

**SICUREZZA.**

# Polveri di cereali negli impianti di stoccaggio: uno studio sulle probabilità di esplosione

ANALISI BASATA SU DATI USA MA APPLICABILE AGLI IMPIANTI SOGGETTI ALLA DIRETTIVA ATEX

La produzione di cereali nel mondo da diversi anni è in continua crescita, per far fronte ai fabbisogni derivanti dalle necessità dell'alimentazione umana ed animale. L'aumento delle quantità prodotte è legato sia alla crescita della popolazione umana che alla maggior quantità consumata direttamente ed indirettamente dalle persone. Il pane, la carne di allevamento, il latte ed i suoi derivati richiedono cereali per la loro produzione, così come alcune produzioni cerealicole sono diventate la base per la produzione di biocarburanti.

È prevedibile quindi che la produzione di cereali nel mondo sia destinata ancora ad aumentare ed in maniera significativa. Come rilevabile dall'*illustrazione 1*, l'aumento della produzione ha riguardato negli ultimi 30 anni principalmente il mais, il riso ed il frumento.

In una tonnellata di cereali, tenendo presente che le produzioni si misurano in milioni di tonnellate, sono presenti normalmente da 1 a 5 kg di polvere. La polvere di cereale, in determinate condizioni, peraltro raggiungibili durante le normali lavorazioni, origina una *atmosfera potenzialmente esplosiva*, come definita nella direttiva ATEX.

L'esplosione può assimilarsi ad una combustione molto rapida. Vi sono due caratteristiche aggiuntive che devono essere tenute presenti rispetto alla combustione (vedi *illustrazione 2*): la dispersione della polvere in opportuna concentrazione ed il confinamento della nuvola di polvere. La concentrazione necessaria perché si possa verificare una esplosione da polveri cerealicole non è normalmente presente nell'ambiente di lavoro. Secondo studi americani, la concentrazione esplosiva di molti cereali è riconoscibile dal fatto che mettendo una mano col braccio teso di fronte al viso non si distinguono le dita.

Sul sito dell'Angelo State University (Texas, USA), si trova una dimostrazione molto istruttiva sul comportamento sornione delle polveri [ <http://tinyurl.com/273nql> ].

Diversi studi hanno mostrato che la polvere è pericolosa anche se depositata, per il fatto che si solleva facilmente. In particolare nelle gallerie e nei tunnel ha mostrato di essere in grado di produrre esplosioni devastanti: l'esplosione solleva la polvere e la polvere alimenta l'esplosione. Un esempio è riportato nell'*illustrazione 3*.

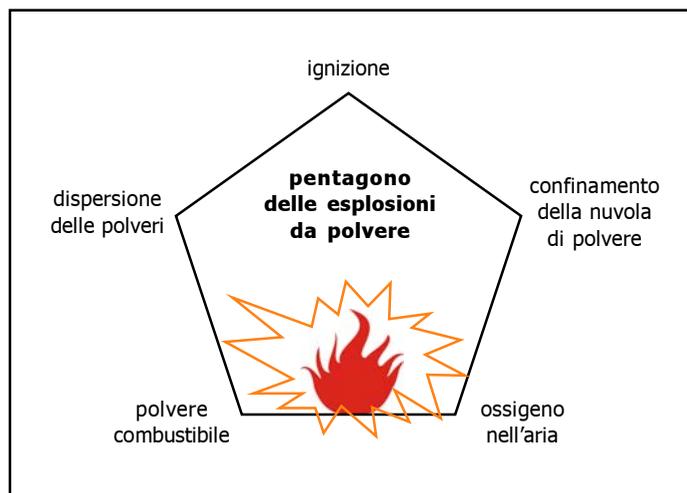
Con l'aumento dei raccolti e la conservazione e lavorazione dei cereali negli stabilimenti industriali, avvenuta sistematicamente dal 1800 circa, si manifestarono le prime esplosioni significative documentate, come ad esempio nel mulino Washburn (1878, USA). Negli Stati Uniti - vedi *illustrazione 4* - a partire dal 1970, il numero di esplosioni e delle vittime aumentò progressivamente fino a raggiungere un picco: 5 esplosioni, 59 morti e 49 feriti fra il 21 ed il 28 dicembre 1978. A fronte di questi eventi il governo federale incaricò l'Accademia Nazionale delle Scienze USA di studiare e risolvere il problema.

