



«Scienza e Tecnica della Prevenzione Incendi»  
A.A. 2013 - 2014

## **VULNERABILITA' - CONSEGUENZE**



Docente: ing. Mauro Marchini

[mgm@mauromarchini.com](mailto:mgm@mauromarchini.com)



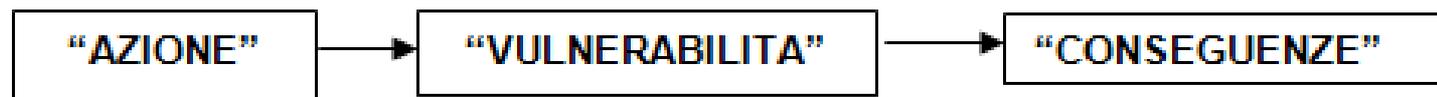
## FATTORI DI ESPOSIZIONE E VULNERABILITÀ

La valutazione dei rischi di incendio è un processo di confronto tra l'*azione fuoco* con i fattori di *esposizione* e di *vulnerabilità* di strutture, beni e persone esposti.

Caratterizzato l'*incendio di progetto* e/o altri fenomeni chimico-fisici ragionevolmente prevedibili per ciascun locale e/o comparto, si deve valutare il corrispondente rischio, in termini di frequenza di accadimento e soprattutto di magnitudo delle conseguenze.

La ricostruzione delle *conseguenze* correlate alle caratteristiche della "azione" riconducibile ad un evento richiede un passaggio intermedio: la conoscenza della "*vulnerabilità*" dei "*bersagli*" agli effetti fisici prodotti dalla azione.

Il processo analitico è quindi il seguente:





## **DANNI DOVUTI AGLI INCENDI**

**L'azione termica dell'incendio è rappresentata dal flusso di calore netto ( $W/m^2$ ) trasmesso alla superficie dell'elemento strutturale.**

**Il flusso di calore netto di progetto è determinato in base ai contributi della convezione e dell'irraggiamento ed è quindi proporzionale alla temperatura che si sviluppa durante l'incendio.**

**Le proprietà dei materiali maggiormente sensibili all'azione termica sono:**

- resistenza meccanica (a compressione, a trazione e a flessione);**
- modulo elastico;**
- massa volumica;**
- dilatazione termica;**
- calore specifico;**
- conduttività termica.**



## **DANNI AGLI EDIFICI**

Incendi ed esplosioni producono rilasci di energia a cui corrispondono “azioni” sia di tipo meccanico che termico che possono indurre gravi danni alle strutture, agli impianti, alle sovrastrutture ed a tutti i beni mobili esposti al rilascio.

Un incendio od un'esplosione possono avere intensità tale da compromettere la stabilità delle strutture portanti di una costruzione. In tal caso il danneggiamento delle strutture assume un'importanza fondamentale in relazione alla sicurezza delle persone e quindi costituisce un elemento da valutare in termini di pubblica e privata incolumità.

Le strutture portanti più diffuse sono realizzate con i seguenti materiali:

- cemento armato normale e cemento armato precompresso;
- muratura di materiali lapidei naturali o di mattoni;
- acciaio;
- legno.



### **Danni dovuti alle esplosioni**

Alla rilevante potenza del fenomeno esplosivo sono connesse conseguenze molto severe per le strutture e per le persone.

Gli effetti macroscopici di una esplosione di sostanze esplosive solide propriamente dette sono caratterizzati da:

- danni concentrati alle strutture di estrema gravità;
- frantumazione di materiali lapidei e di costruzione in genere;
- tormento di materiali metallici anche di rilevante resistenza meccanica;
- lancio di proietti e schegge che dal centro di esplosione vengono spinti ad alta velocità contro strutture al contorno lasciando segni inequivocabili di traiettorie traccianti e di impatto;
- formazione di un cratere in corrispondenza del centro di esplosione.

In letteratura sono disponibili dati empirici sui danni che una sovrappressione può provocare sulle strutture.



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

Dati indicativi sui danni causati dalla sovrappressione possono essere i seguenti:

- **70 kPa: distruzione totale**
- **35 kPa: danno molto grave**
- **7 ÷ 15 kPa: danno grave**
- **3 kPa: danno moderato**
- **1 ÷ 1.5 kPa: danno trascurabile**

La “loss engineering” mette a disposizione numerosi strumenti per stimare le conseguenze attese di un rilascio di energia nei confronti delle strutture.

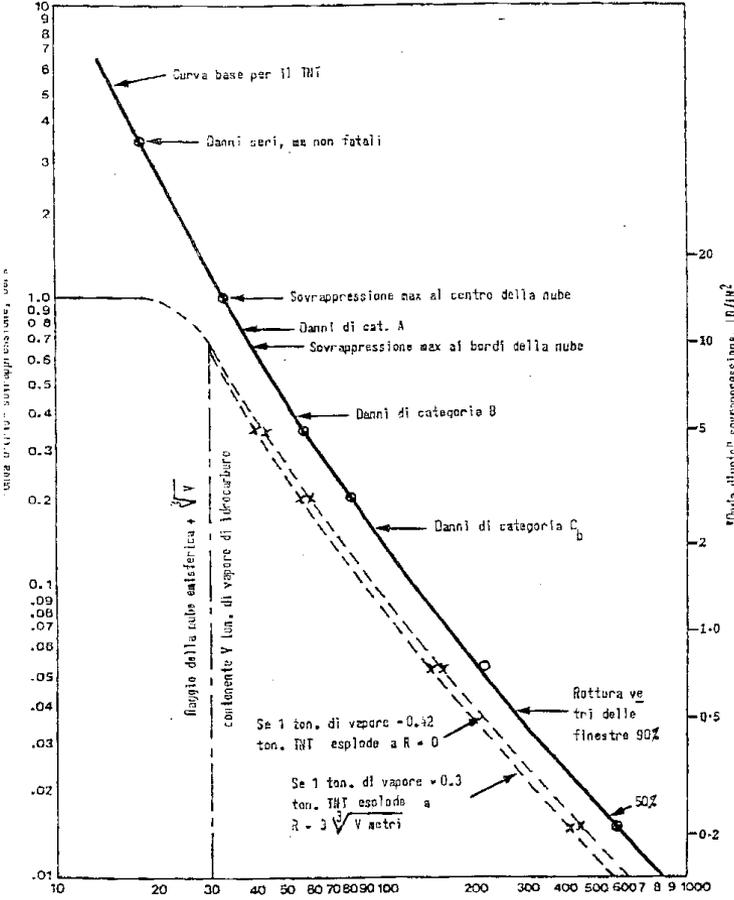
Tra questi sono disponibili normogrammi, che mostrano le zone corrispondenti a categorie di danno in funzione della sovrappressione.

