

Termini e definizioni generali relativi all'incendio

Combustione

Reazione chimica sufficientemente rapida di una sostanza combustibile con l'ossigeno accompagnata da sviluppo di calore, fiamma, di gas fumo e luce.

Incendio

Combustione sufficientemente rapida e non controllata che si sviluppa senza limitazioni nello spazio e nel tempo.

Fiamma

Combustione di gas con emissione di luce.

Combustibile

Sostanza solida, liquida o gassosa nella cui composizione molecolare sono presenti elementi quali il carbonio, l'idrogeno, lo zolfo, etc. .

Principi della combustione

La combustione può avvenire con o senza sviluppo di fiamme superficiali.

La combustione senza fiamma superficiale si verifica generalmente quando la sostanza combustibile non è più in grado di sviluppare particelle volatili.

Solitamente il comburente è l'ossigeno contenuto nell'aria, ma sono possibili incendi di sostanze che contengono nella loro molecola un quantità di ossigeno sufficiente a determinare una combustione, quali ad esempio gli esplosivi e la celluloidi.

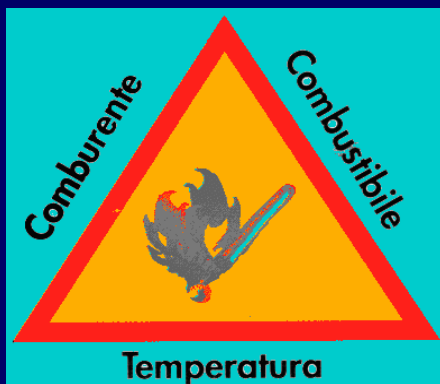
Condizioni necessarie per la combustione

