

L'INCENDIO

COME SI SVILUPPA E QUALI SONO LE SUE CARATTERISTICHE

CI VUOLE PRUDENZA QUANDO SI USA UN SOFTWARE: I DATI DI INPUT E DI OUTPUT POTREBBERO ESSERE SBAGLIATI.

PERCIO'....

IL PROGETTISTA DEVE POSSERE UNA CERTA CONOSCENZA DELLA DINAMICA DELL'INCENDIO E DEI FONDAMENTI TEORICI DEL MODELLO DI CALCOLO.

ARGOMENTI PRINCIPALI:

- 1) IL PROCESSO DI COMBUSTIONE
- 2) LE FASI DI SVILUPPO DI UN INCENDIO
- 3) LA POTENZA TERMICA TOTALE RILASCIATA
- 4) LA VARIAZIONE NEL TEMPO DELLA POTENZA TERMICA TOTALE
- 5) LA VALUTAZIONE DELLA TEMPERATURA DURANTE L'INCENDIO
- 6) LA PRODUZIONE E LA PROPAGAZIONE DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE E DELL'INCENDIO
- 7) CALCOLO DELLA SOVRAPPRESSIONE CHE SI CREA ALL'INTERNO DI UN LOCALE INCENDIATO
- 8) LA PROTEZIONE DEGLI AMBIENTI DALL'AZIONE DEL FUMO E DEI GAS DI COMBUSTIONE

INFORMAZIONI TRATTE DAL SEGUENTE TESTO:

“PREVENZIONE INCENDI- APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO” - ANTONIO LAMALFA.

L'INCENDIO

Per poter comprendere a pieno il funzionamento di questo software o come sia possibile servirsene per studiare il problema della sicurezza in galleria, è necessario preliminarmente affrontare un altro argomento: l'incendio.

La normativa tecnica, infatti, stabilisce una certa prudenza nell'uso del software di calcolo o simulazione, prescrivendo continui controlli e verifiche sia dei dati di input che soprattutto quelli di output. Questo sia perché i software non sono immuni da errori o inesattezze, sia perché le approssimazioni di cui il modello fa necessariamente uso potrebbero talvolta generare risultati inattendibili, che si discostano troppo da quello che è poi il comportamento reale.

Perciò il progettista che intende adottare metodi di calcolo deve possedere un'approfondita conoscenza dei fondamenti teorici che sono alla base dei modelli di calcolo e della dinamica dell'incendio.

Per questo motivo, dunque, la presente sezione dell'elaborato viene dedicata alla descrizione e all'analisi delle caratteristiche dell'incendio.

Le caratteristiche dell'incendio che si andranno a considerare non fanno esplicito riferimento al caso di un incendio sviluppatosi in una galleria (ferroviaria o stradale).

Infatti, studiare e valutare un argomento complesso come quello della sicurezza anti-incendio in galleria non è cosa semplice: tanti sono gli elementi da considerare (caratteristiche dell'ambiente circostante, caratteristiche dell'incendio, funzionamento delle attrezzature antincendio, comportamento e rischi delle persone coinvolte...) e tante le problematiche che possono presentarsi.

Perciò, prima di studiare come rendere possibile la sicurezza in uno specifico contesto quale quello di una galleria ferroviaria o stradale, è opportuno conoscere come si sviluppa e quali sono le caratteristiche dell'incendio indipendentemente da quale sia il luogo in cui esso si innesca e divampa.

La presente trattazione trae le informazioni dal seguente testo:

“PREVENZIONE INCENDI- APPROCCIO INGEGNERISTICO ALLA SICUREZZA ANTINCENDIO” - ANTONIO LAMALFA:

CAPITOLO 2: “L'INCENDIO”
→ TABELLA 2;
→ FIGURA 2

CAPITOLO 3: “ANALISI DEGLI INCENDI NATURALI”
→ FIGURA 4, FIGURA 6, FIGURA 7, FIGURA 8, FIGURA 13, FIGURA 29, FIGURA 30, FIGURA 31;
→ TABELLA 5