Nella tabella seguente è riportata la tavola che rappresenta graficamente la relazione tra la sovrappressione, la distanza normalizzata dall’epicentro dell’esplosione (distanza scalare di cui si è detto in altro capitolo) e le conseguenze attese sulle strutture.



# Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

RELAZIONE TRA SOVRAPPRESSIONE E DISTANZA DELL'EPICENTRO



$Z = R / \sqrt[3]{M}$   
 R = distanza dall'epicentro dell'esplosione in metri  
 M = massa di TNT in tonnellate  
 Z = distanza equivalente



## **EFFETTI SULLE PERSONE**

### **Effetti dell'irraggiamento**

La radiazione termica prodotta da un incendio o da una esplosione può provocare ustioni generalizzate, di gravità inversamente proporzionale alla protezione realizzata dagli abiti ed alla distanza dal centro di fuoco.

Le conseguenze in termini di danno di una radiazione termica sono lesioni a carico della epidermide che vanno sotto il nome di ustioni.

La gravità delle ustioni dipende dalla intensità della radiazione e dal tempo di esposizione.

La classificazione delle ustioni prevede tre gradi in ordine crescente di gravità (1° - 2° - 3°).

Le conseguenze in termini di sopravvivenza dipende dalla gravità delle ustioni, ma anche e soprattutto dalla estensione della superficie del corpo che ha subito ustioni.

Con valori di superficie corporea interessata dalle ustioni, superiori al 70% la sopravvivenza risulta in genere problematica.



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

Nella seguente tabella viene riportata l'intensità di irraggiamento ed il corrispondente tempo di esposizione, per raggiungere la soglia di dolore.



<b>Intensità irraggiamento [kW/m<sup>2</sup>]</b>	<b>Tempo dolore [sec]</b>	<b>soglia</b>
1.74	60	
2.33	40	
2.90	30	
4.73	16	
6.94	9	
9.46	6	
11.67	4	
19.87	2	



## **Effetti della sovrappressione**

Le conseguenze sull'uomo a fronte di una sovrappressione sono di natura diretta e di natura indiretta.

Le conseguenze dirette di una sovrappressione sono la compressione fino alla lesione di organi particolarmente sensibili quali i timpani ed i polmoni.

Le conseguenze indirette riguardano l'impatto di proiettili e la proiezione violenta del corpo contro superfici rigide.

La conoscenza (stima) dei picchi di una sovrappressione impulsiva (esplosione) che possono svilupparsi, può consentirci di prevedere quali saranno i danni attesi per le persone coinvolte.



### **LA SINDROME ASFITTICA**

La sindrome asfittica è caratterizzata da uno stato di ipossia o anossia acuta, cioè da una carenza o mancanza di ossigeno, che mettono a rischio in tempi brevi o brevissimi la vita dell'uomo. Infatti quando la catena respiratoria, cioè il processo che ha inizio con l'assunzione di ossigeno dall'ambiente attraverso le vie respiratorie, secondariamente con il trasporto alle cellule mediante l'emoglobina del sangue ( $HbO_2$  ossiemoglobina) ed infine con l'utilizzazione dell'ossigeno a livello cellulare, si interrompe a livello di uno o di più dei suoi tre anelli fondamentali, la morte sopraggiunge rapidamente.

Dalla letteratura medico-legale si ricava che sul piano fisiopatologico, collegate ai tre anelli della catena suddetta, sono possibili tre varianti di sindrome asfittica rispettivamente denominate:

- anossia anossica;
- anossia di trasporto;
- anossia istotossica.