presenza del combustibile

presenza del comburente

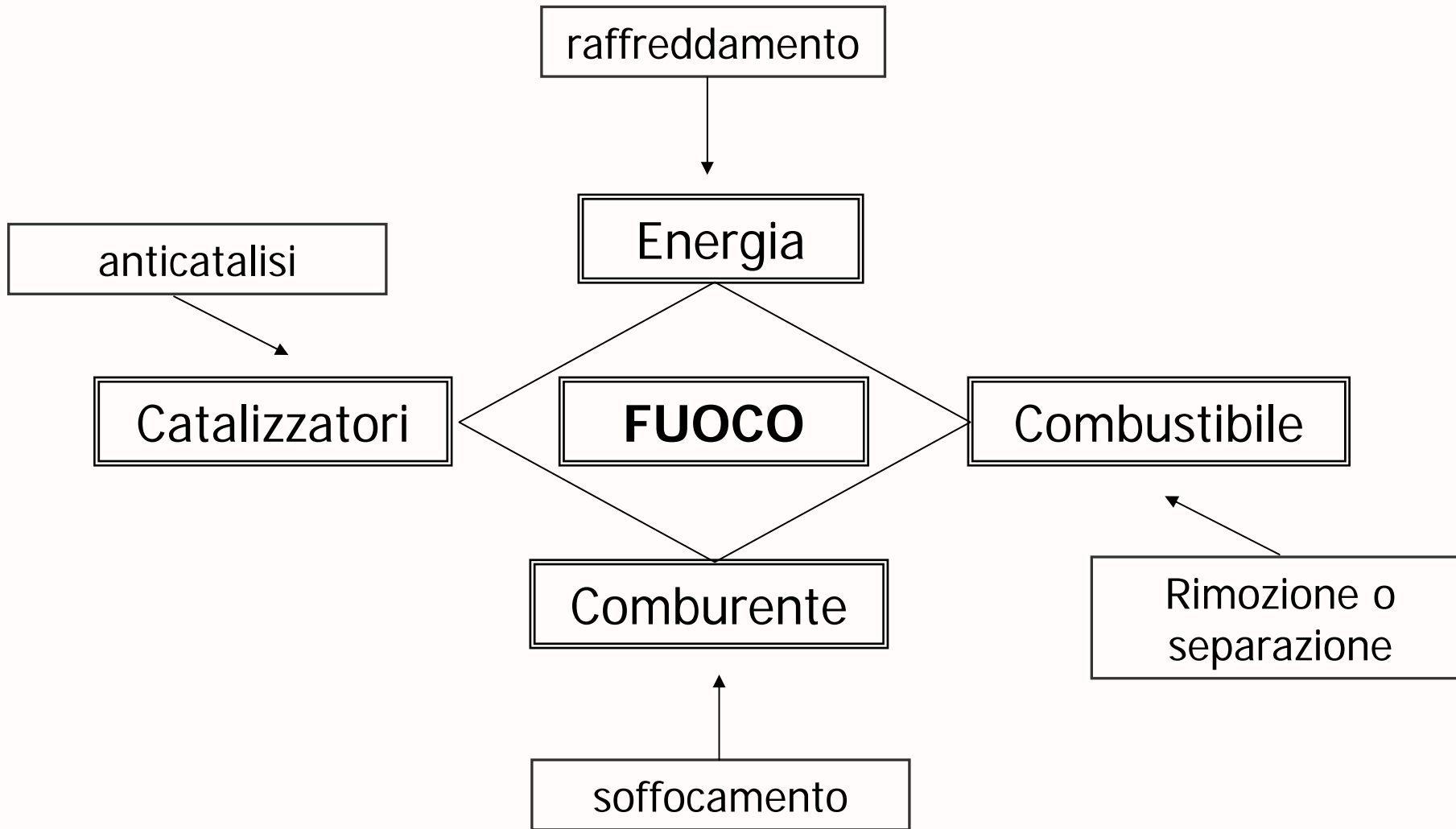
presenza di una sorgente di calore

Solo la contemporanea presenza di questi tre elementi dà luogo al fenomeno dell'incendio, e di conseguenza al mancare di almeno uno di



essi l'incendio si spegne.

QUADRILATERO DEL FUOCO



Modalità di spegnimento dell'incendio

Esaurimento del combustibile

Allontanamento o separazione della sostanza combustibile dal focolaio d'incendio

Soffocamento

Separazione del comburente dal combustibile o riduzione della concentrazione di comburente in aria

Raffreddamento

Sottrazione di calore fino ad ottenere una temperatura inferiore a quella necessaria al mantenimento della combustione

Classificazione degli incendi

Gli incendi vengono distinti in quattro classi, secondo lo stato fisico dei materiali combustibili, con un'ulteriore categoria che tiene conto delle particolari caratteristiche degli incendi di natura elettrica.



classe **A** - incendi di materiali solidi



classe **B** - incendi di liquidi infiammabili

classe **C** - incendi di gas infiammabili



classe **D** - incendi di metalli combustibili

classe **E** - incendi di materiali elettrici



La classificazione degli incendi consente l'identificazione della classe di rischio d'incendio a cui corrisponde una precisa azione operativa antincendio ovvero un'opportuna scelta del tipo di estinguente.

Le sorgenti d'innesco

Nella ricerca delle cause d'incendio, sia a livello preventivo che a livello di accertamento, è fondamentale individuare tutte le possibili fonti d'innesco, che possono essere suddivise in quattro categorie:

Accensione diretta

Quando una fiamma, una scintilla o altro materiale incandescente entra in contatto con un materiale combustibile in presenza di ossigeno.

Esempi: operazioni di taglio e saldatura, fiammiferi e mozziconi di sigaretta, lampade e resistenze elettriche, scariche statiche.

Le sorgenti d'innesco

Accensione indiretta

Quando il calore d'innesco avviene nelle forme della convezione, conduzione e irraggiamento termico.

Esempi: correnti di aria calda generate da un incendio e diffuse attraverso un vano scala o altri collegamenti verticali negli edifici; propagazione di calore attraverso elementi metallici strutturali degli edifici

Attrito

Quando il calore è prodotto dallo sfregamento di due materiali.