CAPITOLO 4: “LA VALUTAZIONE DELLE TEMPERATURE ALL'INTERNO DI UN LOCALE DURANTE L'INCENDIO NATURALE”
→ FIGURA 33;

CAPITOLO 6: “LA PRODUZIONE E LA PROPAGAZIONE DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE IN AMBIENTI CHIUSI”
→ TABELLA 36;
→ FIGURA 76, FIGURA 77, FIGURA 81, FIGURA 83, FIGURA 86, FIGURA 92, FIGURA 94, FIGURA 95, FIGURA 99, FIGURA 110, FIGURA 111, FIGURA 112

1) IL PROCESSO DI COMBUSTIONE:

Quello che comunemente viene chiamato “incendio”, altro non è che un processo di combustione.

La combustione è una reazione di ossidazione che avviene velocemente e con sviluppo di calore.

L'incendio è dato dalla combinazione di tre elementi che devono contemporaneamente concorrere affinché esso si verifichi.

Essi sono:

combustibile
comburente
sorgente



Per ottenere il massimo rilascio di calore da un materiale combustibile è necessario che la sua combustione sia completa.

In caso di incendio in galleria, trattandosi di un ambiente se non chiuso comunque poco ventilato, la combustione avviene molto spesso in presenza di difetto d'aria, con il risultato che non si raggiungono le temperature massime.

Però, come accade in presenza di difetto d'aria, si ha la formazione di monossido di carbonio anziché anidride carbonica, aumentando in questo modo il pericolo per la salute degli utenti che occupano la galleria.

(Ciò che determina le caratteristiche dell'incendio, poi, è la natura fisica del combustibile).

Il fatto che un innesco avvii la combustione, però, non implica che questa si autosostenga.

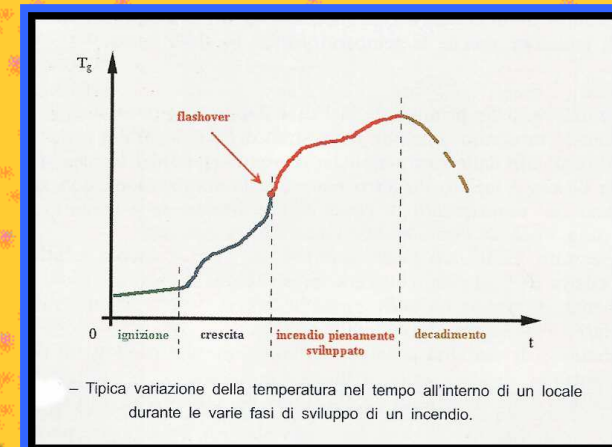
La fiamma, infatti, deve essere in grado di trasmettere alla superficie della sostanza il calore sufficiente per alimentarla.

Raggiunto il fire point, l'avvio della combustione dipenderà dalla presenza di una sorgente in grado di innescare i vapori prodotti.

2) LE FASI DI SVILUPPO DI UN INCENDIO:

In generale nell'incendio si possono distinguere le seguenti quattro fasi:

- 1) ignizione;**
- 2) crescita;**
- 3) incendio pienamente sviluppato (flashover);**
- 4) decadimento.**



IGNIZIONE:

In questa fase ha inizio il processo di combustione: una sorgente termica riscalda il combustibile fino a portarlo alla sua temperatura di ignizione.

Ma questo fenomeno non è istantaneo: ha bisogno di un po' di tempo per potersi originare.

CRESCITA :

L'incendio cresce.

Se l'oggetto che brucia è isolato da altro materiale, la combustione non si può propagare, e si arresta per esaurimento del combustibile. Invece, se vicino vi è un altro materiale combustibile, l'incendio si sviluppa.

Durante questa fase la temperatura del locale è ancora relativamente bassa e l'incendio è localizzato nei pressi del punto d'inizio.

In tale fase, lo sviluppo dell'incendio produce:

- 1) riduzione di visibilità a causa dell'emissione dei prodotti di combustione;**
- 2) produzione di gas tossici, irritanti e corrosivi;**
- 3) aumento della temperatura e dell'energia termica che viene irradiata nell'ambiente.**

INCENDIO PIENAMENTE SVILUPPATO (FLASHOVER):

Il flashover è definito come lo stadio di transizione da un incendio in crescita ad uno pienamente sviluppato, nel quale tutti i materiali combustibili sono coinvolti simultaneamente nell'incendio.