Uno degli effetti legati a questo incarico fu la raccolta statistica mirata e sistematica dei dati relativi alle esplosioni di cereale, a cura dell'Università del Kansas (KSU). L'Accademia Nazionale delle Scienze produsse una serie di raccomandazioni che divennero effettive nel corso del 1988. Dieci anni dopo, l'8 giugno del 1998, si contarono 7 morti e 20 feriti a causa di un'esplosione nello stoccaggio De Bruce, allora l'impianto più grande del mondo, con una capacità di oltre 730.000 mc.

**L'AUTORE.**

L'ingegnere **Giorgio Demontis** è un libero professionista e opera anche nei settori dell'impiantistica e della prevenzione incendi. telefono: 328.8967225 e-mail: giorgio@demontis.org

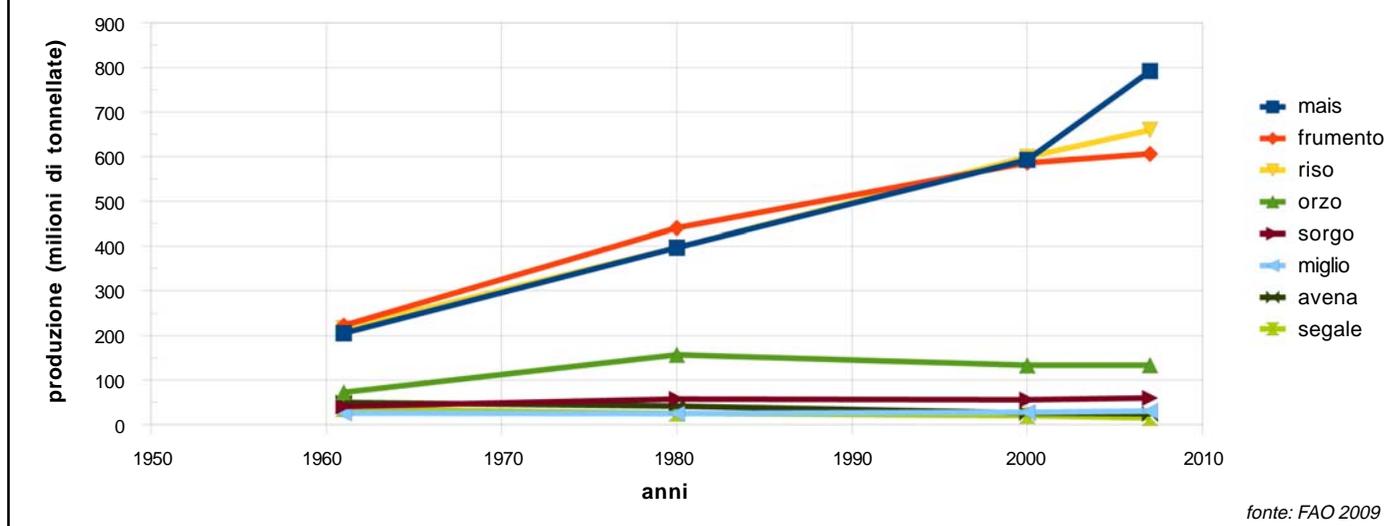
Questo articolo è tratto dal libro di prossima pubblicazione "*Statistiche delle esplosioni nei cereali e valutazione del rischio*", scritto insieme con gli ingegneri **Luciano Cadoni** e **Fabio Sassu**, rispettivamente comandante e vice comandante dei Vigili del fuoco a Oristano.