Esempi: malfunzionamento di parti meccaniche rotanti quali cuscinetti, motori; urti; rottura violenta di materiali metallici

Le sorgenti d'innesco

Autocombustione o riscaldamento spontaneo

Quando il calore viene prodotto dallo stesso combustibile come ad esempio lenti processi di ossidazione, reazioni chimiche, decomposizioni esotermiche in assenza d'aria, azione biologica.

Esempi: cumuli di carbone, stracci o segatura imbevuti di olio di lino, polveri di ferro o nichel, fermentazione di vegetali.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA O AUTOCOMBUSTIONE

Se però l'accensione spontanea è causata da una violenta reazione chimica esotermica con sviluppo di calore tale da provocare l'incendio della sostanza o delle sostanze presenti, è più esatto parlare di incendi provocati da reazioni pericolose e non da autocombustione.

Esempi

✓ fosforo

✓ altri componenti del fosforo

...che esposti all'aria s'incendiano spontaneamente.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA O AUTOCOMBUSTIONE

Inizialmente

...lenta reazione di ossidazione o processo di fermentazione, con una certa produzione di calore

Successivamente....., dopo giorni o settimane, la temperatura della sostanza può crescere fino a raggiungere valori tali da originare un vero e proprio incendio.

In non pochi casi il processo si sviluppa senza effetti dannosi....
..... quando il calore prodotto viene dissipato da una sufficiente ventilazione e la massa non raggiunge mai una temperatura tale da dare inizio ad una ossidazione rapida.

Quando il materiale è ammucchiato in quantità, senza essere però troppo compatto, si ha la maggiore probabilità che si sviluppi un incendio.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA OD AUTOCOMBUSTIONE

La maggiore probabilità che si sviluppi un incendio si ha quando il materiale è ammucchiato:

- ✓ in quantità
- ✓ in modo non troppo compatto.

Fattore determinante \Rightarrow ventilazione

Quando l'apporto di aria fresca corrisponde più o meno esattamente alla quantità di comburente necessaria si ha

- ✓ massima velocità di combustione
- ✓ massima produzione di calore
- ✓ minima dispersione.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA O AUTOCOMBUSTIONE

Minore flusso di aria \Rightarrow minore quantità di calore generato

Eccesso d'aria \Rightarrow facilita la dispersione

La completa mancanza di ventilazione può essere un valido mezzo per prevenire l'incendio, sempre che non siano presenti delle sostanze ossidanti.

Modesti quantitativi di materiali possono quindi essere contenuti in recipienti metallici a tenuta, con tutta sicurezza.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA O AUTOCOMBUSTIONE

Un altro fattore che può aumentare il rischio di incendio provocato dall'autocombustione è un' alta temperatura del materiale stesso o del locale in cui si trova.

Si può verificare che un materiale con scarsa tendenza all'autocombustione, in condizioni ordinarie di pressione e temperatura diventi pericoloso se:

- ✓ Conservato in un ambiente molto caldo
- ✓ Sistemato vicino ad un radiatore
- ✓ Sistemato in prossimità di una tubazione di vapore.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA O AUTOCOMBUSTIONE

Elementi che facilitano il processo di combustione spontanea

- ✓ Umidità
- ✓ Presenza di alcune impurità che agiscono come una sorta di catalizzatore.

Esempio

- ✓ Presenza di "metallic driers" od ossidi metallici su materiali fibrosi imbevuti di oli essiccativi
- ✓ Pirite od umidità nel carbone.

Anche il carbone di legna e gli stracci di cotone o di altre fibre vegetali bruciacchiati sono soggetti al processo di autocombustione se umidi.

Le sorgenti d'innescio

COMBUSTIONE SPONTANEA O AUTOCOMBUSTIONE

Influenza del volume

Alcune prove hanno dimostrato che, a parità di massa, maggiore è il volume delle sostanze depositate più basso è il valore della temperatura necessaria alla quale si è reso evidente l'inizio del processo di autocombustione.

Prodotti della combustione

Sono suddivisibili in quattro categorie:

Gas di combustione

Fiamme

Fumo

Calore

Gas di combustione

Sono quei prodotti della combustione che rimangono allo stato gassoso anche quando raggiungono raffreddandosi la temperatura ambiente di riferimento 15 °C.