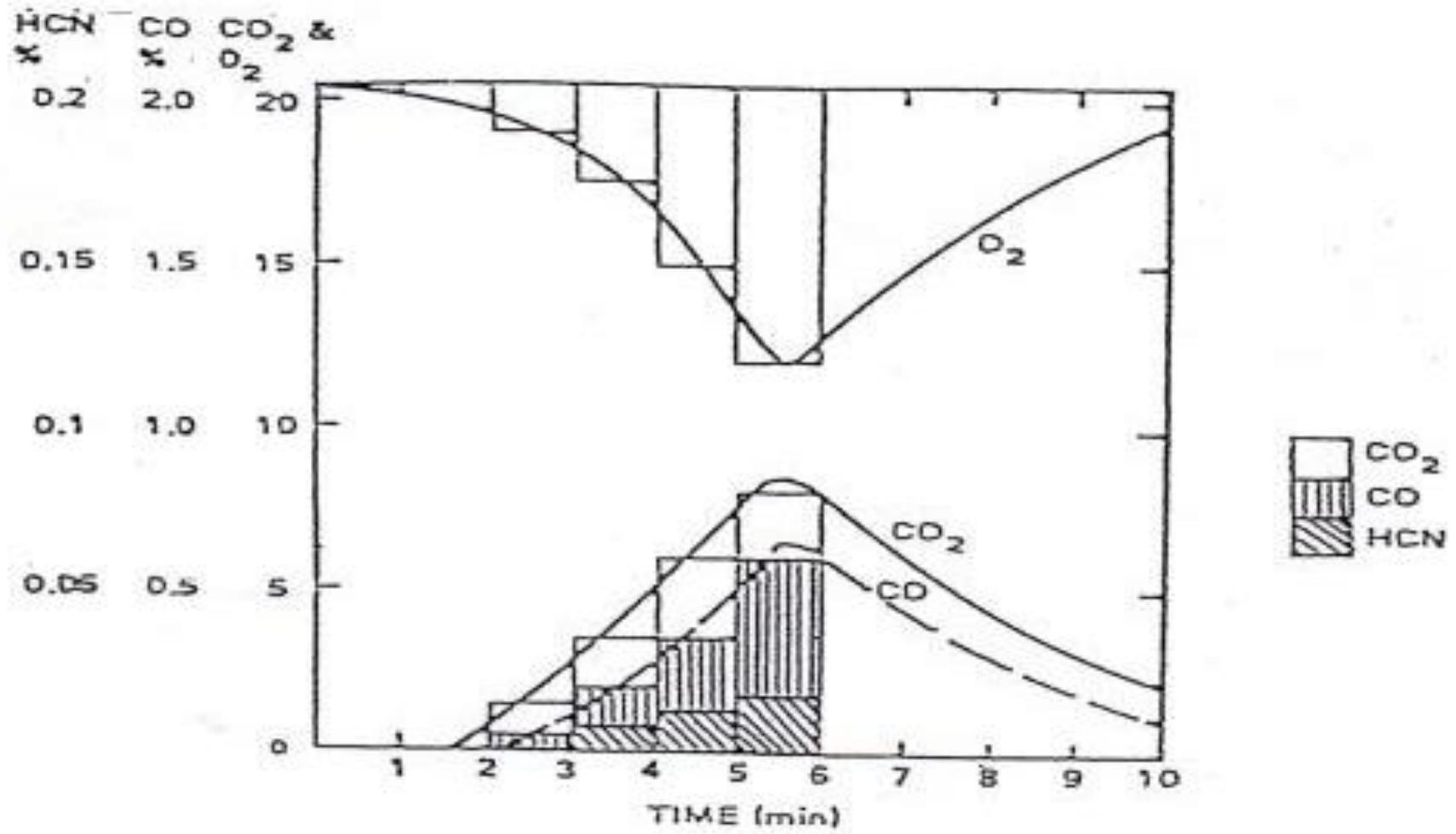


## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

In occasione di un incendio in volume confinato, si verificano le seguenti condizioni ambientali:

- diminuzione del tasso di ossigeno nell'ambiente interessato, specie quando l'incendio si sviluppa in volumi ridotti e scarsamente ventilati;
- produzione massiva e crescente di ossido di carbonio (CO), per via della combustione incompleta per carenza di ossigeno;
- produzione di gas tossici particolarmente potenti quali ad esempio l'acido cianidrico (HCN, dagli effetti tossici circa 20 volte più potenti del CO e che non seguono la legge di Haber).

$$C_1 \cdot t_1 = C_2 \cdot t_2 = \text{cost.}$$





## **ANOSSIA ANOSSICA**

La *anossia anossica* dipende da mancanza di ossigeno nell'aria inspirata, ma anche da arresto respiratorio per paralisi dei centri bulbari o da lesioni acute e gravi dell'apparato respiratorio che compromettono la ventilazione polmonare.

La carenza o l'assenza di ossigeno può essere dovuta alla presenza di gas che sostituendosi all'ossigeno dell'aria, come ad esempio l'anidride carbonica ( $\text{CO}_2$ ) che si produce in occasione di un incendio.

Le sostanze che diventano dannose solo per il fatto di sostituirsi all'ossigeno dell'aria vengono dette asfissianti.



## **ANOSSIA DI TRASPORTO**

La *anossia di trasporto* ha come causa principale l'intossicazione acuta da ossido di carbonio (CO) che, legandosi in via privilegiata alla emoglobina (Hb) del sangue, forma la carbossiemoglobina (HbCO) e va a sostituirsi completamente al veicolo di trasporto dell'ossigeno costituito dalla ossiemoglobina (HbO<sub>2</sub>), lasciando in tal modo le cellule prive dell'indispensabile ossigeno.

La tossicità del CO deriva dalla sua capacità di legarsi all'emoglobina per formare carbossiemoglobina (HbCO) con una affinità fino a 270 volte maggiore di quella dell'ossigeno e quindi di interferire con il trasporto dell'ossigeno (O<sub>2</sub>) da parte del sangue. La corrispondente mancanza di ossigeno (anossia) viene appunto definita anossia da trasporto.



## **ANOSSIA ISTOTOSSICA**

La *anossia istotossica* consegue in genere ad intossicazioni acute da acido cianidrico (HCN) e da composti cianogeni.

L'azione tossica dell'acido cianidrico è dovuta allo ione cianuro ( $\text{CN}^-$ ) che si forma nel sangue per idrolisi dell'HCN dando luogo alla cianometemoglobina, ma che si distribuisce in tutta l'acqua corporea e raggiunge le cellule di tutti gli organi dove impedisce l'utilizzo dell'ossigeno (anossia citotossica), provocando un blocco della produzione energetica e quindi la morte cellulare.

Nelle sindromi asfittiche di soggetti coinvolti in un incendio sono di norma presenti tutti e tre i meccanismi anossici sopra ricordati, a causa della presenza in ambiente dei prodotti della combustione ad alta temperatura, quali appunto ossido di carbonio, acido cianidrico, fumo (particolati solidi combusti).



## **ACIDO CIANIDRICO (HCN)**

L'acido cianidrico non segue la regola di Haber ed a parità di dose accumulata l'effetto tossico dipende fortemente dalla concentrazione del gas inalato.