Evitare il flashover è l'obiettivo: raramente infatti una persona coinvolta in un incendio riesce a salvarsi dopo il flashover, e nei più grandi disastri legati ad un incendio si è sempre verificato il flashover.

Il tempo necessario per la crescita dell'incendio è perciò essenziale, in quanto influenza la valutazione del tempo disponibile per la fuga delle persone.

Durante il flashover avviene nel locale incendiato:

- 1) Forte innalzamento della velocità di combustione;**
- 2) Elevato rilascio del calore e, quindi, brusco aumento della temperatura;**
- 3) Rilevante crescita della produzione di fumo e gas di combustione, e propagazione improvvisa della fiamma attraverso i gas ed i vapori incombusti che si sono accumulati sotto il soffitto.**

In questa fase sono rilasciati nell'ambiente gas molto caldi come: CO, CO₂, HCN, HCl, NO, SO, ecc.

DECADIMENTO:

Dopo aver raggiunto l'ignizione completa di tutti i materiali combustibili presenti nell'ambiente, il fenomeno inizia a rallentare perché si esaurisce il combustibile e avviene l'estinzione con graduale riduzione del calore.

Il decadimento può dipendere non solo dal consumo di combustibile, ma anche dalla mancanza di ventilazione, oppure dall'intervento di sistemi manuali o automatici di soppressione degli incendi.

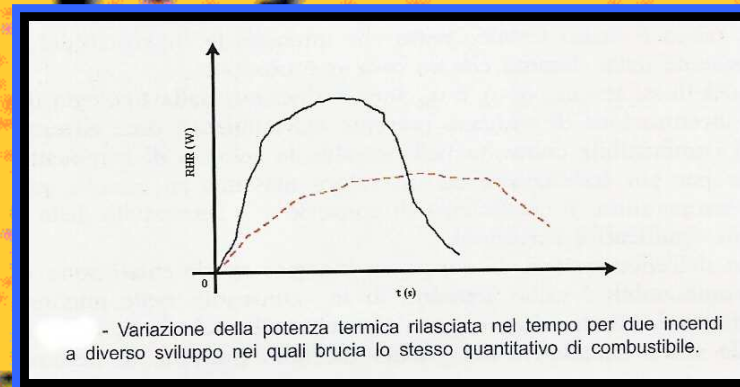
La temperatura, dunque, inizia a diminuire.

3) LA POTENZA TERMICA TOTALE RILASCIATA DA UN INCENDIO :

La potenza termica rilasciata durante una combustione è il valore della velocità di rilascio del calore nel tempo, ed è indicato in letteratura come Rate of Heat Released (RHR).

Per poter caratterizzare un incendio, si necessita di conoscere proprio il valore di RHR nel tempo.

Essa è di solito espressa in KW.



Il valore della potenza termica totale rilasciata nell'ambiente varia continuamente nel tempo durante l'evoluzione di un incendio.

Il modo più preciso per stimare la variazione del valore di RHR durante un incendio è quello di eseguire delle prove sperimentali.

1) Il combustibile, trascorso il tempo di incubazione, si infiamma e l'incendio si propaga nell'ambiente rilasciando una potenza termica totale che inizialmente (perché non è più così una volta superato il flashover) varia nel tempo t secondo la seguente relazione:

$$\text{RHR: } \alpha (t-t_0)^2$$

in cui:

α è una costante;

t è il tempo espresso in secondi.

