

# L'EVACUAZIONE DI EMERGENZA NEGLI EDIFICI AD USO COLLETTIVO OSPEDALI, SCUOLE, COMPLESSI RICETTIVI E PER LO SPETTACOLO

Prof. Ing. **Pier Luigi Maffei** *Università di Pisa, Facoltà di Ingegneria, Pisa, Via Diotisalvi, 2*  
Dott. Ing. **Nicola Marotta** *Libero Professionista Cecina (Livorno)*

## SOMMARIO

La progettazione delle vie di esodo in un organismo edilizio costituisce una importante misura di protezione passiva prevista dalle norme di prevenzione incendi, che il progettista di opere civili o industriali ha l'obbligo normativo di affrontare correttamente. In particolare per le attività destinate alla collettività essa assume un ruolo prioritario e insostituibile.

Le norme italiane impongono, indipendentemente dalla effettiva situazione, dei limiti che sono ritenuti in ogni caso in grado di garantire un adeguato livello di sicurezza e che hanno significato più dal punto di vista statistico che nello specifico caso di riferimento.

È bene ricordare che tali limiti costituiscono un requisito necessario, ma non sempre sufficiente al fine di garantire un adeguato livello di sicurezza, pertanto il progettista, in una visione di sicurezza globale, deve valutare se, in che misura e quando, può essere opportuno o necessario adottare misure integrative a quelle minime previste dalle stesse norme.

Con la presente memoria si è inteso fornire uno strumento metodologico significativo: l'Analisi del Valore e contribuire alla ricerca di uno strumento flessibile e graduale in grado di ridurre le occasioni di rischio e mitigare le conseguenze. Esso si rivolge ai progettisti e ai responsabili della sicurezza che in piena autonomia e nel rispetto delle regole e delle norme sono chiamati sempre più a scegliere, una volta analizzati i rischi specifici dell'attività, misure, provvedimenti, comportamenti e modi di azione da mettere in atto per il perseguimento degli obiettivi.

## 1.L'ANALISI DEL VALORE NELLA VALUTAZIONE DEI RISCHI

Le condizioni di sicurezza nella fase di esercizio degli edifici vanno affrontati già dal momento della programmazione degli interventi allorché, individuate le esigenze<sup>1</sup> e quindi le attività per le quali di un edificio si decide la realizzazione, vengono specificati i requisiti<sup>2</sup> che l'opera dovrà possedere. Esigenze e requisiti risulteranno successivamente elencati nel Capitolato Prestazionale che precede il progetto, accompagnato da un preventivo di costi globali predisposto da esperti in base a elementi statistici contenuti in banche dati. Il gruppo progettuale avrà quindi a disposizione tutti gli elementi necessari per poter concepire e quindi tradurre in progetto esecutivo e cantierabile un'opera di qualità<sup>3</sup>.

Il soddisfacimento dei requisiti è pertanto una condizione necessaria, anche se non sufficiente, per poter esprimere un giudizio positivo sul progetto e per avere delle garanzie preventive nell'ottenimento di un prodotto che corrisponda alle reali esigenze dell'utilizzatore, in rapporto alle proprie risorse finanziarie.

Fra i requisiti da mettere in rilievo, trattandosi di edifici ad uso collettivo, occorre mettere in conto tutti gli elementi atti a prevenire eventi pericolosi e, non potendosi annullare il rischio, elementi di carattere protettivo ad evento accaduto. La prevenzione incendi e l'evento incendio non è che uno dei rischi che si corrono nel prevedere edifici nei

---

<sup>1</sup> esigenza = manifesta necessità in termini di dotazione di spazi o di attrezzature per svolgere determinate attività o in termini di condizioni da assicurare per poter svolgere al meglio le previste attività. La Norma UNI 8289 indica in particolare le seguenti esigenze: A sicurezza, B benessere, C fruibilità, D aspetto, E integrabilità, F costruzione, G gestione, H economicità

<sup>2</sup> requisito = il requisito costituisce la definizione esplicita di ciò che serve per soddisfare le esigenze - Norma UNI 8290/2

<sup>3</sup> Qualità = insieme delle proprietà e delle caratteristiche che conferiscono all'entità presa in considerazione la capacità di soddisfare esigenze espresse ed implicite  
(UNI EN ISO 8402: 95)

quali è prevista la presenza di molte persone, così come si dovranno considerare le particolari attività che in essi si svolgono. Fra i requisiti da considerare vengono nella fattispecie presi in esame quelli attinenti l'evacuazione in situazione di emergenza.

Trattandosi, per esempio, di ospedali, scuole, complessi ricettivi e per lo spettacolo occorre esaminare preliminarmente con la massima attenzione quali sono i fattori che influenzano le modalità di fruizione degli spazi, i percorsi da fare per uscire e i tempi di esodo delle persone. Il tema è stato fino ad oggi affrontato pensando prevalentemente ai rischi e alle conseguenze derivanti in caso di incendi, ma il problema merita di essere funzionalmente riconsiderato nell'ottica della gestione dell'emergenza derivante anche da altre cause e con altri effetti. Lacune normative ve ne sono in tal senso nella stessa definizione del requisito "sicurezza", dal momento che non appaiono esplicitamente riportate considerazioni sull'accessibilità e sulla fruibilità degli spazi e che non sono stati coordinati gli studi che hanno portato a definire i moduli dimensionali di accesso, di percorrenza e di uscita per la sicurezza e per la progettazione senza barriere architettoniche oppure, in caso di edifici esistenti, per il progetto di abbattimento delle barriere architettoniche stesse. Occorre del resto rilevare che il requisito "sicurezza" coinvolge anche l'aspetto del "benessere", dal momento che è psicologicamente importante avere la sensazione di trovarsi in ambienti sicuri e facilmente sfollabili.

Questi aspetti complessi, che presuppongono una visione globale dei problemi, non sfuggono a coloro che sono chiamati a verificare il progetto edilizio con competenze pluridisciplinari. Una corretta metodologia che preveda il lavoro di gruppo interdisciplinare parte, infatti, dal prendere in esame tutti gli ambiti funzionali dell'opera considerata, così come avviene con l'Analisi del Valore, le cui esperienze ed applicazioni vengono svolte da oltre un decennio nel Corso di Architettura Tecnica e Tipologie Edilizie presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università degli Studi di Pisa.

L'Analisi del Valore<sup>4</sup> ha trovato inizialmente il suo maggiore sviluppo nel settore industriale. Già dalla metà degli anni '60, prima ancora che venissero introdotte norme europee sulla garanzia della qualità, fu inizialmente introdotta come una tecnica per la riduzione dei costi a parità di prestazioni, con particolare attenzione a prodotti industriali; successivamente essa è stata sviluppata fino ad essere applicata nel processo fin dalla fase di programmazione degli interventi in collaborazione con la committenza/utenza. Oggi le esperienze in atto nell'ambito del Value Management conducono a ottimi risultati specialmente se il metodo viene introdotto fin dal momento della messa a punto dei requisiti da porre nel Capitolato Prestazionale dell'opera da progettare o nel Bando di Concorso di Progettazione. Successivamente, a elaborati preliminari del progetto disponibili, gli Analisti del Valore effettuano un vero e proprio "collaudo del progetto in corso d'opera", vale a dire durante l'attività progettuale, accompagnando i progettisti nel momento della traduzione del progetto stesso in elaborati definitivi ed esecutivi. Corsi e ricorsi nella storia, dopo che già nel 1974 presentammo la Teoria dei Giochi (Gaming Simulation), nata nel settore economico-matematico fu successivamente applicata ai problemi sociali, territoriali e urbanistici.