**Illustrazione 2.**

Illustrazione 1. Produzione mondiale di cereali

Trend basato su valori anni 1961, 1980, 2000, 2007



Grazie al fatto che i molteplici e numerosi dati raccolti dalle università e da diversi enti governativi americani sono stati resi disponibili online, è risultato possibile ed agevole effettuare delle valutazioni statistiche sul fenomeno delle esplosioni dei cereali. Gli USA sono fra i maggiori produttori di cereali del mondo e sono caratterizzati da un corpo normativo uniforme sul territorio e da un tecnologia diffusa e molto omogenea.

Illustrazione 3.



fonte: www.osha.gov

## 1 - Metodo

**1.1 Generalità.** Per valutare l'andamento delle esplosioni sono stati adoperati dati storici ricavati da database ufficiali del governo degli Stati Uniti e da pubblicazioni ufficiali americane governative ed universitarie. Le fonti utilizzate sono state le pubblicazioni dell'Università del Kansas, Agricultural Dust Explosions, contenenti per ogni anno a partire dal 1977 il numero di esplosioni e relativi morti e feriti. Le esplosioni risultano essere classificate, dal 1977 in avanti, in base al tipo di industria in cui avvenne l'esplosione, come ad esempio mulini, stoccaggi etc.

Un'altra catalogazione presente dal 1982 nelle pubblicazioni dell'Università del Kansas è relativa al prodotto in lavorazione al momento dello scoppio, come ad esempio orzo, mais, avena, riso, segale, sorgo, frumento.

Il numero di esplosioni, morti e feriti per gli anni antecedenti al 1977, precisamente gli anni compresi fra il 1958 ed il 1976, è stato ricavato dalle tabelle pubblicate dall'OSHA, l'ente governativo americano che si occupa di sicurezza nel lavoro, nel 2003 (Regulatory Review of OSHA'S, Grain Handling Facilities Standard [29 CFR 1910.272], Table 5 - Number of Grain Dust-Related Explosions, Deaths, and Injuries, 1958-1998, published 2003).

Le produzioni dei cereali sono state invece ricavate mediante interrogazioni multiple dei database governativi pubblicati online da United States Department of Agriculture, National Agricultural Statistics Service, abbreviato in USDA-NASS. I database del Statistic Service contengono informazioni sulle produzioni agricole americane fin dal 1860. Essendo le produzioni espresse in *bushel* è stato necessario convertire le produzioni in tonnellate metriche. Per effettuare le conversioni sono state utilizzate le tabelle di conversione ufficiali pubblicate da USDA-NASS negli Agricultural Statistic.

**1.2 Analisi storica.** La produzione di cereali negli USA è risultata non uniforme nel tempo e non uniforme nella ripartizione delle produzioni. Infatti mais, riso e frumento, come evidenziato nell'illustrazione 1, sono cresciuti negli ultimi 50 anni in misura molto maggiore degli altri cereali.

La prima analisi eseguita ha messo in rapporto il numero di tutte esplosioni

rispetto alla quantità di tutti i cereali. L'analisi ha evidenziato come l'andamento del rapporto fra le esplosioni e le tonnellate di cereali prodotte risulti comunque diminuito a fronte dell'aumento della produzione media di cereali. I risultati sono esposti nell'illustrazione 5.

**1.3 Normative USA.** L'introduzione delle raccomandazioni OSHA, avvenuta nel 1988, ha modificato l'andamento delle esplosioni. Nel 2003 l'OSHA ha pubblicato un resoconto sui positivi risultati ottenuti in seguito all'introduzione delle proprie raccomandazioni, basando sulla diminuzione percentuale del numero di esplosioni, morti e feriti (Regulatory Review of OSHA's, Grain Handling Facilities Standard, [29 CFR 1910.272], Table 5 - Number of Grain Dust-Related Explosions, Deaths, and Injuries, 1958-1998, published 2003). I risultati ottenuti grazie all'introduzione della normativa, riportati in tabella 1, sono stati strabilianti, con riduzioni imponenti.