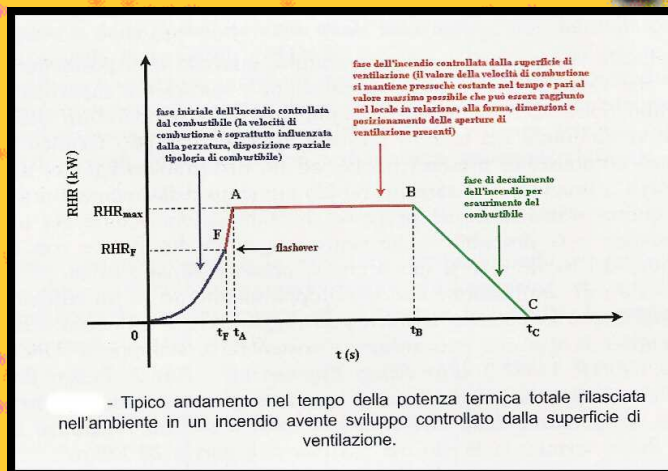
Questa relazione, dedotta da indagini sperimentali, ci dice che nella fase di crescita il valore di RHR aumenta nel tempo in modo pressoché quadratico.

2) Successivamente il valore di RHR aumenta nel tempo finché viene raggiunta una fase in cui l'incendio è pienamente sviluppato.

Durante la fase di incendio pienamente sviluppato, la potenza termica istantanea rilasciata raggiunge il suo valore massimo.

3) Con il progredire dell'incendio, il valore massimo raggiunto si mantiene pressoché costante per un determinato intervallo di tempo, funzione della quantità di combustibile inizialmente presente; infine, la potenza termica rilasciata decresce per il progressivo esaurimento di combustibile (fase di decadimento).

L'andamento di RHR nel tempo può essere così schematizzato:



CONCLUSIONE:

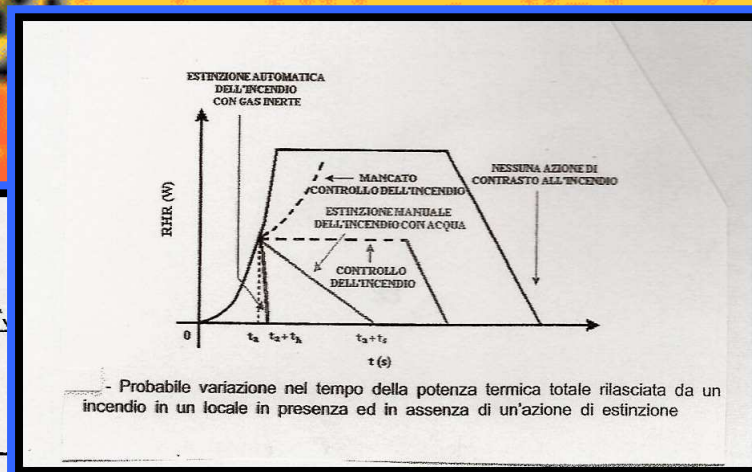
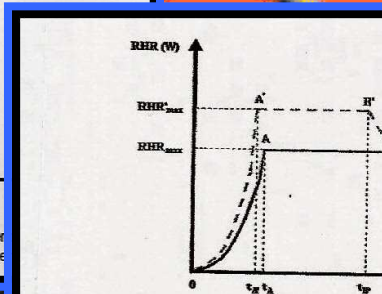
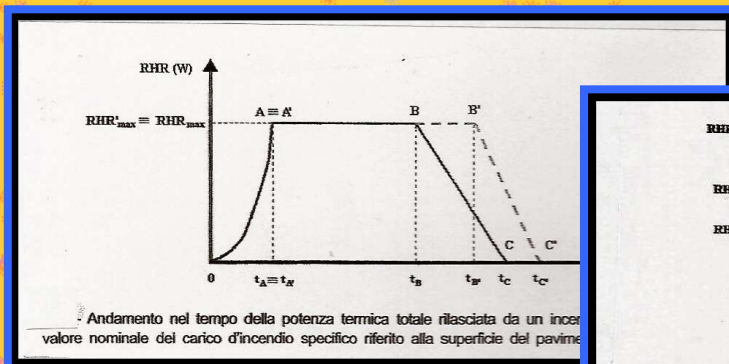
Durante la fase di ignizione, RHR cresce con il quadrato del tempo fino al flashover. Da questo punto in poi cresce più rapidamente fino a raggiungere, nella fase di incendio pienamente sviluppato, il suo valore massimo. Raggiunto il suo valore massimo, per tutta la fase di incendio pienamente sviluppato, la velocità di combustione si mantiene pressoché costante, in quanto controllata unicamente dalla superficie di ventilazione, e pari al suo valore massimo. Raggiunta la fase di decadimento, RHR decresce linearmente fino ad annullarsi una volta esaurito l'incendio.