Trattandosi di metodi basati su considerazioni funzionali, essi consentono di simulare un approccio comportamentale teso al raggiungimento di predeterminati obiettivi, tramite la definizione di funzioni e la loro valutazione, rilevando che è su quest'ultimo aspetto che l'Analisi del Valore ha qualcosa di più e di meglio da dire rispetto alla Teoria dei Giochi, dal momento che grazie alla intuizione del suo ideatore, l'Ing. L. Miles e ai successivi sviluppi da noi introdotti sul piano metodologico, questo strumento consente di stimare un indice di valore per ogni funzione e di esprimere un giudizio di valore su soluzioni alternative rispetto a quella presa in esame. Accade, quindi, che in presenza di elaborati progettuali preliminari redatti da un Gruppo di Progettazione, il Gruppo degli Analisti del Valore possa dimostrare che una soluzione alternativa a quella da loro prospettata risulti altrettanto valida sotto l'aspetto funzionale, se non addirittura migliorativa e, stimato il costo globale, che essa presenti un indice di valore superiore a quella proposta dai progettisti, fatti sempre e comunque salvi gli aspetti estetico-formali. E' evidente che non è possibile in questa sede spingerci oltre sul piano del merito, troppi sono gli elementi che dovrebbero essere ancora espressi e per i quali si rimanda ai testi in bibliografia, resta però il fatto che si metta l'attenzione sull'Analisi del Valore proprio nel momento in cui una Commissione Ministeriale è di nuovo al lavoro per presentare il Regolamento di cui all'art. 3 della prima stesura della nuova Legge sui Lavori Pubblici (Merloni uno e bis). In tale Regolamento si tratta, infatti, fra l'altro di suggerire le condizioni per poter garantire la qualità del progetto.

---

<sup>4</sup> **Analisi del Valore (Value Analysis)** = Attività organizzata di gruppo svolta per conto del Committente o dell'Utilizzatore da esperti di varie discipline e da non esperti, sotto la guida di un coordinatore. Tale attività consiste nell'individuare gli ambiti di maggiore interesse funzionale di una entità (prodotto o servizio), nell'evidenziare le funzioni necessarie e richieste in grado di soddisfare le esigenze espresse ed implicite del Committente e dell'Utilizzatore e nel suggerire, in rapporto agli indici di valore delle funzioni, soluzioni alternative a quella esaminata contenendo il costo di produzione, o meglio il costo globale, nei limiti compatibili con i livelli prestazionali richiesti

## **2. GENERALITÀ**

Il problema dell'esodo di persone minacciate da un incendio o da altro evento, universalmente riconosciuto di fondamentale importanza in quanto rivolto a garantire l'incolumità delle persone, comporta lo studio di numerosi fattori che vanno dalle caratteristiche del fabbricato, alle condizioni psicofisiche delle persone, alle caratteristiche delle vie di esodo, al livello di rischio derivante dai materiali interessati dall'incendio ecc..

Si rende pertanto necessaria, una conoscenza approfondita della materia che consenta di effettuare, già in fase di "ideazione progettuale", scelte e soluzioni che, per rilevanza e delicatezza, è opportuno siano definite in modo corretto. Per perseguire questo obiettivo è tuttavia importante introdurre una corretta impostazione progettuale integrando in modo armonico le molteplici "esigenze" progettuali (statico, impiantistico, funzionale, economico ed architettonico), con quelle attinenti la sicurezza in generale e le vie di esodo nell'emergenza in particolare.

Nello schema di Fig. 1 sono riportati gli aspetti principali che interessano il processo di evacuazione, alcuni dei quali saranno affrontati in questa sede.

## **3. CRITERI GENERALI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLE VIE DI ESODO**

Lo studio dell'evacuazione di emergenza dagli edifici analizza il movimento di una folla alle sollecitazioni rappresentate da un pericolo reale o apparente, tenendo conto dello stato psico-fisico delle persone, dell'ubicazione, del numero e dai tipi e dalle caratteristiche delle vie di esodo, della velocità e del tempo di sfollamento e, in casi di incendio, della propagazione dell'incendio stesso e del fumo. Gli elementi che concorrono allo studio dell'esodo sono quindi molteplici e ciascuno di essi può ragionevolmente variare entro certi limiti.

Lo studio dell'esodo presuppone che non si origini il panico, perché in tal caso, il comportamento di più persone, anche in numero notevolmente inferiore a quello che può costituire una folla, sarebbe imprevedibile e irrazionale, nel senso che ogni persona spinta dall'istintivo senso di sopravvivenza obbedirebbe all'imperativo di allontanarsi a tutti i costi nel più breve tempo possibile, cercando disperatamente e con forza spesso inaudita di raggiungere l'esterno, con le disastrose conseguenze a tutti note.

Si deve comunque tener presente che una delle cause che da sola o con altre può generare il panico è proprio la non corretta ubicazione e il cattivo dimensionamento delle vie di esodo, occorre di conseguenza predisporre un corretto sistema di vie d'uscita dai locali, ove possono essere presenti persone, tali che in ogni circostanza sia garantita una adeguata via di scampo. Tutto ciò rientra fra i compiti del progettista e/o del responsabile della sicurezza, i quali dovranno valutare attentamente ogni situazione ed adottare i necessari provvedimenti, soprattutto nei casi di edifici ad uso collettivo ove il numero delle persone può essere considerevole e l'attività è particolare.

## **4. EDIFICI AD USO COLLETTIVO**

Gli edifici destinati ad una pluralità di persone si possono classificare, a seconda della loro destinazione nelle seguenti tipologie.

- Edifici o locali adibiti ad intrattenimento e di pubblico spettacolo. Trattasi di locali destinati a riunioni di gruppi di persone per divertimenti, spettacolo, riunioni e per lo svolgimento di attività culturali sociali e sportive come : teatri, cinematografi, auditori e sale convegno, mostre, gallerie, musei, sale da ballo, discoteche, circhi, sale giochi, impianti sportivi, ecc.

- Edifici o locali adibiti ad attività scolastiche come : scuole, collegi, università, accademie, biblioteche, ecc.

- Edifici e locali adibiti ad attività ricettive e turistico- alberghiere che dispongono di posti letto a scopo residenziale come : alberghi, motel, villaggi turistici, ostelli per la gioventù, ecc.

- Edifici o locali adibiti ad attività sanitarie (ospedali, case di cura, residenze per assistenza degli anziani e dei minorati, ecc.)

- Edifici o locali adibiti ad uffici per amministrazione pubblica e privata, banche, sedi aziendali e di società, ecc.

- Edifici o locali adibiti ad attività commerciale con spazi espositivi e di vendita di merci come : mercati, grandi magazzini, supermercati, ipermercati, ecc.

## **5. CONDIZIONI PSICO-FISICHE DELLA FOLLA**

La problematica del processo di deflusso nelle diverse condizioni è varia e complessa dipendendo da fattori di ordine tecnico-funzionale e psico-fisico. Il comportamento psicofisico delle persone, in caso di emergenza, costituisce, infatti, un fattore determinante ai fini del deflusso di emergenza, potendo comportare una situazione di tipo ordinato o una situazione critica incontrollata (si pensi al comportamento della folla in caso di panico), ove la perdita di lucidità, di mobilità e del senso di orientamento giocano un ruolo importante. Le problematiche conseguenti agli aspetti psico-fisici possono tuttavia essere minimizzati attraverso una adeguata informazione e formazione.

Riportiamo le definizioni di folla e categoria di folla.

### **5.1. Folla**

Per folla si intende un raggruppamento di persone presenti a qualsiasi titolo in un locale, in un compartimento o in un edificio, caratterizzato da una determinata densità di affollamento e da una specifica condizione psicofisica dei propri componenti.

### **5.2. Categorie di folla**

In base alle caratteristiche psico-fisiche attribuite alle persone che sfollano si possono individuare quattro gruppi o categorie di folla :

Prima categoria

Folla temporaneamente o permanentemente non autosufficiente , incapace di reagire ad una situazione di pericolo per deficienze fisiche, spichiche , mentali o per limitazione della libertà di movimento dei propri componenti

Seconda categoria

Folla che per dimora abituale o temporanea e/o per riposo notturno si trova nell'incapacità di reagire con tempestività ad una situazione di pericolo

Terza categoria

Folla autosufficiente presente occasionalmente che non ha familiarità con i luoghi e le relative vie di esodo e che non ha ricevuto una adeguata formazione e informazione

Quarta categoria

Folla autosufficiente, invariante (sempre la stessa), con elevata familiarità dei luoghi e delle relative vie di esodo e che ha ricevuto una adeguata formazione e informazione

## **6. PARAMETRI CARATTERISTICI DEL MOTO**

Vengono qui di seguito riportate le definizioni di alcuni parametri utili per il dimensionamento delle vie di esodo.