I principali gas di combustione sono:

ossido di carbonio

aldeide acrilica

anidride carbonica

fosgene

idrogeno solforato

ammoniaca

anidride solforosa

ossido e perossido di azoto

acido cianidrico

acido cloridrico

Gas di combustione

La produzione di tali gas dipende dal tipo di combustibile, dalla percentuale di ossigeno presente e dalla temperatura raggiunta nell'incendio.








Nella stragrande maggioranza dei casi, la mortalità per incendio è da attribuire all'inalazione di questi gas che producono danni biologici per anossia o per tossicità.

Fiamme

Sono costituite dall'emissione di luce conseguente alla combustione di gas sviluppatasi in un incendio.

Nell'incendio di combustibili gassosi è possibile valutare approssimativamente il valore raggiunto dalla temperatura di combustione mediante analisi del colore della fiamma.

Scala cromatica delle temperature nella combustione dei gas

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

Fumi

Sono formati da piccolissime particelle:

- ⇒ solide (aerosol)
- ⇒ liquide (nebbie o vapori condensati).

Le particelle solide sono sostanze incombuste che si formano quando la combustione avviene in carenza di ossigeno e vengono trascinate dai gas caldi prodotti dalla combustione stessa.

Normalmente sono prodotti in quantità tali da impedire la visibilità ostacolando l'attività dei soccorritori e l'esodo delle persone.

Le particelle solide dei fumi che sono incombusti e ceneri rendono il fumo di colore scuro.

Le particelle liquide, invece, sono costituite essenzialmente da vapor d'acqua che al di sotto dei 100°C condensa dando luogo a fumo di color bianco.

Calore

Il calore è la causa principale della propagazione degli incendi.

Realizza l'aumento della temperatura di tutti i materiali e i corpi esposti, provocandone il danneggiamento fino alla distruzione.

Parametri fisici della combustione

La combustione è caratterizzata da numerosi parametri fisici e chimici, i principali dei quali sono i seguenti:

temperatura di accensione

temperatura teorica di combustione

aria teorica di combustione

potere calorifico

temperatura di infiammabilità

limiti di infiammabilità e di esplosibilità

Temperatura di accensione o di autoaccensione

É la minima temperatura alla quale la miscela combustibile-comburente inizia a bruciare spontaneamente in modo continuo senza ulteriore apporto di calore o di energia dall'esterno.

SOSTANZE	Temperatura di accensione (°C) <i>valori indicativi</i>
acetone	540
benzina	250
gasolio	220
idrogeno	560
alcool metilico	455
carta	230
legno	220 - 250
gomma sintetica	300
metano	537

Temperatura teorica di combustione

É il più elevato valore di temperatura che è possibile raggiungere nei prodotti di combustione di una sostanza

SOSTANZE	Temperatura di combustione (°C teorici)
idrogeno	2205
metano	2050
petrolio	1800
propano	2230

Aria teorica di combustione (m³)

É la quantità di aria necessaria per raggiungere la combustione completa di tutti i materiali combustibili

SOSTANZE	Aria teorica di combustione (Nm³/Kg)
legno	5
carbone	8
benzina	12
alcool etilico	7,5
polietilene	12,2
propano	13
idrogeno	28,5

Potere calorifico (MJ/Kg o MJ/m³)

É la quantità di calore prodotta dalla combustione completa dell'unità di massa o di volume di una determinata sostanza combustibile.

Si definisce **potere calorifico superiore** la quantità di calore sviluppata dalla combustione considerando anche il calore di condensazione del vapore d'acqua prodotto.

Si definisce invece **potere calorifico inferiore** quando il calore di condensazione del vapor d'acqua non è considerato.