4) MODIFICA DELLA CURVA DI VARIAZIONE NEL TEMPO DELLA POTENZA TERMICA TOTALE RILASCIATA DALL'INCENDIO IN UN DETERMINATO LOCALE AL VARIARE DELLA SUPERFICIE DI VENTILAZIONE, DEL CARICO DELL'INCENDIO ED IN PRESENZA DI UN'AZIONE DI ESTINZIONE :

Al sopraggiungere di un incendio:

- 1) Può variare il quantitativo di combustibile presente e, conseguentemente, il valore del carico di incendio q_f ;
- 2) Può essere diversa la superficie di ventilazione e, quindi, differente il valore massimo della potenza termica totale che può essere raggiunto nel locale;
- 3) Può essere attivata un'azione di estinzione.

E' interessante vedere come varia in tali situazioni la durata delle quattro fasi nelle quali si articola l'incendio e la relativa curva della potenza termica totale rilasciata nel tempo.



5) VALUTAZIONE DELLA TEMPERATURA ALL'INTERNO DI UN LOCALE DURANTE L'INCENDIO NATURALE:

Molto importante per valutare la pericolosità di un incendio (e soprattutto progettare gli impianti di ventilazione necessari per mantenere la sicurezza) all'interno di una galleria, è conoscere la temperatura a cui esso porterà l'interno del locale.

Per valutare la variazione della temperatura nel tempo in un ambiente chiuso durante un incendio, occorre suddividere l'incendio in due fasi:

- 1) FASE PRECEDENTE AL FLASHOVER**
- 2) FASE DI PIENO SVILUPPO DELL'INCENDIO**

Nella prima fase, è stata ricavata un'espressione che fornisce un valore approssimato della variazione all'interno di un locale della temperatura media nel tempo dei gas caldi, valida per temperature fino a 873 K.

6) LA PRODUZIONE E LA PROPAGAZIONE DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE IN AMBIENTI CHIUSI:

Nella seconda fase, invece, le equazioni che permettono di stimare la temperatura sono importanti per definire le azioni che il fuoco esercita sugli elementi costruttivi di un edificio.

Durante un incendio si liberano nell'ambiente: **fumo, gas tossici ed irritanti, fiamma e calore.**

Il fumo si produce sempre in un incendio, mentre il calore si manifesta in modo significativo solo se vi è presenza di fiamma.

Il **calore** rappresenta il pericolo principale per le persone che si trovano nelle immediate vicinanze del punto d'origine dell'incendio, mentre **il fumo ed i gas di combustione minacciano anche la sicurezza delle persone che si trovano nelle zone più lontane.** Soprattutto considerando che essi si muovono generalmente con velocità di 1-2 m/s, che è senza dubbio superiore a quella di esodo con la quale gruppi di persone abbandonano un edificio.

Una persona esposta all'azione dei gas tossici della combustione può raggiungere in breve tempo la condizione di inabilitazione con conseguente riduzione della capacità di fuga.

La presenza di fumo, inoltre, riduce la visibilità ed impedisce di raggiungere agevolmente le uscite del locale.

Nelle prime fasi dell'incendio in un ambiente chiuso, si formerà uno strato di fumo al di sotto del solaio.

Poi, il fumo si muove sotto l'influsso di forze che si manifestano come gradienti di pressione all'interno del fluido.

E' fondamentale calcolare la quantità di fumo e gas di combustione generati nel tempo ed il loro probabile movimento all'interno dell'ambiente in cui si sviluppano, che dipende da un fattore adimensionale ε di emissione che indica la massa di fumo generata per unità di massa di combustibile bruciato ($Kgfumo/Kgcomb$).

