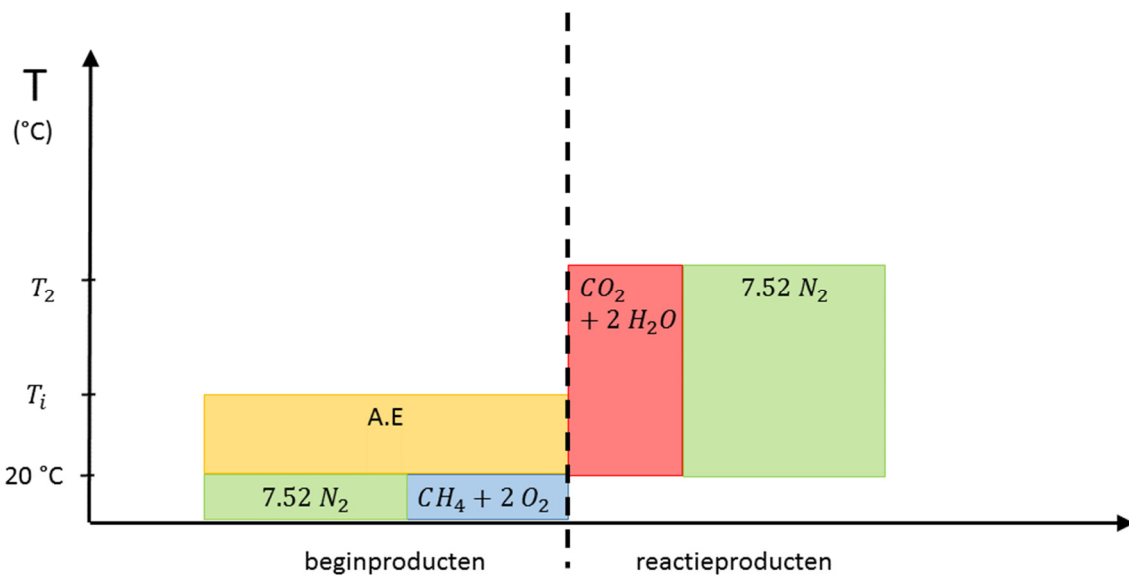
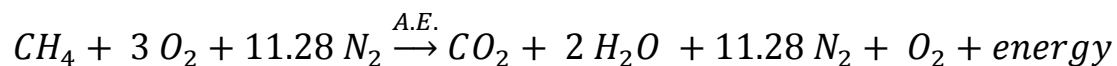


Figura 4 Rappresentazione grafica della combustione ideale del metano in aria. I rettangoli verdi rappresentano l'azoto che non partecipa al processo di combustione. La temperatura dei prodotti di reazione a destra della linea tratteggiata è inferiore che nel disegno precedente. La superficie dei rettangoli rossi e verdi sulla destra della linea tratteggiata, rappresenta l'energia termica. (Drawing: Karel Lambert)

Entrambe le reazioni sopra descritte prevedono delle miscele ideali. Nella realtà è molto raro avere una miscela ideale. Molto più facile ci sia troppo combustibile, o non sufficiente ossigeno e questo influenza la reazione. Supponiamo ora vi siano tre molecole di ossigeno disponibili invece di due. La reazione sarà quindi:



Vi sono sia ossigeno che azoto in eccesso nella miscela. Per ogni molecola di ossigeno ci sono 3,76 molecole di azoto nella miscela. Questo significa che ora, sono presenti 11,28 molecole di azoto. La reazione cambia nuovamente. Tra i prodotti di reazione, ora possiamo trovare la molecola di ossigeno in eccesso. E come prima, questo modifica la rappresentazione grafica.

A sinistra della linea tratteggiata in figura 5 vi sono i prodotti iniziali. Anche in questo caso il rettangolo blu rappresenta i prodotti che prendono parte al processo di combustione: il metano e l'ossigeno necessario per bruciare quella quantità di metano. Il rettangolo verde raffigura l'azoto. Tuttavia la quantità di azoto è maggiore e per questo il rettangolo verde è ora più ampio. Il rettangolo viola indica le molecole di ossigeno in eccesso. In questo caso abbiamo a che fare con una miscela magra. Ciò significa che c'è meno combustibile presente che in una situazione ideale. Il rettangolo arancione è ancora una volta di dimensioni maggiori. Dopo tutto, tutti i prodotti iniziali devono essere riscaldati a T_i . Compreso l'ossigeno che non partecipa alla reazione chimica.