### **6.1. Corpo ellisse**

Per definire la superficie standard che occupa una persona in movimento (uomo medio adulto completamente vestito) si fa riferimento al così detto corpo ellisse, la cui area approssimata di 0,22 mq. è pari a quella di un ellisse iscritto nel rettangolo di 60 x 45 cm, le cui dimensioni rappresentano appunto l'ingombro della persona durante la marcia

### **6.2. Modulo di uscita**

Tali dimensioni comprendenti anche lo spazio necessario all'oscillazione che il corpo manifesta durante il moto definiscono l'unità di misura della larghezza delle vie di esodo (modulo di uscita) che a meno di una tolleranza dell'5%, è assunta in Italia pari a 0,60 m. Le norme prescrivono che una uscita abbia larghezza multipla del modulo e comunque non inferiore a due moduli (1,20 m)

### **6.3. Uscita**

Apertura atta a consentire il deflusso di persone verso un luogo sicuro avente altezza non inferiore a 2,00 m.

#### 6.4. Numero di uscite

Il numero delle uscite (maggiore di due) deve essere tale da consentire al massimo numero di persone presenti in un locale o un compartimento, di raggiungere un luogo sicuro entro un prefissato tempo massimo di evacuazione

#### 6.5. Sistema di vie di uscita

Percorso senza ostacoli al deflusso che consente alle persone che occupano un edificio o un locale di raggiungere un luogo sicuro

#### 6.6. Luogo sicuro

Spazio scoperto ovvero compartimento antincendio - separato da altri compartimenti mediante spazio scoperto o filtri a prova di fumo - avente caratteristiche idonee a ricevere e contenere un predeterminato numero di persone (luogo sicuro statico), ovvero a consentire il movimento ordinato (luogo sicuro dinamico)

#### 6.7. Densità di affollamento

Massimo numero prevedibile di persone presenti per unità di superficie lorda di pavimento del compartimento o del locale preso in esame. È espressa in pers/mq.

Rappresenta la distribuzione spaziale della folla sulla superficie da essa occupata in ogni istante.

Nella tabella 1 si sono riportate le densità di affollamento (persone per unità di superficie lorda di pavimento) stabilite dalle norme per le principali attività

#### 6.8. Massimo affollamento ipotizzabile

Massimo numero di persone presenti a qualsiasi titolo nel compartimento o locale in esame.

È dato dalla relazione :

$$N_{max} = r_s \cdot A \quad (1)$$

dove :

$r_s$  = densità di affollamento (pers /mq)

A = superficie lorda del locale o del compartimento

#### 6.9. Densità di deflusso

Numero di persone in sfollamento occupanti l'unità di superficie delle vie di esodo. È espressa in pers/mq dell'intera superficie della via di esodo. Rappresenta la distribuzione spaziale della folla sulla superficie delle vie di esodo da essa occupata in ogni istante

#### 6.10. Densità lineare di flusso

Lunghezza di percorso disponibile per persona. È espressa in pers / m di percorso.

#### 6.11. Indice di affollamento

Superficie a disposizione di ogni persona in sfollamento. È espressa in mq /pers.

#### 6.12. Distanza di marcia

Distanza tra i corpi ellisse in una via di esodo. È espressa in m/pers.

### 6.13. Portata di deflusso

Numero di persone che defluiscono nell'unità di tempo attraverso un'uscita della larghezza di un modulo (0,60 m), è espressa in pers /sec.

## 7. CAPACITÀ DI DEFLUSSO

La capacità di deflusso ( $C$ ) è una grandezza, stabilita dalle norme, e si utilizzata per calcolare il numero dei moduli di uscita ( $N_{mod}$ ) per l'evacuazione del numero massimo di persone presenti ( $N_{max}$  - massimo affollamento ipotizzabile).

Si ha :

$$N_{mod} = \frac{N_{max}}{C} \quad (2)$$

Rappresenta il numero delle persone che possono defluire attraverso una uscita della larghezza di un modulo in un intervallo di tempo prestabilito :

$$C = r_L \cdot V \cdot \Delta t \quad (3)$$

dove :

$C$  = capacità di deflusso (pers /mod)

$r_L$  = densità lineare di flusso (pers / m)

$V$  = velocità di deflusso (m /sec)

$\Delta t$  = tempo di evacuazione massimo ammissibile (sec).

La relazione (3) evidenzia la dipendenza della capacità di deflusso dai fattori influenzanti la mobilità delle persone (densità lineare e velocità di deflusso), ma anche dal tempo di evacuazione massimo ammissibile che è evidentemente correlato con il rischio presente nell'attività.

A seconda del numero di piani e del livello di piano in cui è ubicato il locale, le norme stabiliscono in via generale i seguenti valori:

- 50 per il piano terra ;
- 37,5 per i piano interrati ;
- 37,5 per gli edifici fino a tre piani fuori terra ;
- 33 per gli edifici a più di tre piani fuori terra.

La capacità di deflusso non viene valutata dal progettista, ma fissata dalla norma, in quanto si presume che tali valori assicurino, comunque in ogni caso, un livello minimo di sicurezza.

Questo criterio, se da una parte rappresenta il non trascurabile vantaggio di fornire uno strumento veloce e pratico per la definizione dei progetti delle attività più comuni tra quelle soggette ai controlli di prevenzione incendi, dall'altra non valuta l'effettiva situazione di rischio presente nel caso specifico, per poter assumere eventualmente misure integrative a quelle stabilite dalle norme ove se ne presentasse la necessità.

## 8. VELOCITÀ DI ESODO

In condizioni di emergenza la percezione del pericolo incute paura e stimola ad una risposta che provoca il movimento. La velocità del movimento può assumere diversi valori in intensità direzione e verso.

La velocità di esodo normale può essere determinata attraverso la funzione :

$$v = 1,3 - 0,0901 r_s^{4,3758} \quad \text{per } r_s \leq 1,2 \quad (4)$$

$$v = 1,272 r_s^{-0,7954} \quad \text{per } r_s \geq 1,2 \quad (5)$$

dove con  $\rho_s$  si è indicata la densità di affollamento. Nel grafico di fig. 2 è rappresentata la funzione in condizioni di evacuazione normale e al buio.

I valori della velocità di deflusso e della densità di deflusso, possono essere determinati direttamente da osservazioni sperimentali o calcolate in base ai dati, pur essi sperimentali, riflettenti alcuni parametri del movimento della folla (lunghezza e frequenza del passo).

Dall'esame dei dati sperimentali è possibile constatare che nel caso di percorsi larghi circa m 1,20, le persone tendono a disporsi in due linee parallele mentre per larghezze uguali o superiori a 1,80 le persone tendono a disporsi su linee sfalsate.

Nella fig. 3 si nota, in base all'indice di affollamento (mq/pers) , come varia la velocità (m/min) ed il flusso di persone (pers/metri x min).

È stato possibile accertare che al di sotto di una concentrazione di 0,65 mq/persona la fila ondeggia diminuendo la sua velocità fino ad arrestarsi quando tale concentrazione scende sotto 0,20 mq/persona.

Relativamente al flusso delle persone, definito come il prodotto della velocità ad una determinata concentrazione per

l'inverso della concentrazione stessa (persona/m x min), esso raggiunge il massimo (105 persone/m x min) quando la concentrazione vale circa 0,30 mq/pers, cioè ad un valore molto prossimo a quello di panico (0,25 mq/pers).

In tal modo è resa possibile una classificazione dei diversi tipi di evacuazione.