ESEMPI DI POTERI CALORIFICI

SOSTANZE	Potere calorifico inferiore (MJ/Kg)
legno	17
carbone	30 ÷ 34
benzina	42
alcool etilico	25
polietilene	35 ÷ 45
propano	46
idrogeno	120

Temperatura di infiammabilità (°C)

É la temperatura minima alla quale i liquidi combustibili emettono vapori in quantità tali da incendiarsi in caso di innesco

SOSTANZE	Temperatura di infiammabilità (°C)
gasolio	65
acetone	-18
benzina	-20
alcool metilico	11
alcool etilico	13
toluolo	4
olio lubrificante	149

Limiti di infiammabilità (% in volume)

Tali limiti individuano il campo di infiammabilità all'interno del quale si ha, in caso d'innesco, l'accensione e la propagazione della fiamma nella miscela.

Sono:

- limite inferiore di infiammabilità:
la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha accensione in presenza di innesco per carenza di combustibile;
- limite superiore di infiammabilità:
la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha accensione in presenza di innesco per eccesso di combustibile limite superiore di infiammabilità.

Limiti di infiammabilità (% in volume)

SOSTANZE	Campo di infiammabilità (% in volume)	
	limite inferiore	limite superiore
acetone	2,5	13
ammoniaca	15	18
benzina	1	6,5
gasolio	0,6	6,5
idrogeno	4	75,6
metano	5	15

Limiti di esplosibilità (% in volume)

Sono rispettivamente:

la più bassa concentrazione in volume di vapore della miscela al di sotto della quale non si ha esplosione in presenza di innesco (limite inferiore di esplosibilità)

la più alta concentrazione in volume di vapore della miscela al di sopra della quale non si ha esplosione in presenza di innesco (limite superiore di esplosibilità).

Combustione delle sostanze solide, liquide e gassose

La combustione delle sostanze solide è caratterizzata dai seguenti parametri:

- pezzatura e forma del materiale
- grado di porosità del materiale
- elementi che compongono la sostanza
- contenuto di umidità del materiale
- condizioni di ventilazione.

Inoltre il processo di combustione delle sostanze solide porta alla formazione di braci che sono costituite dai residui carboniosi della combustione.

La combustione dei liquidi infiammabili

Tutti i liquidi sono in equilibrio con i propri vapori che si sviluppano in misura differente a seconda delle condizioni di **pressione** e **temperatura** sulla superficie di separazione tra pelo libero del liquido e mezzo che lo sovrasta.

Nei liquidi infiammabili la combustione avviene proprio quando, in corrispondenza della suddetta superficie i vapori dei liquidi, miscelandosi con l'ossigeno dell'aria in concentrazioni comprese nel campo di infiammabilità, sono opportunamente innescati.

La combustione dei liquidi infiammabili

Per bruciare in presenza di innesco, un liquido infiammabile deve passare dallo stato liquido allo stato di vapore.

L'indice della maggiore o minore combustibilità di un liquido è fornito dalla temperatura di infiammabilità.

In base alla temperatura di infiammabilità i liquidi infiammabili sono classificati come segue:

Categoria A liquidi aventi punto di infiammabilità **$< 21^{\circ}\text{C}$**

Categoria B liquidi aventi punto d'infiammabilità
compreso tra **21°C** e **65°C**

Categoria C liquidi aventi punto d'infiammabilità
compreso tra **65°C** e **125°C**

ESEMPI DI LIQUIDI INFIAMMABILI

SOSTANZE	Temperatura di infiammabilità (°C)	Categoria
gasolio	65	C
acetone	-18	A
benzina	-20	A
alcool metilico	11	A
alcool etilico	13	A
toluolo	4	A
olio lubrificante	149	C

I gas infiammabili

Nelle applicazioni civili ed industriali i gas, compresi quelli infiammabili, sono generalmente contenuti in recipienti atti ad impedirne la dispersione incontrollata nell'ambiente.

GAS LEGGERO

Gas avente densità rispetto all'aria inferiore a 0,8 (idrogeno, metano, etc.)

Un gas leggero quando liberato dal proprio contenitore tende a stratificare verso l'alto.

GAS PESANTE

Gas avente densità rispetto all'aria superiore a 0,8 (GPL, acetilene, etc.)