A destra della linea tratteggiata in figura 5, vi sono i prodotti finali della reazione. Il rettangolo rosso mostra i prodotti che sono il risultato del processo di combustione. Questi sono i medesimi dei disegni precedenti. Oltre a questi, vi è l'azoto (rettangolo verde) e l'ossigeno (rettangolo viola) che non partecipano al processo di reazione. L'energia che

viene prodotta, è uguale a quella delle situazioni precedenti. La superficie del rettangolo rosso nella figura 3 è uguale alla superficie complessiva dei rettangoli rossi, verdi e viola in Figura 5. Confrontando tutti i disegni, diventa chiaro che la temperatura dei prodotti di reazione diminuisce ulteriormente quanti più elementi debbono essere riscaldati: $T_3 < T_2 < T_1$.

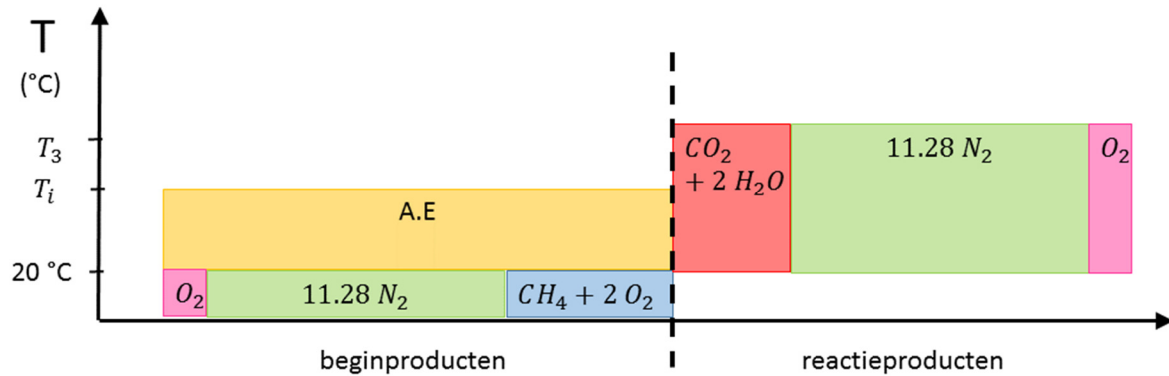


Figura 4 Illustrazione grafica della combustione del metano con un surplus di aria. I rettangoli viola rappresentano l'ossigeno in eccesso. I rettangoli verdi sono più larghi rispetto al disegno precedente. La temperatura finale dei prodotti di reazione, alla destra della linea tratteggiata, è inferiore rispetto al disegno precedente. La superficie globale dei rettangoli che illustrano i prodotti di reazione, è uguale all'energia termica prodotta dalla combustione. (Drawing: Karel Lambert)

La temperatura dei prodotti di reazione funge da fonte di accensione per i gas circostanti. Questo significa che i prodotti di reazione devono fornire l'energia di attivazione per accendere i gas accanto a loro. I disegni precedenti mostrano che l'energia di accensione (AE) richiesta, è ogni volta maggiore. Allo stesso tempo, possiamo vedere che la temperatura finale della combustione diminuisce in ogni disegno ($T_3 < T_2 < T_1$). Ad un certo punto, c'è così tanto ossigeno in eccesso (e azoto), che i prodotti di reazione non sono più abbastanza caldi per agire come fonte di accensione per i gas circostanti. Inoltre non è più possibile la formazione di un fronte di fiamma. Per una miscela con troppa aria in rapporto con la quantità di combustibile presente, questo avviene quando viene raggiunto il limite inferiore di esplosività o di infiammabilità.

Dopo la figura 4, è possibile aggiungere ulteriore CH_4 invece che ossigeno. Al termine del processo di reazione vi è un eccesso di metano al posto dell'ossigeno. Mentre la quantità di azoto rimane la stessa. Il metano in eccesso dovrà essere riscaldato dall'energia di attivazione. Anche in questo caso tale processo richiede più energia di attivazione dal momento che è ora presente una quantità maggiore di metano. Il metano in eccesso non coinvolto, assorbe parte dell'energia prodotta. Ciò fa sì che la temperatura generale dei prodotti di reazione sia minore. Ad un certo punto, questo conduce ad una miscela con così tanto metano, che risulta impossibile la formazione di un fronte di fiamma. Quel punto equivale al limite superiore di esplosività o di infiammabilità.

I limiti di esplosività sono espressi in termini di volume per cento. Il limite inferiore di esplosività (LEL) indica la percentuale di combustibile in aria che vi deve essere per avere una miscela infiammabile. Il limite superiore di esplosività (UEL) indica la percentuale di combustibile in aria al fine che non vi sia più miscela infiammabile.