Esistono delle equazioni per determinare la portata massica di fumo e gas di combustione mg generati dall'incendio

Per impedire che i prodotti della combustione vengano a contatto con le persone, le varie misure di prevenzione incendi mirano a:

- 1) Ostacolare lo sviluppo dell'incendio;**
- 2) Evitare la propagazione dei prodotti della combustione, oppure indirizzarli verso determinati ambienti;**
- 3) Favorire la rapida evacuazione dei locali.**

6) LA PROPAGAZIONE DELL'INCENDIO:

Il fumo ed i gas di combustione sono in grado di percorrere grandi distanze e pregiudicare anche l'incolumità delle persone che si trovano lontano dal locale dove si è originato l'incendio.

Il loro controllo avviene pertanto attraverso barriere, sistemi di estrazione o controflussi causati da differenziali di pressione.

La conoscenza del movimento del fumo e dei gas di combustione chesi instaura durante un incendio all'interno di un ambiente quale una galleria stradale è importante per valutare il tempo necessario per garantire un sicuro esodo delle persone presenti; infatti, è possibile prevedere, nei vari scenari d'incendio le zone dell'edificio che possono essere interessati dai prodotti della combustione e, conseguentemente, pianificare le migliori azioni che devono essere attuate per salvaguardare l'incolumità dei presenti.

Un'atmosfera composta da fumo e gas di combustione si propaga, nell'ambiente naturale, come l'aria.

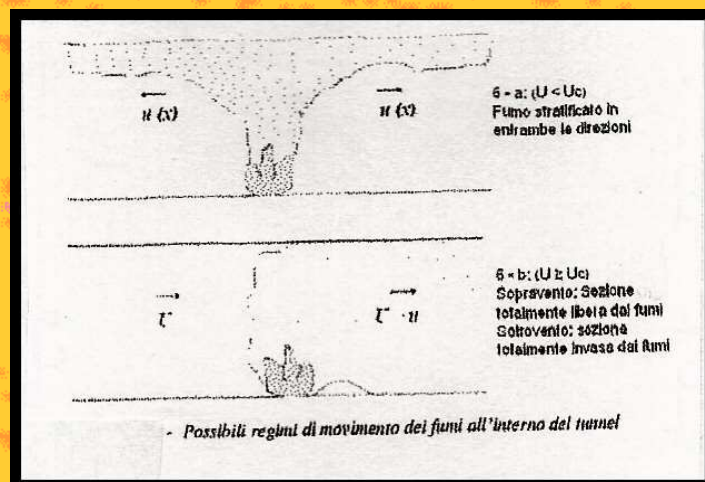
Il fumo ed i gas di combustione, pertanto, si spostano seguendo il flusso della ventilazione naturale o artificiale che si instaura nell'ambiente in cui si formano.

Il plume si eleva dunque fino ad arrivare al soffitto e, una volta raggiunto, i prodotti della combustione iniziano a propagarsi orizzontalmente, formando allo stesso tempo uno strato sottostante al soffitto.

Nel modello proposto da Persson viene ipotizzato che, in presenza di ventilazione naturale, i fumi si muovano a valle dell'incendio con una velocità $U = 1 \text{ m/s}$ formando una miscela omogenea con l'aria nell'intera sezione della galleria e lasciando libero il tronco di galleria a monte dell'incendio.

La determinazione dell'evoluzione di un incendio attraverso la previsione della velocità di propagazione della fiamma sulla superficie, riveste poi un interesse notevole.

All'interno di una galleria, invece, il movimento dei fumi sarà differente, e viene determinato confrontando la velocità dell'aria all'interno del tunnel con una velocità critica U_c .



7) CALCOLO DELLA SOVRAPPRESSIONE CHE SI CREA ALL'INTERNO DI UN LOCALE INCENDIATO:

Si sa che l'aria ha una sua pressione naturale, quella che viene normalmente definita come “pressione atmosferica” ed è pari a 101325 Pa, uguale, in ambiente naturale, in tutte le direzioni.

A questo valore di pressione, in galleria, si aggiungono degli incrementi di pressione (per questo definiti “sovrappressione”) agenti su l'una o l'altra delle due aperture.