Un gas pesante quando liberato dal proprio contenitore tende a stratificare ed a permanere nella parte bassa dell'ambiente ovvero a penetrare in cunicoli o aperture praticate a livello del piano di calpestio.

GAS COMPRESSI

Gas che vengono conservati allo stato gassoso ad una pressione superiore a quella atmosferica in appositi recipienti detti bombole o trasportati attraverso tubazioni.

La pressione di compressione può variare da poche centinaia millimetri di colonna d'acqua (rete di distribuzione gas metano per utenze civili) a qualche centinaio di atmosfere (bombole di gas metano e di aria compressa)

GAS	Pressione di stoccaggio (bar) <i>valori indicativi</i>
Metano	300
Idrogeno	250
gas nobili	250
Ossigeno	250
Aria	250
CO ₂ (gas)	20

GAS LIQUEFATTO

Gas che per le sue caratteristiche chimico-fisiche può essere *liquefatto a temperatura ambiente* mediante compressione (butano, propano, ammoniaca, cloro).

Il *vantaggio* della conservazione di gas allo stato liquido consiste nella possibilità di detenere grossi quantitativi di prodotto in spazi contenuti, in quanto un litro di gas liquefatto può sviluppare nel passaggio di fase fino a 800 litri di gas.

GAS LIQUEFATTO

I contenitori di gas liquefatto devono garantire una parte del loro volume geometrico sempre *libera dal liquido* per consentire allo stesso l'equilibrio con la propria fase vapore.

Pertanto è prescritto un *limite massimo di riempimento* dei contenitori detto *grado di riempimento*.

GAS LIQUEFATTO	Grado di riempimento (kg/dm³)
ammoniaca	0,53
cloro	1,25
butano	0,51
propano	0,42
GPL miscela	0,43-0,47
CO ₂	0,75

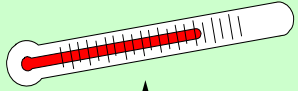
GAS REFRIGERATI

Gas che possono essere conservati in fase liquida mediante refrigerazione alla temperatura di equilibrio liquido-vapore con livelli di pressione estremamente modesti, assimilabili alla pressione atmosferica.

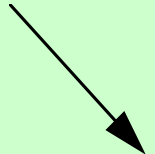
GAS DISCIOLTI

Gas che sono conservati in fase gassosa disciolti entro un liquido ad una determinata pressione (ad es.: acetilene disciolto in acetone, anidride carbonica disciolta in acqua gassata - acqua minerale)

TEMPERATURA



(flash-over)