Sostanze	LEL or LFL (Vol %)	UEL or UFL (Vol %)
Idrogeno	4	75
Monossido di carbonio	12,5	74
Metano	5	15
Etano	3	12,4
Propano	2,1	9,5
Butano	1,8	8,4
Metanolo	6,7	36
Etanolo	3,3	19
Acetone	2,6	13

Il metano è un gas comunemente noto come gas naturale. Il limite inferiore di esplosività è del 5%. Ciò significa che una miscela con il gas naturale appena sufficiente da innescare è composta da: 5% metano e 95% aria o, in altre parole, 5% di metano, 19,95% di ossigeno e azoto 75,05%. Il limite di superiore di esplosività è del 15%. I valori per entrambi i limiti sono arrotondati. Talvolta in letteratura si possono trovare valori leggermente diversi.

1.2 Zavorra termica (Thermal ballast)

Quando guardiamo i disegni qui sopra, possiamo vedere che la quantità di gas, che non partecipa al processo di combustione, è via via sempre maggiore. Questi gas agiscono come degli "scrocconi". Essi non contribuiscono al processo, ma vogliono essere riscaldati dall'energia di attivazione. Ciò comporta l'apporto di una maggiore energia di attivazione per innescare la miscela. Successivamente, vogliono essere riscaldati dall'energia che viene prodotta dalla reazione. Questo comporta il raggiungimento di temperature finali più basse.

Questo effetto viene descritto come zavorra termica (thermal ballast). Le molecole che non partecipano sono una zavorra nel processo chimico. Esse rendono più difficile ottenere una combustione decente. Quando c'è una zavorra sufficiente diventa impossibile avere una combustione.

La zavorra termica è un concetto importante per i vigili del fuoco. Un esempio non menzionato nella sezione precedente, è l'aggiunta di vapore. Quando i vigili del fuoco iniziano un attacco interno, debbono raffreddare i gas. Per ottenere ciò, gocce d'acqua molto piccole vengono inserite nello strato di fumo. Le gocce d'acqua passando di stato da liquido a vapore assorbono energia estraendola dallo strato di fumo. Il vapore è un gas che si mescola con il fumo. Ciò significa che un rettangolo supplementare dovrà essere aggiunto alla destra nei disegni sopra. Il vapore non partecipa al processo di reazione, ma assorbe parte dell'energia di attivazione e parte dell'energia prodotta dalla reazione. Inserendo vapore in una miscela la si può rendere non infiammabile.

In realtà la zavorra assorbe calore dal processo di combustione. Tutto il calore che viene assorbito dalle molecole che non partecipano nella combustione, è "perso" per quel processo di combustione.

È interessante osservare dove è diretta l'energia prodotta. In caso di incendio o in una reazione di combustione (come ad esempio la fiamma di una candela), l'energia viene

prodotta esattamente nel luogo in cui avviene la combustione. Successivamente, questa energia si diffonde per conduzione, convezione ed irraggiamento. Quando troppa energia scompare dalla zona di reazione la combustione si arresta.

Questo effetto può essere studiato con l'aiuto di una candela. Una candela brucia con una fiamma di diffusione laminare. Ciò significa che ossigeno e combustibile sono costantemente mescolati sulla superficie fiamma. Questo comporta che l'estremità superiore della fiamma è "accesa" dall'energia prodotta all'estremità inferiore della fiamma. Quando un pezzo di rete fine di metallo viene posto nel mezzo della fiamma, la fiamma viene tagliata. Questo avviene perché la rete metallica assorbe e reindirizza il calore della fiamma. I gas infiammabili continuano a salire attraverso le maglie, ma trasferiscono il loro calore al metallo, che poi lo cede a sua volta all'ambiente circostante. Al di sopra della rete vi è ancora una miscela di ossigeno e di combustibile, ma non vi è più energia sufficiente per accendere la miscela. Questo fenomeno è chiamato quenching.

Nell'incendio di un compartimento possiamo riscontrare questo fenomeno in diverse situazioni. Le pareti del locale in cui vi è un incendio, per esempio, agiscono parzialmente come la rete metallica. La loro influenza sul fuoco è tuttavia più complessa. All'inizio dell'incendio, i muri assorbono calore. La quantità esatta dipende dalle proprietà strutturali delle pareti stesse. Dopo qualche tempo, la superficie delle pareti diventerà molto calda. L'assorbimento di calore quindi diminuirà. Questo non è lo stesso per reticella metallica, il metallo ha una fantastica proprietà di conduzione del calore. La maggior parte dei materiali utilizzati nella costruzione non hanno queste proprietà. Ecco perché l'assorbimento di calore delle pareti cambia dopo un po' di tempo.