Per ogni diversa condizione di esodo mutano quindi i parametri fondamentali tra cui la velocità di deflusso e l'indice di affollamento che aumenta, mano a mano che si passa dal movimento normale a quello critico, fino ad arrivare alla condizione di panico in cui la velocità di deflusso si annulla.

## 9. PROCESSI DI SFOLLAMENTO

L'esodo di un certo numero di persone da un edificio o da un ambiente può quindi avvenire in diverse condizioni di marcia, ciò dipende dal livello di rischio (reale o presunto) presente nell'attività.

In tabella n. 2 sono riportati i parametri caratteristici di tre tipi di evacuazione :

Evacuazione normale

E' quella relativa ad un certo numero di persone che camminando in una determinata direzione per raggiungere una uscita di sicurezza lo fanno in modo ordinato, mantenendo una distanza di marcia pari a 1,08 m/per, con indice di affollamento superiore a 0,65 mq/per . E' caratterizzata da una densità di deflusso di circa 1,54 per/mq e da velocità di deflusso intorno a 0,66 m/sec, tale da rendere il contatto fisico poco probabile, si manifesta in presenza di un livello di rischio basso.

Evacuazione di emergenza

E' quella relativa ad un certo numero di persone che camminando in una determinata direzione per raggiungere una uscita di sicurezza lo fanno forzatamente disposte una dietro l'altra , mantenendo una distanza di marcia minima pari a 0,45 m/per, con indice di affollamento di 0,27 mq/per. E' caratterizzata da una densità di deflusso di 3,7 per /mq e da velocità di deflusso di 0,50 m/sec, tale da rendere probabile il contatto fisico, si manifesta in presenza di un rischio medio.

Evacuazione critica

E' quella relativa ad un certo numero di persone che camminando in una determinata direzione per raggiungere una uscita di sicurezza lo fanno in modo incontrollato ammassandosi una dietro l'altra , mantenendo una distanza di marcia inferiore a (0,45 m/per), con indice di affollamento di 0,25 mq/per . E' caratterizzato da un'alta densità di deflusso intorno a 4 per/mq e velocità di deflusso ridotta intorno a 0,33 m/sec, si manifesta in condizione di rischio elevato, quando le persone a tutti i costi e nel più breve tempo possibile, desiderano spasmodicamente di allontanarsi dal luogo in cui si trovano.

Nelle situazioni estreme di panico, quando la superficie a disposizione di ogni persona raggiunge il valore di 0,2 mq/pers, il contatto fisico risulta inevitabile, si genera in tal caso una pressione fisica che può raggiungere, anche se raramente, valori insostenibili con conseguente schiacciamento delle persone che possono riportare conseguenze fisiologiche anche gravi, la velocità di deflusso in tal caso è prossima a zero (evacuazione di panico).

## 10. STADI DELLO SFOLLAMENTO

Il processo di sfollamento viene convenzionalmente diviso in tre stadi :

1° stadio - comprende il movimento delle persone da un punto del locale alle uscite del locale stesso. Il primo stadio di evacuazione rappresenta una fase delicata in quanto richiede tempi brevissimi di svolgimento per evitare che le persone risentano delle conseguenze dovute ai prodotti della combustione.

2° stadio - comprende il movimento delle persone dalle uscite del locale a quelle esterne. Il secondo stadio consente tempi più lunghi per lo svolgimento qualora avvenga entro luoghi sicuri (scale a prova di fumo, filtri a prova di fumo, ecc.).

3° stadio - corrisponde al movimento delle persone dalle uscite esterne del compartimento sino allo spazio esterno lontano dal luogo di pericolo.

## 11. TEMPO DI EVACUAZIONE

La progettazione delle vie di esodo (lunghezza dei percorsi, larghezza ecc.) è legata al tempo necessario per lasciare l'edificio in sicurezza - tempo di evacuazione ( $tev$ ), quest'ultimo dipende dai parametri dell'incendio, cioè dal tempo che impiega l'incendio stesso a passare dalla fase iniziale di ignizione fino a flash over (incendio generalizzato) in cui le condizioni dell'ambiente non sono più compatibili con la permanenza delle persone, per la presenza di fumo, calore e gas tossici prodotti dalla combustione.

La durata dell'evacuazione, come rappresentato in Fig. 4, è costituita da una somma di tempi parziali :

$$tev = tr + ta \quad (6)$$

dove :

$tr$  = tempo di ritardo - intervallo di tempo trascorso dall'inizio dell'incendio e l'azione di risposta (inizio del moto).

$ta$  = tempo di azione - intervallo di tempo trascorso dall'inizio di risposta al raggiungimento di un luogo sicuro o spazio a cielo libero.

Si ha :

$$tr = tper + tric \quad (7)$$

dove :

$tper$  = tempo di percezione o di reazione - intervallo di tempo trascorso fra l'inizio dell'incendio e la percezione dell'incendio ;

$tric$  = tempo di ricognizione - intervallo di tempo trascorso dalla percezione dell'incendio all'inizio dell'azione di risposta.

Ed inoltre :

$$ta = tul + ti + ts + tua \quad (8)$$

dove :

$tul$  = tempo d'uscita - tempo impiegato per raggiungere l'uscita del locale.

$ti$  = tempo di imbocco - tempo trascorso per imboccare l'uscita del locale.

$ts$  = tempo discesa scale - tempo impiegato per il deflusso verticale attraverso le scale.

$tua$  = tempo d'uscita all'aperto - tempo impiegato per allontanarsi dall'uscita in modo da non intralciare il deflusso delle altre persone consentendo alla folla di disperdersi all'aperto.

## 12. TEMPO DI EVACUAZIONE DISPONIBILE

Il tempo di evacuazione disponibile (intervallo di tempo trascorso fra la percezione dell'incendio e l'istante in cui le condizioni del locale diventano intollerabili per l'uomo) è dato da :

$$tevdisp = tric + ta \quad (9)$$

Il tempo  $tper$  è impiegato per percepire l'incendio e pertanto non può essere computato ai fini dell'evacuazione.

La normativa italiana tiene conto indirettamente del tempo di sfollamento fissando in maniera diversificata le capacità di deflusso delle uscite in funzione della quota del piano dal quale deve avvenire l'esodo.

### 13. TEMPO DI EVACUAZIONE MASSIMO

Il tempo di evacuazione disponibile rappresenta in pratica il tempo di evacuazione massimo ammissibile (tempo max di evacuazione), poiché tale tempo non è di facile determinazione viene fatto coincidere con il tempo di esposizione massimo ammissibile, che è un intervallo di tempo prestabilito corrispondente al tempo di permanenza o di esposizione massimo ammissibile di una persona media, ad una atmosfera contaminata dai prodotti della combustione. Rappresenta il tempo necessario per raggiungere un luogo sicuro da parte di un numero di persone coinvolte in un incendio pari alla capacità di deflusso, al limite delle condizioni critiche.

Tale tempo è generalmente stimato in 90 secondi per i percorsi in piano (dei quali 10÷15 persi dal disorientamento iniziale e dagli inconvenienti prodotti dal fumo).

### 14. CONDIZIONI CRITICHE

Con la definizione di condizioni critiche si intende una situazione caratterizzata da eccesso di temperatura e calore e/o da presenza di concentrazione di ossido di carbonio CO, che non consente la permanenza delle persone per il tempo necessario all'evacuazione.

Le conoscenze oggi disponibili permettono di determinare con buona approssimazione i parametri fondamentali che caratterizzano una situazione critica: la quantità di fumo prodotta dall'incendio, il processo di stratificazione dello strato di fumo, la posizione dello strato limite di fumo rispetto al soffitto in ogni istante, la visibilità delle uscite di sicurezza interessate dal fumo, la temperatura del fumo e infine la concentrazione attesa di CO.

### 15. L'EFFETTO DEI PRODOTTI DELLA COMBUSTIONE

L'esperienza ha evidenziato più volte che l'elemento in grado di condizionare fortemente l'esodo delle persone coinvolte in un incendio è costituito dai prodotti della combustione. Ai fini dell'influenza esercitata dalla combustione sull'ambiente, i prodotti della combustione possono essere distinti in quattro categorie: gas di combustione, calore, fiamma e fumi.