Brevi esposizioni ad alte concentrazioni di HCN sono maggiormente suscettibili di gravi danni rispetto ad esposizioni a minori concentrazioni per un tempo più lungo.

In particolare è stato rilevato che per una concentrazione di HCN pari a 100 ppm la incapacitazione interviene in circa 20 minuti (dose eguale a 2000 ppm x min), mentre per una concentrazione di 200 ppm la incapacitazione interviene solo dopo 2 minuti (dose eguale a 400 ppm x min).



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

Il parametro che rappresenta la dose di tutti i gas nocivi inalati durante un tempo definito di esposizione va sotto il nome di “Fractional Effective Dose – FED”.

La proprietà cumulativa della FED viene utilizzata per il calcolo delle potenzialità nocive dei prodotti della combustione e per la stima del possibile rischio per gli esseri viventi.

La FED è numericamente espressa dal seguente algoritmo:

$$FED = \sum_{i=1}^n \int \frac{C_i}{(C \cdot t_i)} dt$$

dove:

$C_i$  = concentrazione del tossico  $i$

$C_{ti}$  = dose (concentrazione x tempo) di esposizione al tossico  $i$   
per avere effetti nocivi



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

La FED di **incapacitazione** può essere calcolata con la seguente relazione:

$$FED_{IN} = [(F_{ICO} + F_{IHCN}) V_{CO_2} + F_{IO}] \quad \text{or} \quad F_{ICO_2}$$

dove

- $FED_{IN}$  = Frazione di dose di incapacitazione
- $F_{ICO}$  =  $F'_{ICO} dt$  (frazione dose incapacitazione dovuta a CO)
- $F_{IHCN}$  =  $F'_{IHCN} dt$  (frazione dose incapacitazione dovuta a HCN)
- $V_{CO_2}$  = (fattore di iperventilazione polmonare indotta da CO<sub>2</sub>)
- $F_{IO}$  =  $F'_{IO} dt$  (frazione dose incapacitazione per debito di O<sub>2</sub>)
- $F_{ICO_2}$  =  $F'_{ICO_2} dt$  (frazione dose incapacitazione dovuta a CO<sub>2</sub>)

essendo per ciascun minuto di esposizione ai singoli tossici:

$$F'_{ICO} = \frac{8.2925 \times 10^{-4} \text{ xppmCO}^{1.036}}{30} \quad F'_{IHCN} = \frac{1}{\exp(5.369 - 0.023 \text{ xppmHCN})}$$

$$V_{CO_2} = \frac{\exp(0.2496 \text{ x\%CO}_2 + 1.9086)}{6.8} \quad F'_{IO} = \frac{1}{\exp[7.98 - 0.5288(20.9 - \%O_2)]}$$

$$F'_{ICO_2} = \frac{1}{\exp[6.1623 - 0.5189 \text{ x\%CO}_2]}$$



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

La FED di **incapacitazione** può essere calcolata anche con la seguente relazione:

$$FED_{IN} = \left[ \left( \frac{CO dt}{35000} + \frac{e^{-43}}{220} x dt \right) \right]$$

La FED di **morte**, secondo Purser, può essere calcolata con la seguente relazione:

$$FED_{morte} = \left[ \left( \frac{CO - dt}{171150} + \frac{HCN - dt}{4920} + \frac{IRR - dt}{LC_{t50}} \right) \cdot V_{CO_2} \right] + A$$

dove:

CO dt = dose di esposizione [ppm x min] al CO

HCN dt = dose di esposizione [ppm x min] all'HCN

IRR dt = dose di esposizione [ppm x min] a gas irritanti

LC<sub>t50</sub> = dose di esposizione letale per ciascun gas irritante

V<sub>CO2</sub>] + A = fattore di moltiplicazione dovuto alla iperventilazione dovuta alla presenza di CO<sub>2</sub> più fattore di acidosi nel sangue:

V<sub>CO2</sub>] + A = 1,5] + 0,25 per 5% CO<sub>2</sub>

V<sub>CO2</sub>] + A = 1,4] + 0,2 per 4% CO<sub>2</sub>

V<sub>CO2</sub>] + A = 1,25] + 0,1 per 3% CO<sub>2</sub>

V<sub>CO2</sub>] + A = 1 per < 2,5% CO<sub>2</sub>



### Carbossiemoglobina

Sono disponibili diversi algoritmi di altrettanti ricercatori che correlano il tasso di carbossiemoglobina (%HbCO) nel sangue al tempo di inalazione di ossido di carbonio CO.

Ricordiamone di seguito alcuni:

**Stewart-Peterson:**

$$\%HbCO = (3,317 \cdot 10^{-5}) \cdot (ppmCO)^{1,036} \cdot (V_p) \cdot t$$

dove:

ppmCO = concentrazione monossido di carbonio espressa in parti per milione (ppm);

$V_p$  = ventilazione polmonare:

$V_p$  = 6 l/min (riposo)

$V_p$  = 9 l/min (attività leggera)

$V_p$  = 18 l/min (attività corrispondente a 50 watt)

$V_p$  = 30 l/min (attività corrispondente a 100 watt)

$t$  = tempo di respirazione in presenza di CO alla concentrazione in riferimento

## % Carbossiemoglobina nel sangue secondo Stewart-Peterson

$$\%HbCO = 3,317 \cdot 10^{-5} (\text{ppmCO})^{1,036} \cdot V_p \cdot t$$

dove:

%HbCO = % carbossiemoglobina

ppmCO = parti per milione CO in ambiente

Vp = ventilazione polmonare

Vp = 6 l/min (a riposo)