Altra situazione in cui è possibile ritrovare questo fenomeno avviene quando i vigili del fuoco spruzzano gocce d'acqua nelle fiamme. Ogni singola goccia può assorbire una certa quantità di energia. Quando due gocce sono vicine l'una all'altra, viene assorbita così tanta energia che la fiamma ha difficoltà a passare attraverso di esse. Una nebbia di goccioline d'acqua in movimento attraverso un fronte di fiamma agisce come una rete metallica che attraversa la fiamma di candela. La nebbia di goccioline è in grado di abbassare sufficientemente la temperatura fino a spegnere una fiamma.

La zavorra termica funziona anche viceversa. La figura 4 illustra la combustione del metano in aria. Entrambi i gas sono a temperatura ambiente all'accensione. L'energia di attivazione deve riscaldare sufficientemente i gas in un punto specifico per innescare la reazione.

Finora abbiamo utilizzato il metano per illustrare l'infiammabilità del fumo. Il fumo però si trova raramente a temperatura ambiente. La temperatura dei fumi è determinata dal HRR dell'incendio. Quando il fumo caldo salendo si allontana dall'incendio, si mescola con l'aria. Questo fa sì che il fumo si raffreddi. La figura 6 illustra la combustione ideale di metano ed aria. Opposta alla figura 4, la miscela di gas e aria è ora ad una temperatura superiore alla temperatura ambiente. La temperatura della miscela è di 200°C. Quando guardiamo la Figura 6 comparandola alla 4, notiamo che è necessaria una minore energia di attivazione. La superficie del rettangolo arancione è più piccola. Per di più, la temperatura finale dei prodotti è maggiore di 180°C. Dopo tutto, la stessa quantità di energia è prodotta durante la combustione. Poiché la temperatura iniziale è maggiore di 180°C a quella della figura 4, la temperatura finale sarà di 180°C superiore. Ciò è raffigurato dai rettangoli verde e rosso che raggiungono un punto più elevato sull'asse in figura 6 che in figura 4: $T_4 > T_2$.

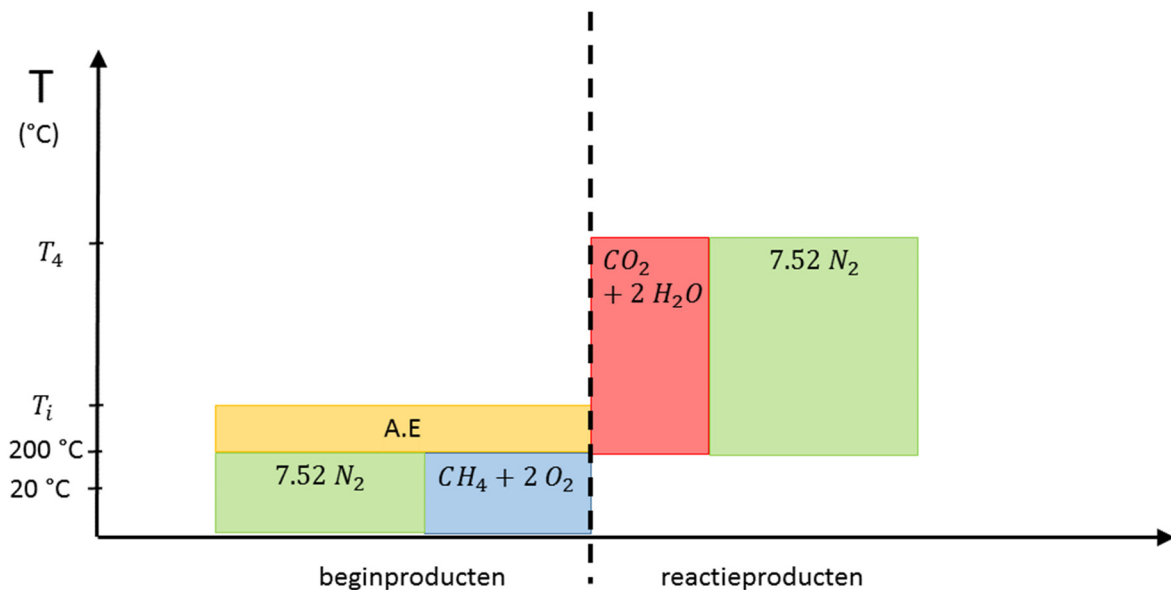


Figura 5. Illustrazione grafica della combustione ideale del metano in aria. Entrambi gli elementi hanno una temperatura iniziale di 200°C. Ciò significa che l'energia di attivazione sarà inferiore a quella necessaria ad innescare una miscela a temperatura ambiente. Questo è rappresentato dal rettangolo arancione avente una minore superficie che in figura 4 (*Drawing: Karel Lambert*)

Un altro aspetto importante di una temperatura iniziale superiore, è che il campo di infiammabilità si allarga. La quantità di energia di attivazione necessaria è diventata minore.