I gas di combustione sono i prodotti gassosi della reazione di ossidazione del combustibile, che restano allo stato gassoso anche quando vengono raffreddati alla temperatura ambiente di 15°C. La loro presenza dipende essenzialmente dalla composizione chimica dell'elemento combustibile, dalla concentrazione di ossigeno nell'aria e dalla temperatura raggiunta durante la combustione. Poiché i materiali combustibili contengono per la maggior parte carbonio, si ha produzione di anidride carbonica CO<sub>2</sub>, in presenza di elevate concentrazioni di ossigeno, si forma invece ossido di carbonio CO in caso contrario. Oltre all'anidride carbonica e l'ossido di carbonio, tra i gas che possono svilupparsi a seguito della reazione di combustione e della decomposizione termica ricordiamo l'acido cloridrico HCl (dalle comuni materie plastiche viniliche), l'acido cianidrico HCN (dalle materie plastiche poliamminiche e acriliche), l'acido fluoridrico HF, l'idrogeno solforato H<sub>2</sub>S (dalla combustione del cloroprene), l'anidride solforosa SO<sub>2</sub> (dalla combustione della gomma e delle plastiche polisolfonate), l'ammoniaca NH<sub>3</sub> e ossidi di azoto, CH<sub>n</sub>, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>, ecc.. Se si pensa alla notevole quantità di materiali plastici presenti nelle costruzioni, si comprende come il problema non sia irrilevante.

È opportuno far rilevare come la produzione di fumo per i materiali plastici sia notevolmente superiore a quella prodotta dal legno.

Dalla tabella 3, nella quale è riportato il comportamento dei materiali plastici in caso di incendio, si rilevano (posto uguale ad uno l'indice relativo alla produzione di fumo per il legno), gli indici di produzione di fumo per il poliestere, il pvc e il polistirolo, rispettivamente di 124,240 e 296. Ciò può dare una idea della necessità di ridurre negli arredi la quantità di materiale plastico presente.

Numerosi studi hanno consentito di stabilire l'effetto che le componenti tossiche dei prodotti della combustione hanno sull'organismo umano, in particolare per l'ossido di carbonio presente in grande quantità nei fumi si sono riportate nella tabella 4 le massime concentrazioni in aria tollerabili per l'uomo in condizioni di leggero sforzo, in funzione del tempo di esposizione, con i relativi effetti. La presenza di CO è estremamente pericolosa in quanto l'ossido di carbonio è un gas inodore ed incolore che si sviluppa dalla combustione incompleta di qualsiasi tipo di combustibile. La patogenesi è rappresentata dal legame irreversibile che si viene a creare tra CO ed emoglobina (Hb) con la formazione conseguente di carbossiemoglobina (HbCO).

Il volume di fumo prodotto e la tossicità non sono tuttavia gli unici elementi da prendere in considerazione, importante sono anche la velocità di produzione di fumo e gli effetti sulla visibilità e l'orientamento.

Riguardo alla velocità è stato possibile accertare ( Fig. 5 ) come in soli 22 secondi, un fuoco del perimetro di 12m, in una stanza con il soffitto alto 6 m e superficie di 100 mq, sia in grado di produrre una quantità di fumo sufficiente a riempire il volume che sovrasta la testa delle persone sedute all'interno. Il calore fa parte dei prodotti energetici della combustione e rappresenta il principale veicolo per la propagazione dell'incendio. Gli effetti del calore da un punto di vista fisiologico dipendono dalla superficie corporea interessata, dal tempo di esposizione e dalle condizioni ambientali a contorno.

Il fumo risulta costituito da piccolissime particelle solide, liquide e aerosoli, nebbie e vapori condensati. La grandezza di questi aerosoli varia di 0,001 micron a 10 micron, per cui non risultano visibili, ed essendo fino a 100 volte più piccoli delle molecole dei gas prodotti dalla combustione, sono trasportati in alto anche dalla debole spinta termica originata da un modesto focolaio. Le particelle solide sono costituite da particelle di carboni, da catrami e da altre sostanze incombuste. Le particelle liquide sono costituite da vapore d'acqua che deriva dall'evaporazione dell'umidità presente nel sistema e in larga parte dalle reazioni del comburente ossigeno con l'idrogeno.

Gli effetti sulla visibilità e l'orientamento sono determinanti in quanto il fumo denso impedisce la visibilità e l'orientamento, rendendo ancor più difficile il raggiungimento delle uscite di sicurezza, basti sapere che il campo di visibilità può variare da 30 a 5 m. Alla scarsa visibilità si deve inoltre aggiungere la dispersione della luce per la presenza del fumo provocata da sorgenti luminose comunque disposte (dietro, sopra o davanti alla persona).

La dispersione della luce riduce il contrasto di tutte le figure e quindi anche dei pittogrammi indicanti le uscite di sicurezza aumentando così la confusione e il disorientamento.

Si noti che Il G.S.A. (General Service Administration), stabilisce che gli occupanti di un edificio o locale sono in grado di raggiungere una zona sicura (spazio a cielo libero, scala a prova di fumo, compartimento, filtro a prova di fumo), per i percorsi in piano, entro un tempo di 90 secondi dall'allarme, 15 secondi dei quali possono essere persi a causa del disorientamento iniziale per la presenza di fumo o per aver preso una direzione sbagliata. Il valore di 90 secondi è stato stabilito tenendo conto delle possibili capacità di sopportazione di persone agitate, esposte ad un ambiente contaminato e desiderose spasmodicamente di allontanarsi lungo le vie di esodo.

## 16. LUNGHEZZA DELLE VIE DI ESODO

Rappresenta la massima distanza percorribile da qualsiasi punto del piano dell'edificio ad un luogo sicuro o all'aperto.

Il valore di questa grandezza, in genere stabilita dalle norme, è data da :

$$L_{max} = V \cdot \Delta t \quad (10)$$

dove :

$L_{max}$  = massima distanza

$V$  = velocità di deflusso (m/sec)

$\Delta t$  = tempo massimo ammissibile in atmosfera contaminata dai prodotti della combustione (sec).

Le distanze così determinate dipendono oltre che dalla velocità di deflusso anche dal valore attribuito al tempo max di evacuazione.

## 17. MODELLI DI EVACUAZIONE

Lo studio dell'esodo delle persone da un fabbricato può essere effettuato in tre modi diversi in funzione delle caratteristiche del fabbricato stesso :

- evacuazione totale,
- evacuazione parziale,
- modello capacitivo.

L'evacuazione totale da un fabbricato può essere presa in considerazione quando questo è costituito da non più di tre piani fuori terra con percorsi di esodo di lunghezza limitata e scale non compartimentate (scale aperte o a giorno). Pertanto se si hanno più di tre piani fuori terra il modello non è applicabile e occorre ricorrere a scale a prova di fumo o eccezionalmente protette, che non siano facilmente invase dai fumi dell'incendio.

Nei fabbricati a grande altezza (maggiore di 15 piani) o con particolari destinazioni come gli ospedali, a causa delle caratteristiche degli occupanti (degenti), si può ricorrere al modello di evacuazione selettiva o parziale che prevede l'evacuazione degli occupanti da un comparto minacciato da pericolo potenziale o reale verso altro compartimento protetto, appositamente realizzato. In questo caso devono essere realizzati luoghi sicuri statici interni al fabbricato. Essi possono essere localizzati in una parte del piano separati da filtri a prova di fumo (evacuazione orizzontale), oppure possono essere costituiti da interi piani soprastanti o sottostanti, adeguatamente compartimentati con scale del tipo a prova di fumo.