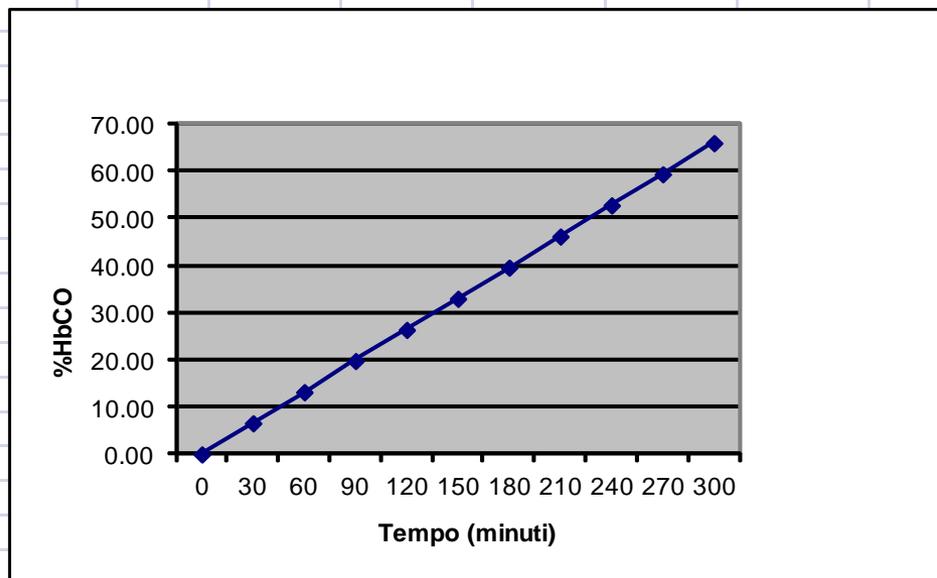
Vp = 9 l/min (attività leggera)

Vp = 18 l/min (attività media - 50 W)

Vp = 30 l/min (attività pesante - 100W)

t = tempo (min)

n°	tempo	ppmCO	%HbCO	Vp(l/min)
1	0	0	0.00	18
2	30	300	6.60	18
3	60	300	13.20	18
4	90	300	19.80	18
5	120	300	26.39	18
6	150	300	32.99	18
7	180	300	39.59	18
8	210	300	46.19	18
9	240	300	52.79	18
10	270	300	59.39	18
11	300	300	65.98	18
12	330	300	72.58	18
13	360	300	79.18	18





**Pace:**

$$\%HbCO = \frac{ppdCO \cdot Vp \cdot t}{46,5 \cdot Vb}$$

dove:

ppdCO = concentrazione monossido di carbonio espressa in parti per diecimila (ppd);

$V_b$  = massa sanguigna in litri (dipende dal peso 5-6 litri).

t = tempo di respirazione in presenza di CO alla concentrazione in riferimento



## % carbossiemoglobina nel sangue secondo Pace

$$\%H_bCO = \frac{\text{ppdCO} \cdot V_p \cdot t}{46,5 \cdot V_b}$$

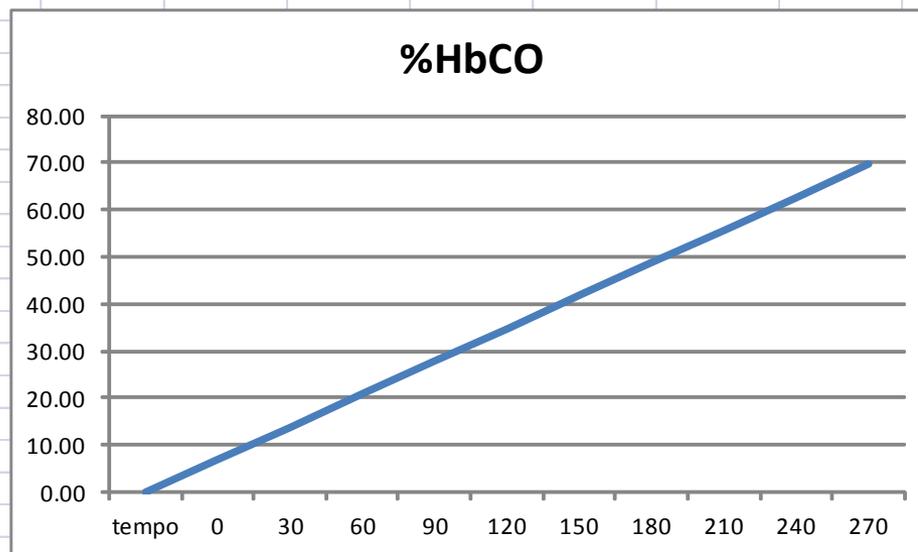
dove:

V<sub>p</sub> = ventilazione polmonare (l/min)V<sub>b</sub> = volume sangue presente in un adulto (litri)

ppdCO = parti per diecimila di CO in ambiente

t = tempo di esposizione (min)

n°	tempo	ppdCO	V <sub>p</sub>	V <sub>b</sub>	%H <sub>b</sub> CO
1	0	0	18	5	0.00
2	30	3	18	5	6.97
3	60	3	18	5	13.94
4	90	3	18	5	20.90
5	120	3	18	5	27.87
6	150	3	18	5	34.84
7	180	3	18	5	41.81
8	210	3	18	5	48.77
9	240	3	18	5	55.74
10	270	3	18	5	62.71
11	300	3	18	5	69.68





**Forbes:**

$$\%HbCO = k \cdot \%CO \cdot t$$

dove:

$k = 3$  per  $V_p = 6$  l/min. (riposo)

$k = 5$  per  $V_p = 9$  l/min. (attività leggera)

$k = 8$  per  $V_p = 18$  l/min. (attività corrispondente a 50 watt)

$k = 11$  per  $V_p = 30$  l/min. (attività corrispondente a 100 watt)

$\%CO$  = concentrazione monossido di carbonio espressa in per cento (%);

$t$  = tempo di respirazione in presenza di CO alla concentrazione in riferimento