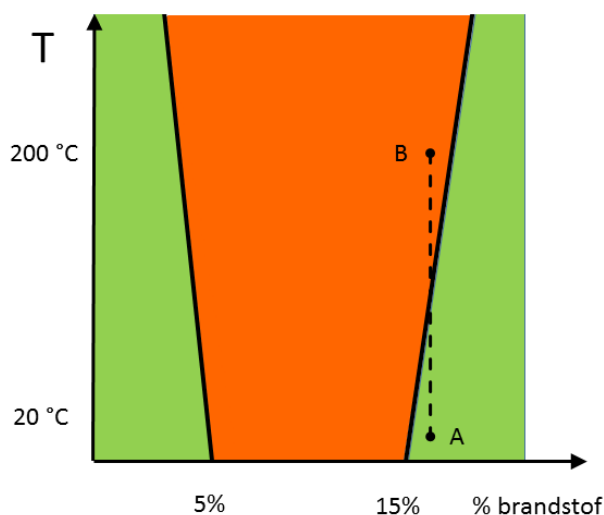


Figure 6 I limiti di esplosività del metano disegnati in funzione della temperatura. La miscela è infiammabile nel punto A. Quando la miscela viene riscaldata da 20°C a 200°C, rientra il punto B. Il punto B è all'interno del campo di infiammabilità. (*Drawing: Karel Lambert*)

Nei paragrafi precedenti, abbiamo visto che determinate miscele non potevano più essere accese in quanto la combustione non fornisce sufficiente energia di attivazione alle altre molecole. Una miscela che non può essere accesa a 20°C, poiché l'energia di attivazione necessaria è superiore alla energia prodotta, può però essere innescata a 200°C. La quantità di energia prodotta è rimasta la medesima, ma l'energia di attivazione richiesta è diventata minore. Questo significa che il campo di infiammabilità si espande quando la temperatura aumenta. Questo aspetto è particolarmente importante durante le operazioni antincendio. Dopo tutto, i vigili del fuoco operano in genere a temperature molto elevate. La Figura 7 mostra come una miscela con più del 15% di metano (punto A) non è infiammabile

alla temperatura di 20°C. Quando la miscela viene riscaldata, a un certo punto diventerà infiammabile. Possiamo vedere chiaramente che il punto B si trova all'interno del campo di infiammabilità mentre il punto A è al di fuori. L'unica cosa che è cambiata, è la temperatura.

1.3 Osservazioni conclusive

Dobbiamo sottolineare che i paragrafi qui sopra sono una rappresentazione semplificata della realtà. Il metano viene utilizzato perché risulta essere utile ai fini della comprensione. Questo perché il metano è il gas utilizzato nelle cucine e tutti lo conoscono.

Durante un incendio però, la miscela infiammabile, non è formata da metano e aria. La miscela è formata dai prodotti della combustione, dai gas di pirolisi entrambi miscelati con l'aria. I gas di un incendio sono costituiti da diversi componenti oltre a CO₂ e acqua. Gas come CO e HCN vengono prodotti assieme ad una serie di altri gas. Ognuno di questi gas ha la propria gamma di temperatura di infiammabilità e di autoaccensione. Per di più viene prodotta una grande quantità di gas di pirolisi. Meno aria è disponibile per la combustione, maggiore sarà la produzione di questi gas. I gas di pirolisi si comportano diversamente rispetto al metano e ai prodotti della combustione.

Quindi, in realtà, la situazione è molto più complessa di quanto sopra descritto. Nonostante questo l'utilizzo del metano è utile per spiegare i limiti di infiammabilità. Questi limiti, a loro volta, sono molto importanti per comprendere i fenomeni dell'incendio, quali backdraft, FlashFire e smoke explosion. Questo è il motivo per il quale è utile che i vigili del fuoco approfondiscano la conoscenza sui campi di infiammabilità.

2 Bibliography

- [1] *Introduction to fire dynamics 2nd edition, Dougal Drysdale, 1999*
- [2] *CFBT-instructor course for the Attack Cell, Karel Lambert, 2016*
- [3] *International fire behavior and suppression course, Lars Ågerstrand, Zweden, 2016*

Karel Lambert