Il modello capacitivo si basa invece sul dimensionamento delle aree di percorrenza del secondo stadio, che in tal caso devono avere i requisiti di luogo sicuro, in funzione delle persone da evacuare. Fissando la capacità di deflusso pari a 33 persone modulo, si può dimostrare che nessun tratto di scala sarà occupato contemporaneamente da persone provenienti da più di due piani. In tal caso è lecito dimensionare le vie d'esodo del secondo stadio (scale, rampe, ecc.) riferendosi solo all'affollamento massimo ipotizzabile in due piani consecutivi. Nel caso di capacità di deflusso superiore a 33 le vie di esodo dovrebbero essere calcolate in base all'affollamento massimo di tre piani consecutivi.

## **18. NORMATIVA INTERNAZIONALE**

I criteri a cui si ispira la normativa internazionale per la progettazione di un sistema di vie di esodo si basano sostanzialmente sulla regolazione del tempo di evacuazione assicurando che questi sia inferiore al tempo di evacuazione ammissibile (tempo di esposizione massimo della persona all'azione nociva dei prodotti della combustione) e sulla regolazione dei parametri spaziali (densità di affollamento, capacità di deflusso, lunghezza del percorso).

## **19. LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DELLE VIE DI ESODO DAGLI EDIFICI AD USO COLLETTIVO**

Si descrivono sommariamente le principali caratteristiche delle vie di esodo dai vari locali e/o fabbricati ad uso collettivo previste dalle norme italiane.

### **19.1. Case di cura, cliniche, ospedali.**

Gli edifici ospedalieri sono delle strutture complesse, in cui molteplici sono gli aspetti da considerare nell'ambito progettuale. Per queste attività, come precedentemente accennato, per la presenza di persone non autosufficienti, oltre alle normali vie di esodo che vengono utilizzate per il deflusso delle persone autonome, viene previsto un modello di evacuazione di tipo orizzontale progressivo, che prevede lo spostamento dei pazienti in un compartimento adiacente capace di contenerli, proteggerli ed assisterli fino a quando l'incendio non sia stato domato o fino a che non diventi necessario spostarsi in altro compartimento adiacente o di altro livello. La capacità di deflusso prevista viene anche in questo caso diversificata a seconda dell'altezza del piano e del numero di piani e fissata nei valori di 50, 37,5 e 33. La lunghezza delle vie di esodo viene fissata in 40 m per raggiungere le uscite su luogo sicuro, 30 m per raggiungere un compartimento attiguo. Per le strutture ospedaliere che occupano più di due piani fuori terra la larghezza totale delle vie d'uscita che immettono all'aperto viene calcolata sommando il massimo affollamento previsto in due piani consecutivi, con riferimento a quelli aventi maggiore affollamento.

A titolo indicativo riportiamo alcuni accorgimenti idonei a migliorare la sicurezza dell'esodo degli occupanti :

- 1) I letti siano dotati di ruote ;
- 2) Le porte delle sale di degenze siano sufficientemente larghe e apribili verso l'esterno per far passare agevolmente i letti (almeno 1,20 m) ;
- 3) Lungo i percorsi non siano presenti gradini, ma solo rampe facilmente superabili (pendenza 5 - 8%) ;
- 4) I filtri a prova di fumo abbiano lunghezza sufficiente a contenere con le porte tagliafuoco chiuse, un letto e l'accompagnatore (m 3 x 3,50).

### **19.2. Scuole**

Nell'edilizia scolastica il dimensionamento delle vie di esodo si basa sulla capacità di deflusso che per tale circostanza è stata unificata nel valore di 60 pers./mod. indipendentemente dal numero dei piani di cui è costituito l'edificio e dal piano a cui avviene l'esodo. La lunghezza delle vie d'uscita viene fissata in 60 m. Nella determinazione di tali valori, che si discostano sensibilmente da quelli consueti, il normatore ha evidentemente tenuto conto di due aspetti fondamentali :

- a) la circostanza che le persone presenti nelle scuole conoscono perfettamente gli ambienti nei quali abitualmente operano ;

b) la presenza di un rischio basso.

### 19.3. Attività turistico alberghiere

Per le strutture ricettive è prevista una capacità di deflusso di 50, 37,5 e 33 variabili a seconda del piano e del numero di piani di cui è costituito l'edificio. La lunghezza delle vie d'uscita che immettono su luogo sicuro o su scala di sicurezza esterna è fissato in 40 m. È consentito, per edifici fino a 6 piani fuori terra, che il percorso per raggiungere una uscita su scala protetta sia non superiore a 30 m, purché la stessa immetta direttamente su luogo sicuro. Per le strutture ricettive che occupano più di due piani fuori terra, la larghezza totale delle vie d'uscita che immettono all'aperto viene calcolata sommando il massimo affollamento previsto in due piani consecutivi, con riferimento a quelli aventi maggiore affollamento.

## 20. LA PROGETTAZIONE DELLE VIE DI ESODO IN RELAZIONE AL RISCHIO

L'esodo di una folla da un ambiente o da un compartimento è legato all'evento che l'atmosfera di tale ambiente contaminato dai prodotti della combustione risulti tossico per i presenti (rischio di tossicità).

È necessario evidenziare come le norme vigenti in relazione al dimensionamento delle vie di esodo (distribuzione delle uscite, numero, lunghezza, capacità di deflusso) tengano in minimo conto le caratteristiche del locale o del compartimento, (altezza, dimensione delle aperture di aerazione, resistenza al fuoco delle strutture) che invece costituiscono fattori decisamente importanti, perché da essi dipende il rischio di saturazione di un ambiente dai prodotti della combustione in caso di incendio e di conseguenza il rischio di tossicità delle persone presenti.

Per stabilire la relazione che lega le vie di esodo con il rischio di tossicità di un ambiente, occorre riferirsi ad una serie di parametri, di cui i più significativi, contenenti già in se tutti i presupposti di analisi di rischio, sono la classe d'incendio del compartimento e le caratteristiche di ventilazione del compartimento stesso (fattore di ventilazione), di cui è facile intuire la dipendenza con i sistemi di esodo. Per alti valori del fattore di ventilazione le possibilità di saturare l'ambiente sono ridotte e diminuiscono pertanto le probabilità di esplosività o di tossicità mortale, mentre per alti valori della classe aumenta il potenziale di incendio in un ambiente e quindi tutte le conseguenze ad esso relative.

### 20.1 Fattore di ventilazione

Costituisce un parametro significativo della probabilità che si verifichi l'evento considerato (rischio di tossicità).

Tale fattore, adottato dalla tecnologia antincendi per la determinazione del tempo al quale corrisponde la temperatura massima di un incendio reale, è espresso da :

$$v = \frac{Av}{At} \sqrt{h} \quad (11)$$

dove :

$v$  = fattore di ventilazione ( $m^{1/2}$ )

$Av$  = area della superficie di ventilazione (mq)

$At$  = area totale del compartimento (mq)

$h$  = media ponderata delle altezze delle aperture di ventilazione (m)

### 20.2. Classe d'incendio

Costituisce un parametro significativo delle conseguenze di pericolosità dell'evento considerato.

È il numero che esprime in minuti primi, la durata equivalente dell'incendio nel compartimento arrotondato ad uno dei seguenti valori : 15-30-45-60-90-120-180., viene calcolato secondo quanto riportato nella Circolare Ministero Interno D.G.S.A. n. 61 del 1991. Si ha :

$$C = K \times q \quad (12)$$

dove :

$K$  = coefficiente di riduzione che tiene conto delle condizioni reali dell'incendio del locale o del compartimento mediante valutazioni sulle caratteristiche dei materiali suscettibili di prendere fuoco e sulle condizioni al contorno dell'ambiente.

$q$  = carico d'incendio

## 21. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Il valore del rischio di un evento temuto (es. tossicità dai prodotti della combustione a seguito di un incendio) è una funzione che dipende direttamente dalla probabilità di accadimento e può essere rappresentato da una espressione del tipo :

$$R = f(P, M, p, k) \quad (13)$$

dove :

$R$  = rischio associato ad un evento

$P$  = probabilità che si verifichi tale evento

$M$  = magnitudo (entità del danno) che assume al verificarsi dell'evento

$p$  = probabilità della presenza dell'uomo al verificarsi dell'evento

$k$  = formazione e informazione delle persone esposte al rischio

I primi tre parametri possiamo assumerli come direttamente proporzionali al livello di rischio : maggiori sono la probabilità di accadimento, la magnitudo e la presenza dell'uomo maggiore è l'entità del rischio.