## % carbossiemoglobina nel sangue secondo Forbes

$$\%H_b CO = k \cdot \%CO \cdot t$$

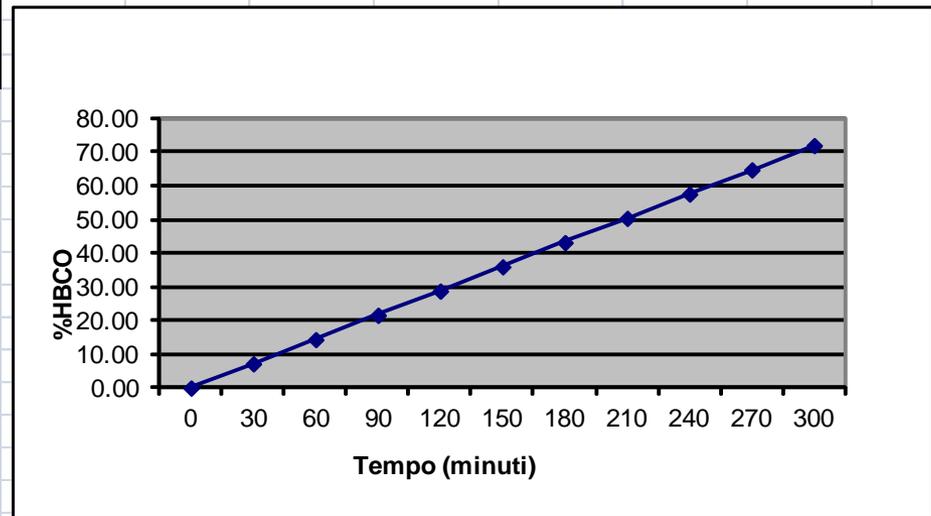
dove:

%CO = parti per cento CO in ambiente

t = tempo di esposizione (min)

k	per Vp(l/min)
3	6
5	9
8	18

n°	tempo	%CO	k	%HbCO
1	0	0.000	8	0.00
2	30	0.030	8	7.20
3	60	0.030	8	14.40
4	90	0.030	8	21.60
5	120	0.030	8	28.80
6	150	0.030	8	36.00
7	180	0.030	8	43.20
8	210	0.030	8	50.40
9	240	0.030	8	57.60
10	270	0.030	8	64.80
11	300	0.030	8	72.00





## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

### Limiti di esposizione a contaminanti chimici

**LC<sub>50</sub>**: è il valore della concentrazione tossica che provoca la morte del 50% degli animali esposti per un tempo definito.

**TLV-TWA** (Threshold Limit Value – Time Weighted Average): è la concentrazione media riferita al tempo lavorativo settimanale di 40 ore (cinque giorni, per otto ore giornaliere).

**TLV-STEL** (Threshold Limit Value – Short Term Exposure Limit): è la concentrazione media nel tempo alla quale i lavoratori non dovrebbero essere esposti per più di 15 minuti; tale esposizione non deve ripetersi per più di 4 volte al giorno e con un intervallo di almeno 60 minuti tra due esposizioni consecutive.

**TLV-C**: (Threshold Limit Value – Ceiling): è la concentrazione in aria che non deve comunque essere superata durante qualsiasi momento di lavoro.

**PEL<sub>5</sub>** (Permissible Exposure Limits): si tratta di valori a media ponderata (TWA) che di valori estremi (Ceiling), nonché valori di picco per periodi più brevi.

**IDLH<sub>5</sub>**: (Immediately Dangerous to Life or Health): è la massima concentrazione che un individuo maschio sano può sopportare per 30 minuti senza incapacitazione (mantenendo cioè la capacità di allontanarsi, ma anche senza subire danni organici irreversibili differiti).

**ERPG<sub>1</sub>** (Emergency Response Planning Guidelines for Air Contaminants): è la massima concentrazione in aria dell'inquinante che ogni individuo può sopportare fino ad un massimo di un'ora subendo, al massimo, solo moderati disturbi passeggeri.

**ERPG<sub>2</sub>** (Emergency Response Planning Guidelines for Air Contaminants): è la massima concentrazione in aria dell'inquinante che ogni individuo può sopportare fino ad un massimo di un'ora senza subire incapacitazione e danni irreversibili

**ERPG<sub>3</sub>** (Emergency Response Planning Guidelines for Air Contaminants): è la massima concentrazione in aria dell'inquinante che ogni individuo può sopportare fino ad un massimo di un'ora senza subire effetti dannosi per la salute.



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

<b>Sostanze</b>	<b>LC<sub>50</sub> [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>TLV- TWA [ppm]</b>	<b>TLV- STEL [ppm]</b>	<b>IDLH [ppm]</b>
<b>Acido cianidrico</b>	114	-	-	-
<b>Acido cloridrico</b>	3940	-	-	100
<b>Acido fluoridrico</b>	802	-	-	30
<b>Acido solfidrico</b>	987	10	15	300
<b>Acrilonitrile</b>	2533	2	-	500
<b>Acroleina</b>	304	0.1	0.3	5
<b>Ammoniaca</b>	6164	25	35	500
<b>Biossido di azoto</b>	235	3	10	50
<b>Biossido di zolfo</b>	5784	2	-	100
<b>Bromo</b>	1075	0.7	0.3	10
<b>Bromuro di metile</b>	3135	5	-	2000
<b>Cloro</b>	1017	1	3	30
<b>Fosgene</b>	14	0.1	-	2
<b>Isocianato di metile</b>	57	-	-	-
<b>Monossido di carbonio</b>	7949	-	-	-



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

### Indici di probit

Un algoritmo probabilistico applicabile a tutti i tipi di eventi è quello ad indici di “*probit*” (“probability unit”), ma il suo impiego può essere limitato dalla mancanza di dati sufficientemente attendibili per la stima di alcuni parametri. Vediamo allora di cosa si tratta descrivendo brevemente il modello *probit*. Si tratta di un metodo statistico utilizzato per stimare la probabilità di danno di un bersaglio esposto ad una dose di una determinata azione. L'algoritmo che lo rappresenta è il seguente.