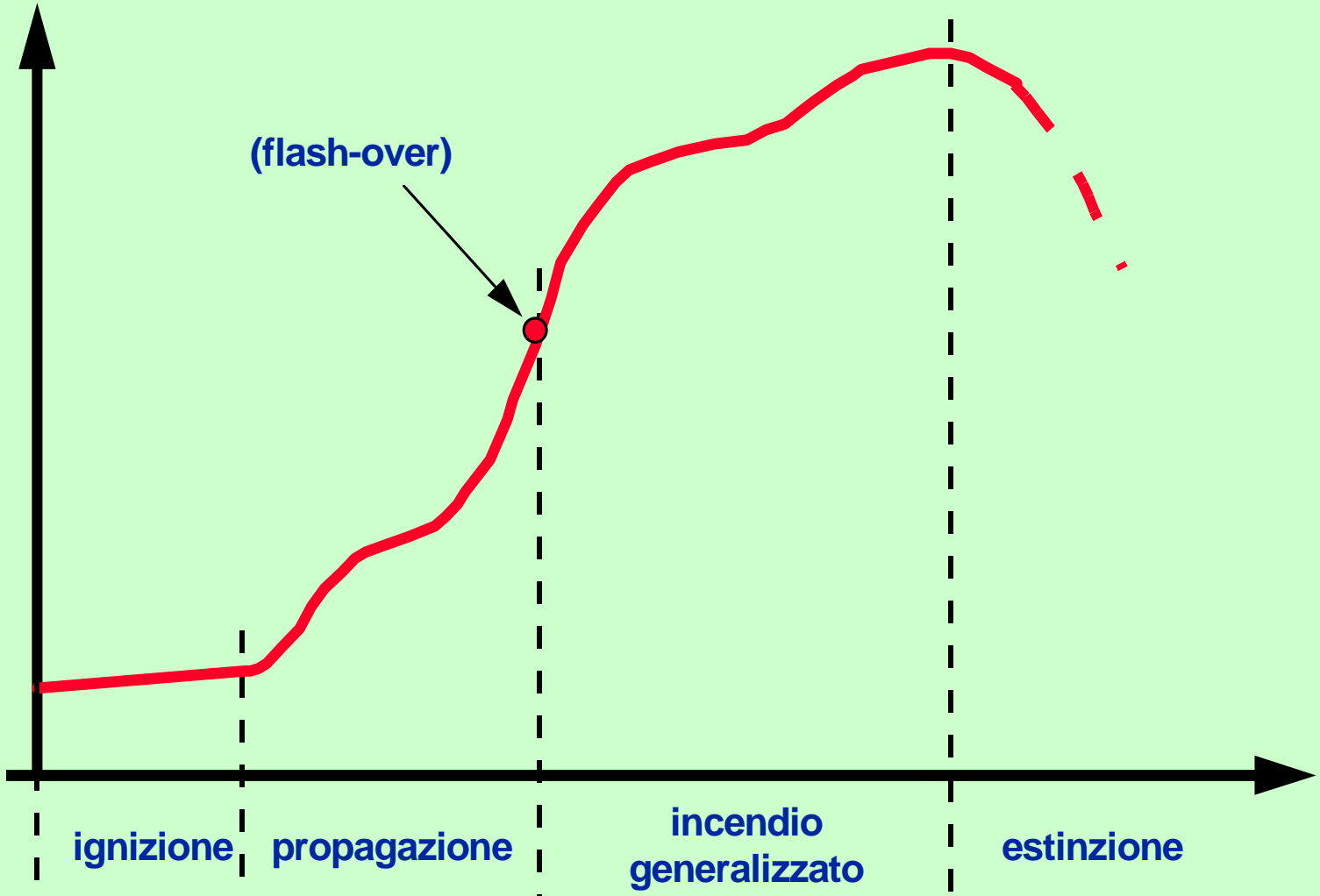
TEMPO

ignizione

propagazione

incendio
generalizzato

estinzione



Fase di ignizione

Dipende dai seguenti fattori:

Infiammabilità del combustibile

Possibilità di propagazione della fiamma

Grado di partecipazione al fuoco del combustibile

Geometria e volume degli ambienti

Possibilità di dissipazione del calore nel combustibile

Ventilazione dell'ambiente

Caratteristiche superficiali del combustibile

Distribuzione nel volume del combustibile, punti di contatto

Fase di propagazione

Caratterizzata da:

Produzione dei gas tossici e corrosivi

Riduzione di visibilità a causa dei fumi di combustione

Aumento della partecipazione alla combustione dei combustibili solidi e liquidi

Aumento rapido delle temperature

Aumento dell'energia di irraggiamento

Incendio generalizzato (flash-over)

Caratterizzato da:

Brusco incremento della temperatura

Crescita esponenziale della velocità di combustione

Forte aumento di emissioni di gas e di particelle incandescenti, che si espandono e vengono trasportate in senso orizzontale, e soprattutto in senso ascensionale

Formazione di zone di turbolenze visibili

I combustibili vicini al focolaio si autoaccendono, quelli più lontani si riscaldano e raggiungono la loro temperatura di combustione con produzione di gas di distillazione infiammabili

Estinzione e raffreddamento

Quando l'incendio ha terminato di interessare tutto il materiale combustibile ha inizio la fase di decremento delle temperature all'interno del locale a causa del progressivo diminuzione dell'apporto termico residuo e della dissipazione di calore attraverso i fumi e di fenomeni di conduzione termica.