Il quarto parametro ( $k$ ) è, invece, inversamente proporzionale al livello di rischio, ovvero maggiore è l'informazione e la formazione specifica delle persone minore sarà la probabilità che si verifichi l'evento e l'entità del danno. Pertanto l'espressione matematica del rischio può essere semplificata nella seguente :

$$R = P \times M \times p/k \quad (14)$$

Generalmente tale formula viene ulteriormente semplificata nella espressione :

$$R = P \times M \quad (15)$$

avendo inglobato il parametro  $p$  nella probabilità  $P$  di accadimento dell'evento dannoso, e il parametro  $k$  sia in  $P$  che in  $M$ . Nel piano questa espressione rappresenta una curva del tipo rappresentato in Fig. 6.

Osservando le curve  $R = M \times P$  è possibile cogliere la differenza di significato tra un intervento di prevenzione e quello di protezione.

Nella maggior parte dei casi non si dispone di dati certi da attribuire a  $P$  ed  $M$ , in questi casi si preferisce semplificare il problema facendo riferimento non più ad una funzione matematica ma ad una matrice dei rischi, da questa derivata, del tipo indicato in figura 7. L'utilizzo della matrice dei rischi prevede la determinazione del livello di rischio attraverso l'attribuzione di valori, compresi tra 1 e 4, alla probabilità che si verifichi l'evento dannoso e all'entità del danno che si avrebbe qualora si verificasse. Ciò richiede la disponibilità dei dati statistici che spesso non sono reperibili, pertanto vengono assunti in base alla esperienza professionale prendendo a riferimento i parametri sopra menzionati. In tale matrice ad ogni casella corrisponde un valore di indice di rischio individuato da un numero pari al prodotto degli indici di riga e di colonna, dal valore 1 (riga 1 - colonna 1) al valore 16 della casella (riga 4 - colonna 4), con tutti i valori intermedi per le altre caselle. Le diverse poligonali che separano le caselle con lo stesso valore di rischio individuano diverse zone di valutazione tra le quali, almeno una, è il limite di accettabilità, significando che i valori reali superiori alla poligonale sono condizioni inaccettabili. In questo caso la funzione che esprime il rischio accettabile non è più una funzione esponenziale

continua come nel grafico di Fig. 6, ma una poligonale a gradini ove i valori o le caselle a destra e superiori individuano situazioni non accettabili, invece quelle a sinistra o inferiori indicano situazioni di rischio accettabili e di livello tanto minore quanto maggiore è lo scostamento dalla poligonale limite.

E' possibile quindi valutare il livello di rischio presente in un compartimento e assumere di conseguenza i giusti parametri per il dimensionamento delle vie di esodo, attraverso i valori del fattore di ventilazione  $w$  (probabilità) e della classe del compartimento  $C$  (magnitudo) come riportato in Tab.6.

## 22. PARAMETRI FONDAMENTALI DELLE VIE DI ESODO DAL PRIMO STADIO IN RELAZIONE AL RISCHIO

Da quanto sopra esposto si comprende quindi come i parametri fondamentali dell'esodo mutino a seconda del livello di rischio presente. Una volta valutato il livello di rischio è possibile, regolando il tempo max di evacuazione in 45 - 60 e 90 secondi, rispettivamente per un rischio elevato, medio e basso, ottenere i valori della lunghezza delle vie di esodo e

della capacità di deflusso riportati in Tab.7, validi per l'evacuazione in piano, riferiti al primo stadio e a locali situati al piano terreno.

I valori della capacità di deflusso così determinati (valori di calcolo) dovranno essere adeguatamente corretti per tener conto, sia delle incertezze di cui sono affetti i dati utilizzati nello studio, sia del tipo di folla a cui l'evacuazione si riferisce, tuttavia costituiscono un valido riferimento per la progettazione delle vie di esodo, una volta valutato il livello di rischio presente.

### 23. BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Miles, *Techniques of Value Analysis and Engineering*, Mc. Graw Hill - New York - 1972
- [2] I. Tiezzi, *Antologia organica di prevenzione incendi*, E.P.C., Roma
- [3] I. Tiezzi - G. Presti - A.A.V.V., *L'antincendio nell'edilizia civile*, Pirola, Milano (1992)
- [4] G. Giomi, *La prevenzione incendi nelle scuole*, E.P.C., Roma (1994)
- [5] M. Marchini, *Guida rapida di prevenzione incendi*, E.P.C., Roma, p. 87
- [6] A. Cascarino, *L'evacuazione di emergenza negli edifici*, Rivista antincendio, 1984, E.P.C., Roma
- [7] M. Marchini, *Lo sfollamento dei locali*, Rivista antincendio n.12/84, E.P.C., Roma
- [8] W.M. Haessler, *È complessa la progettazione delle uscite di sicurezza*, Riv. Antincendio n.8/78, E.P.C., Roma
- [9] D. Ranalletta, *Vie di esodo ed evacuazione di emergenza dagli edifici*, Riv. Antincendio, febb. 93, E.P.C., Roma
- [10] G. Amico - A. Amico, *L'importanza delle vie di esodo*, Riv. Antincendio, giu. 96, E.P.C., Roma
- [11] P.L. Maffei e Altri, *La Qualità Totale e l'Analisi del Valore nel Processo Edilizio*, ETS Ed., Pisa 1996

Tab. 2 - Parametri del moto in funzione del tipo di evacuazione

TIPO DI EVACUAZIONE	VELOCITÀ DI DEFLUSSO $v$ (m / sec)	DENSITÀ DI DEFLUSSO $\rho_S$ (per / m <sup>2</sup> )	DENSITÀ LINEARE DI FLUSSO $\rho_L$ (per / m)	INDICE DI AFFOLL. $I_A$ (m <sup>2</sup> / per)	DISTANZA DI MARCIA $D_M$ (m / per)
NORMALE	0.67	1.54	0.92	0.65	1.08
DI EMERGENZA	0.5	3.7	2.22	0.27	0.45
CRITICA	0.33	4	2,4	0.25	0.42

Fig. 2 - Curve di velocità di esodo in funzione della densità di affollamento

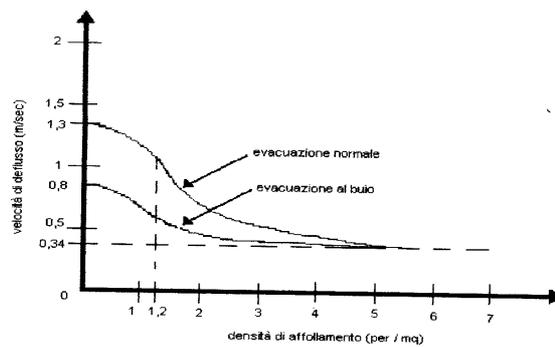


Fig. 3 - Flusso e velocità di flusso in funzione dell'indice di affollamento.

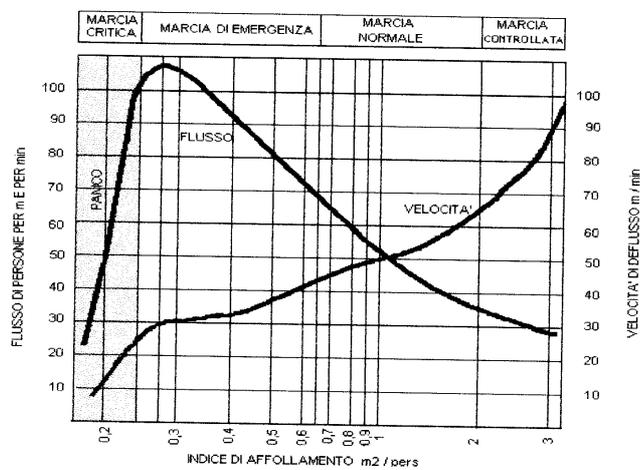
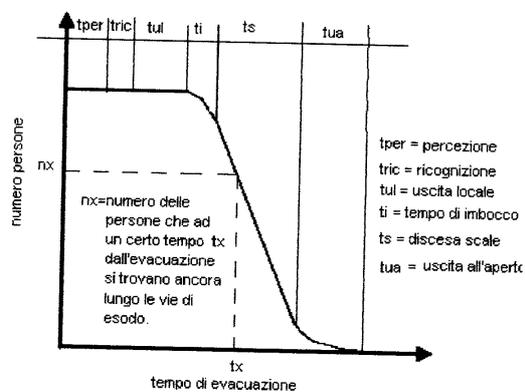


Fig. 4 - Riduzione del numero delle persone in funzione del tempo di evacuazione.