$$P_r = a + b \cdot \ln(D)$$

dove

- $P_r$  è l'indice di probit
- $D$  è la dose assorbita dal bersaglio
- $a, b$  sono coefficienti determinati in base a dati sperimentali che variano con la tipologia della azione

La dose  $D$  che lega la intensità della azione al tempo di esposizione è data dalle relazione:

$$D = \int_0^{t_A} [A(t)]^n dt$$

dove

- $t_A$  è il tempo di esposizione
- $n$  è il parametro caratteristico del tipo di azione
- $A$  è l'azione (fattore casuale del danno)



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

Con riguardo agli eventi presi in considerazione  $A$  può essere:

- la concentrazione  $C$  di una sostanza rilasciata, espressa in  $[\text{mg}/\text{m}^3]$
- l'irraggiamento  $I$  rilasciato da una combustione, espresso in  $[\text{W}/\text{m}^2]$
- la sovrappressione  $P$  di una esplosione, espressa in  $[\text{N}/\text{m}^2]$

L'indice di probit, indicato in valori percentuali, è riportato nella tabella 1).

Vediamo come si può utilizzare il metodo in questione.

Assunti l'*intensità* di una azione ed il *tempo di esposizione*, quindi la *dose*, noti i coefficienti  $a$ ,  $b$  si calcola in valore percentuale la *probabilità di danno* nelle *condizioni al contorno* considerate.

Nella tabella che segue sono riportati i valori dei coefficienti  $a$ ,  $b$  secondo Frank P. ("Lees Loss Prevention in the process industries") per alcuni eventi incidentali.



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale



CONSEGUENZE	DOSE	a	b
Morte per ustioni da Pool-fire	$I^{4/3} \times t \times 10^{-4}$ [W/m <sup>2</sup> ]	-14,9	2,56
Morte per ustioni da flash-fire	$I^{4/3} \times t \times 10^{-4}$ [W/m <sup>2</sup> ] x [s]	-14,9	2,56
Morte per Pressione	P [N/m <sup>2</sup> ]	-77,1	6,91
Rottura timpani per Pressione	P [N/m <sup>2</sup> ]	-15,6	1,93
Feriti per Impatto	J [N x s/m <sup>2</sup> ]	-39,1	4,45
Feriti per proiezione frammenti	J [N x s/m <sup>2</sup> ]	-27,1	4,26
Danni strutturali gravi	P [N/m <sup>2</sup> ]	-23,8	2,92
Rottura Vetri	P [N/m <sup>2</sup> ]	-18,1	2,79
Morte per tossicità Cloro	$\sum C^{2,75} \cdot t$ [ppm x min]	-17,1	1,69
Intossicati per Cloro	C [ppm]	-2,40	2,90
Morte per tossicità Ammoniaca	$\sum C^{2,75} \cdot t$ [ppm x min]	-30,57	1,385



## Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

Calcolato l'indice di probit ( $Pr$ ) dalla tabella che segue si ricava la corrispondente probabilità.



%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,35	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09



# Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale

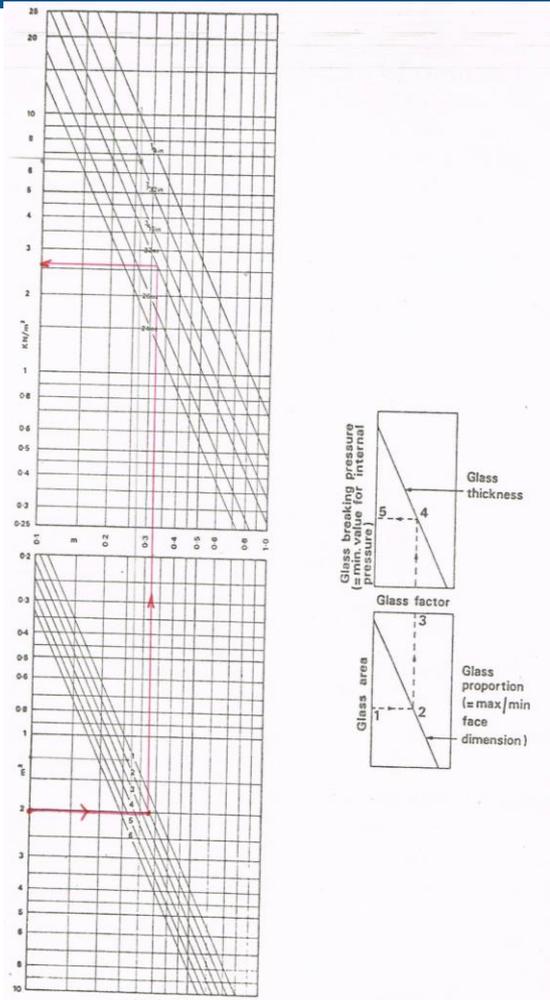
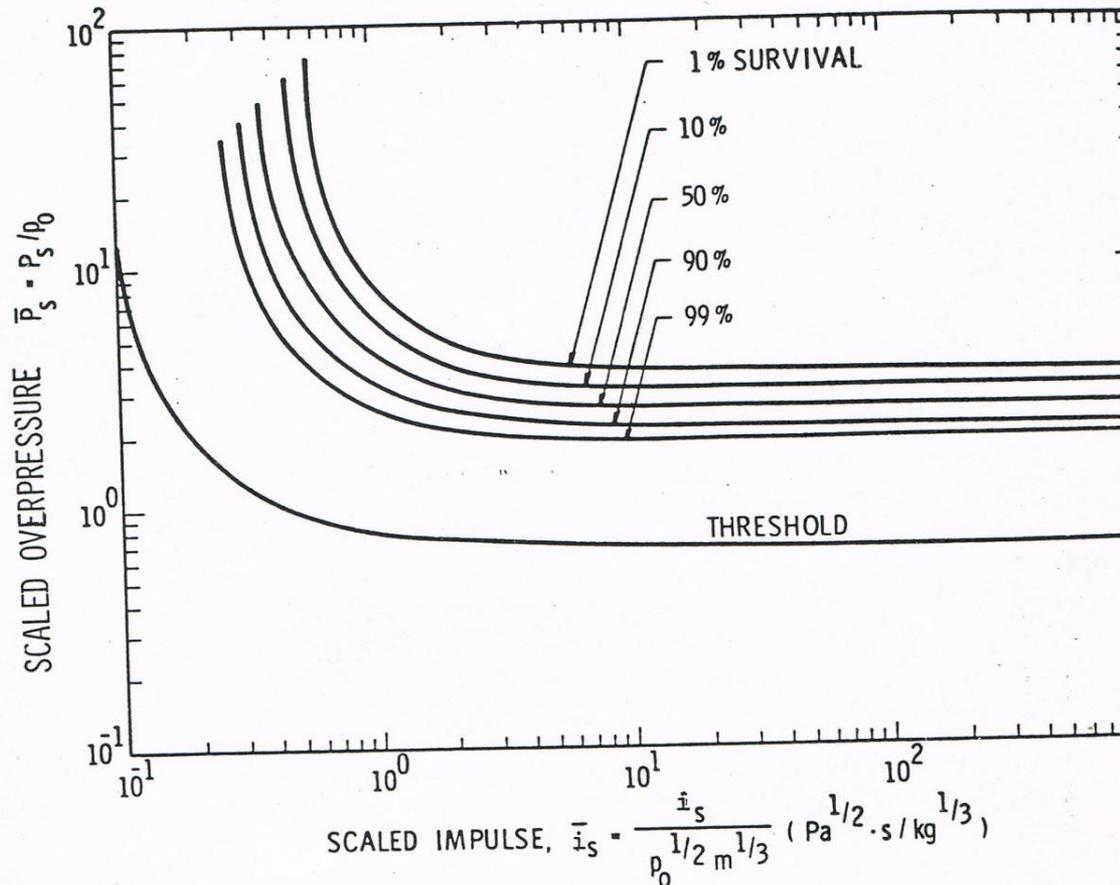