Sono possibili tre diverse situazioni all'interno del tunnel:

- 1)** il tunnel è totalmente libero da fumi. Questo avviene nel caso in cui si abbiano sistemi di estrazione dei fumi lungo la galleria;
- 2)** $U < U_c$: nel tunnel si ha, nelle fasi iniziali, una stratificazione dei fumi in entrambe le direzioni con una successiva occupazione dell'intera sezione a causa della riduzione della velocità di avanzamento;
- 3)** $U > U_c$: i fumi formano una miscela omogenea con l'aria nell'intera sezione del tunnel a valle dell'incendio.

Per determinare l'andamento dei fumi all'interno di una galleria, è necessario dunque conoscere la velocità di propagazione degli stessi.

Per conoscere la velocità di propagazione dei fumi, è necessario determinare la sovrappressione a cui essi sono soggetti all'interno della galleria, assimilando questa sovrappressione ad una “spinta” a cui sono soggetti i fumi e i prodotti della combustione.

1) A seguito dell'incendio, si crea una differenza di temperatura tra l'interno della galleria (dove fa più caldo) e l'esterno (dove fa più freddo). Questa differenza di temperatura fra l'interno e l'esterno della galleria genera una "sovrappressione" ΔP alla testa del tunnel. Essa è la principale responsabile del movimento del fumo e dei gas di combustione.

Questa sovrappressione può essere stimata con una formula che si tralascia di riportare.

3) La contropressione dovuta all'effetto pistone è generata dallo scorrimento dei veicoli.

Questa sovrappressione può essere stimata con una formula che si tralascia di riportare.

4) La contropressione per unità di lunghezza della galleria indotta dagli attriti delle pareti può essere stimata con una formula che si tralascia di riportare.

2) Quella dovuta alla differenza di temperatura non è l'unica contropressione che si genera all'interno della galleria.

Possiamo infatti dire che: $\Delta P_{TOT} = \Delta P_{CH} + \Delta P_{ATTR} + \Delta P_{PISTONE}$;

Dove:

ΔP_{CH} è la contropressione per unità di lunghezza della galleria dovuta all'"effetto camino". E il valore della contropressione precedentemente definito;

ΔP_{ATTR} è la contropressione per unità di lunghezza della galleria dovuta all'attrito sulle pareti;

$\Delta P_{PISTONE}$ è la contropressione per unità di lunghezza della galleria dovuta alle forze di "pistonamento" dei veicoli;

5) Accanto a queste tre contropressioni, è possibile che ne compaia anche una quarta: la contropressione prodotta da una batteria di acceleratori.

Questa sovrappressione può essere stimata con una formula che si tralascia di riportare.

8) LA PROTEZIONE DEGLI AMBIENTI DALL'AZIONE DEL FUMO E DEI GAS DI COMBUSTIONE:

Uno degli obiettivi fondamentali, in caso di incendio, è quello di assicurare un rapido e regolare esodo delle persone coinvolte mantenendo libere dal fumo e gas di combustione le vie di uscita almeno per il tempo necessario a completare l'esodo ed evitare che le persone siano sottoposte ad una dannosa esposizione.

1) Un primo criterio per proteggere l'ambiente (e di conseguenza le persone al suo interno) dall'incendio è quello di agire sulle fonti.

Le fonti di innesco possono essere controllate in due modi:

RIMOZIONE
ISOLAMENTO

2) Un secondo criterio è costituito dal ridurre lo sviluppo dell'incendio e lo sviluppo di calore e produzione dei prodotti della combustione.

POSIZIONAMENTO DEI MATERIALI

SELEZIONE DELLE FINITURE INTERNE E GEOMETRIA DEL COMPARTIMENTO

CONTROLLO DELLA VENTILAZIONE

SISTEMI DI SOPPRESSIONE

3) Un terzo criterio, invece, riguarda il controllo sulla diffusione dei fumi limitandone la produzione e controllandone il movimento.

CONTENIMENTO

ESTRAZIONE

PRESSURIZZAZIONE

SOPPRESSIONE

4) fra i possibili metodi di protezione delle vie di esodo, quello che viene usato principalmente è la diluizione, che consiste nell'immettere ingenti quantità di aria esterna incontaminata nelle vie di esodo invase dai prodotti della combustione, al fine di diminuire la concentrazione delle sostanze nocive.