Tab. 3 - Comportamento dei materiali plastici in caso di incendio

PRODOTTO	Potere calorifico (Kcal/Kg)	Potere calorifico (BTU/lb)	Temperatura di innesco da sorgente esterna (°C)	Temperatura di combustione spontanea (°C)	Temperatura di decomposizione (°C)	Produzione di fumo in % min.
Legno (per confronto)	4000 ÷ 4500	7200 ÷ 8100				1 (val. relat.)
Poliestere + fibra di vetro	4500	8100				124
Polimetilmetacrilato (perspex)	6300	11300	300	460	170 ÷ 300	4
Polistirolo	9500	17100	360	495		296
PVC	4300	7700	390	455	220	240

Tab. 4 - Effetti sull'uomo della concentrazione di CO in p.p.m. in funzione del tempo di esposizione

EFFETTO	tempo max di esposizione sotto sforzo (min)	CO Concentrazione PPM
trascurabile	20	500
sensibile	10	1.000
collasso	4	2500
collasso	2	5000
mortale	1	10000

Fig. 5 - Strati di fumo in un locale di 100 mq.

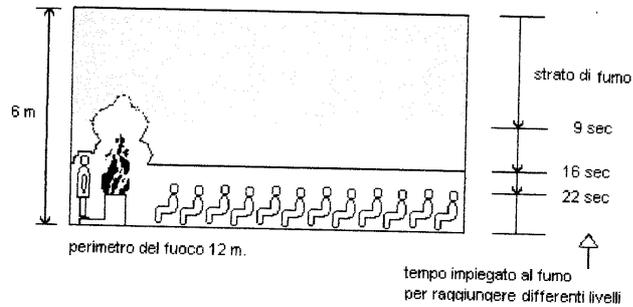
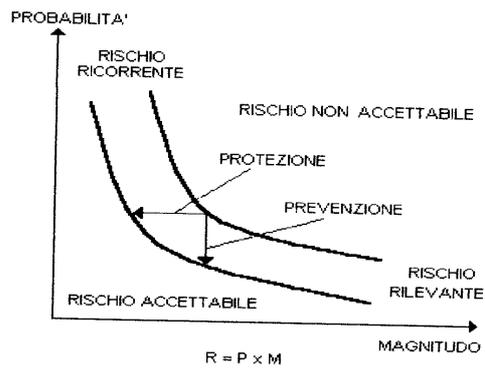


Fig. 6 - Rappresentazione del diagramma M,P



Tab. 5 - Scale semiquantitative e indice di rischio

PROBABILITÀ	PESO	MAGNITUDO
BASSISSIMA	1	TRASCURABILE
MEDIO - BASSA	2	MODESTA
MEDIO - ALTA	3	NOTEVOLE
ELEVATA	4	INGENTE

RISCHIO	INDICE
INACCETTABILE	$R > 8$
ELEVATO	$4 \leq R \leq 8$
MEDIO	$2 \leq R \leq 3$
BASSO	$R \leq 1$

Tab. 6 - Definizione di P,M

PROBABILITÀ	PESO	MAGNITUDO
$w > 0,12$	1	$C < 30$
$0,08 < w \leq 0,12$	2	$30 \leq C < 60$
$0,04 < w \leq 0,08$	3	$60 \leq C < 120$
$w \leq 0,04$	4	$C \geq 120$

Fig. 7 - Matrice di rischio

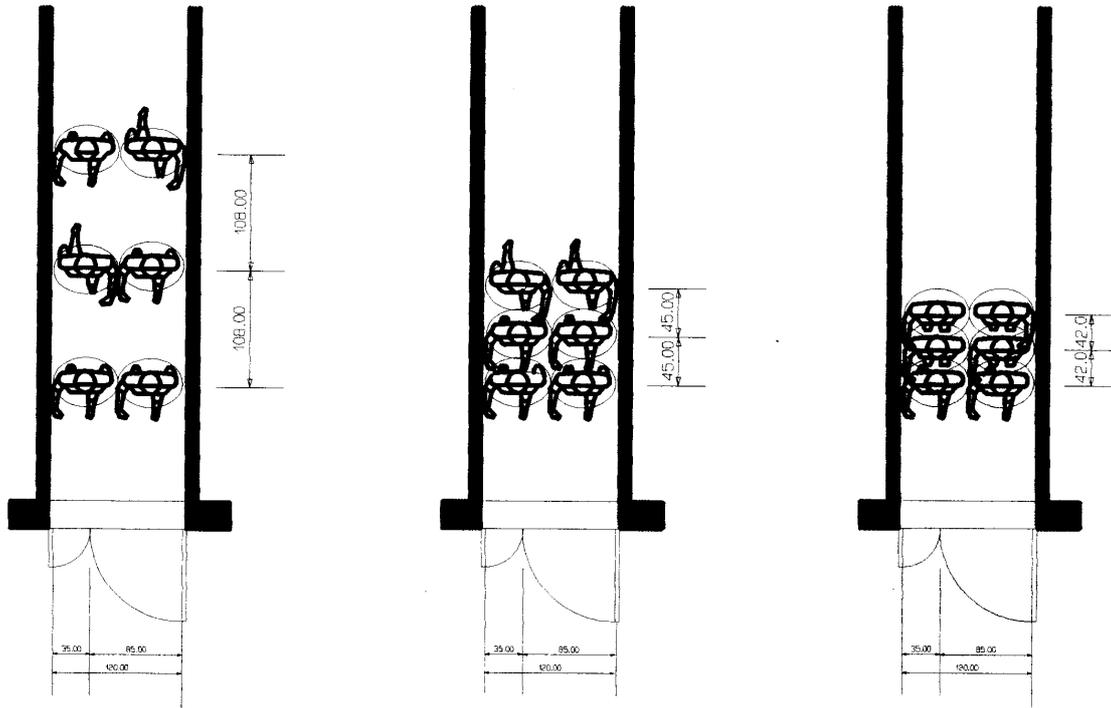
PROBABILITA'

4	8	12	16
3	6	9	12
2	4	6	8
1	2	3	4

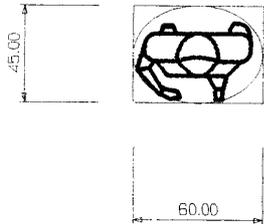
MAGNITUDO

Tab. 7 - Parametri delle vie di esodo in relazione al rischio

RISCHIO	TIPO DI EVACUAZIONE	VELOCITÀ DI DEFLUSSO (m/sec)	TEMPO MAX DI EVACUAZIONE (sec)	LUNGHEZZA DELLE VIE DI ESODO (m)	DENSITÀ LINEARE DI FLUSSO (pers/m)	PORTATA DI DEFLUSSO (pers/sec)	CAPACITÀ DI DEFLUSSO (pers/mod)
ELEVATO	CRITICA	0,33	45	15	2,4	0,79	36
MEDIO	DI EMERGENZA	0,5	60	30	2,22	1,11	67
BASSO	NORMALE	0,67	90	60	0,92	0,62	56



**EVACUAZIONE NORMALE    EVACUAZIONE DI EMERGENZA    EVACUAZIONE CRITICA**



**CORPO ELLISSE**