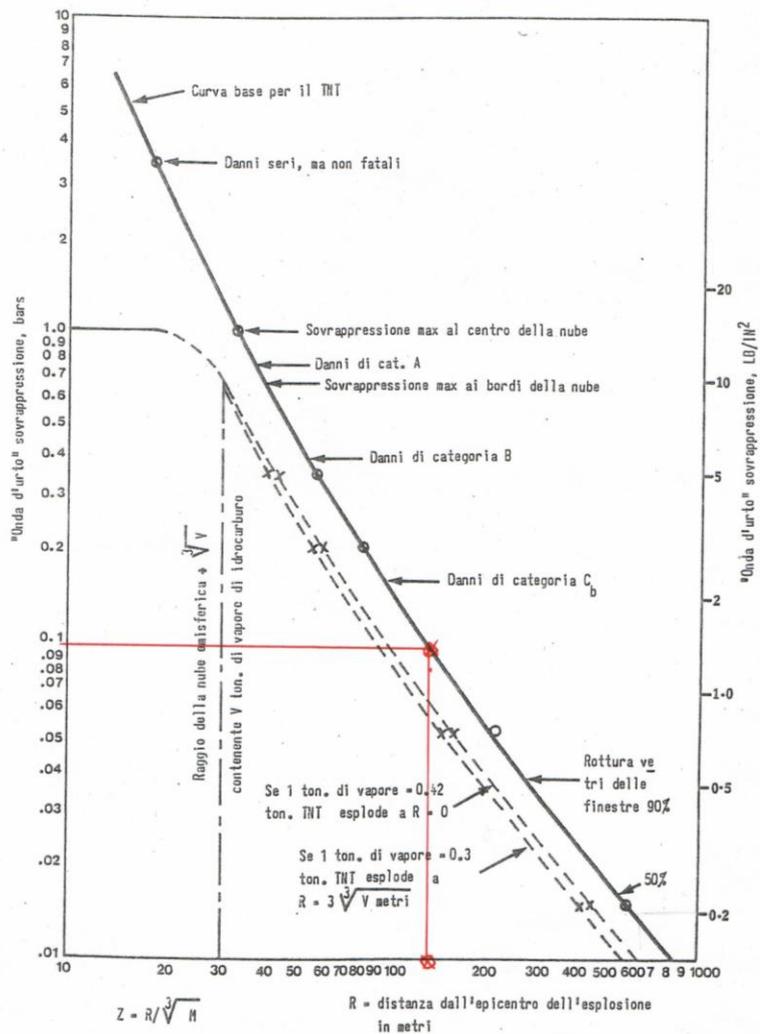
FIGURE 7-2. PRESSURE FOR BREAKAGE OF SHEET GLASS PANES [Mainstone (1971)]



# Dipartimento di Ingegneria civile e Industriale



$$\text{( psi}^{1/2} \text{ sec/lb}^{1/3} = \text{Pa}^{1/2} \cdot \text{s/kg}^{1/3} \times 9.253 \times 10^{-3} \text{ )}$$



CATEGORIE DI DANNO

CAT.	DESCRIZIONE	PRESS. (bar)
A	DENOUZIONE TOTALE	0.8
B	DANNI IRRECUPERABILI	0.4
C <sub>b</sub>	DANNI GRAVI RIPARABILI	0.15
GL-90	VETRI ROTTI AL 90%	0.04
GL-50	VETRI ROTTI AL 50%	0.015