**1.4 Terminologia e metodo.** Il termine *frequenza* verrà inteso come "numero di volte che un evento si è verificato in un periodo di tempo definito, in base ad una serie storica di osservazioni". Il termine identifica un indice basato su eventi successi in passato.

Il termine *frequenza attesa* (probabilità) verrà inteso come "numero di volte che un evento potrà verificarsi in futuro, in un periodo di tempo definito, in base ad una serie storica di osservazioni". Il termine identifica un indice statistico previsionale basato su eventi successi in passato. Le frequenze descrivono quindi una relazione fra gli eventi ed il tempo.

Il termine *frequenza attesa* ed il termine *probabilità* come definito nella ISO/IEC Guide 73:2002 risultano nel presente lavoro equivalenti.

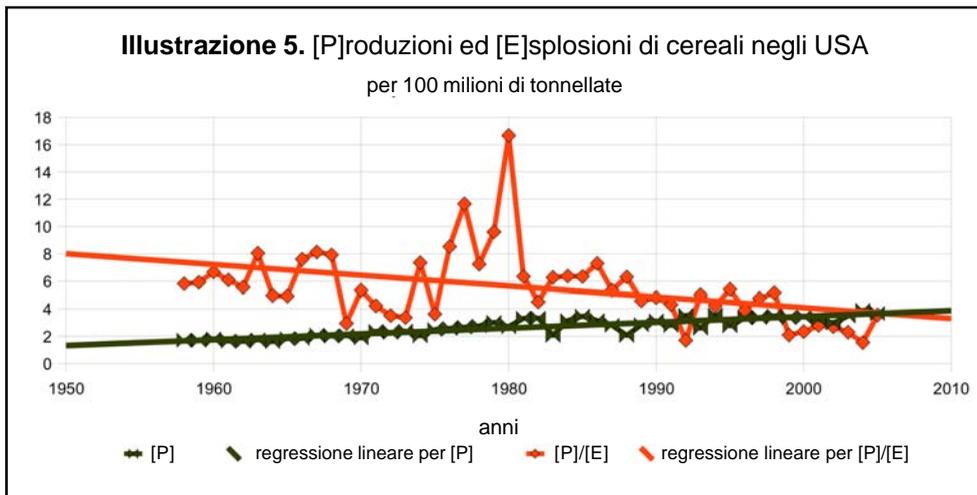
Il termine *rapporto statistico* verrà inteso come "rapporto fra due grandezze legate da una relazione logica, di cui almeno una di natura statistica". Lo scopo di un rapporto statistico è di eliminare le componenti che non renderebbero confrontabili i dati.

Il termine *incidenza* verrà inteso come "numero di volte che un evento si è verificato rispetto ad una quantità definita, in base ad una serie storica di osservazioni". Il termine identifica un rapporto statistico basato su una serie storica di osservazioni rilevate.

Il termine *incidenza attesa* verrà inteso come "numero di volte che un evento potrà verificarsi rispetto ad una quantità definita, in base ad una serie storica di osservazioni". Il termine identifica un rapporto statistico previsionale basato su una serie storica di osservazioni del passato.

Per migliorare la comprensibilità dei numeri trovati e permettere dei confronti immediati i valori sono stati espressi in quantità di ritorno e tempo di ritorno oltre che nella notazione ingegneristica del tipo  $10^x$ .

Avendo a disposizione sia i dati relativi alle quantità prodotte dei singoli cereali



**Tabella 1. Esplosioni, morti e feriti negli impianti di stoccaggio (Grain Elevators)**  
(media del periodo indicato)

statistica	A	B	C	D	variazione fra D ed A
esplosioni	21	12	8	6	-71%
feriti	47	10	7	4	-91%
morti	19	2	2	1	-95%
statistics	1977/78-1982	1983-1987	1988-1992	1993-1997	93-97 vs 78-82 variation

*fonte: OSHA*

sia le attribuzioni delle esplosioni al singolo cereale sia le attribuzioni delle esplosioni per industria è stato possibile:

- valutare per ogni cereale l'incidenza media delle esplosioni rispetto alle quantità prodotte, dividendo il numero di esplosioni del periodo per le quantità prodotte nel periodo;
- ricavare per ogni cereale le quantità di ritorno, pari al numero di tonnellate di prodotto lavorato fra due esplosioni;
- ricavare per ogni cereale le esplosioni medie per anno per milione di tonnellate, ottenute mediando negli anni l'incidenza media delle esplosioni;
- ricavare per ogni cereale il tempo di ritorno per milione di tonnellate, pari al numero di anni intercorrenti fra due esplosioni per milione di tonnellate;
- determinare la percentuale di ripartizione delle esplosioni per tipo di attività, come ad esempio stoccaggi, mulini, etc.

Dall'unione delle informazioni è stato quindi ricavato per ogni cereale il tempo di ritorno di un'esplosione in uno stoccaggio per milione di tonnellate lavorate e l'incidenza attesa di esplosione annua in uno stoccaggio per milione di tonnellate. Le percentuali di esplosione relative agli stoccaggi sono state supposte uniformi in quanto non si hanno a disposizione informazioni esplicite relative al legame tra tipo di prodotto lavorato al momento dell'esplosione ed esplosioni per tipo di industria.

Basandosi sui valori trovati, è stata determinata la *frequenza attesa annua di una esplosione in uno stoccaggio*, in funzione del quantitativo trattato.

## 2 - Statistiche

**2.1 Quantità di ritorno.** Vi sono eventi che non sono legati al tempo ma al verificarsi di quantità. Ad esempio le manutenzioni delle autovetture sono date in km e non in anni. Le quantità di ritorno possono essere viste come i km di percorrenza di un'autovettura: rappresentano le quantità lavorate tra un incidente e l'altro, consentendo quindi di valutare se i cereali abbiano differenze di comportamento, senza tener conto del tempo.

Le quantità di ritorno dopo l'introduzione delle raccomandazioni OSHA sono espresse in *tabella 2*.

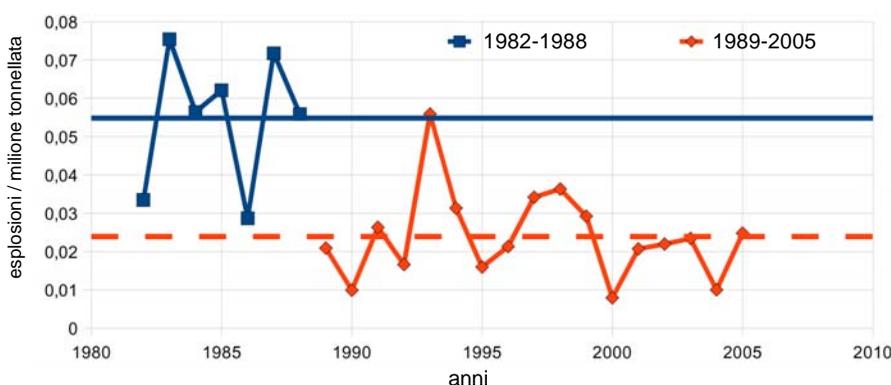
Si rileva che il cereale con maggiori esplosioni per milione di tonnellate risulta l'avena, quello con minori esplosioni per milione di tonnellate il frumento. Dall'analisi della *tabella 2* si deduce che i cereali hanno incidenze di esplosione sostanzialmente diverse fra loro. Per valutare l'importanza del cereale è stata riportata la produzione degli anni 1989-2005.

**2.2 Tempo di ritorno.** L'incidenza delle esplosioni per milione di tonnellate non ha riferimenti temporali: non tiene conto del fatto che ogni anno vi è un nuovo raccolto e che insieme ad esso vengano generate e movimentate delle nuove polveri. La generazione del materiale base esplosivo avviene cioè con cadenza almeno annuale. La frequenza di esplosione deve quindi tener conto sia della quantità di materiale trattato che del numero di movimentazioni di materiale: un milione di tonnellate può essere prodotto in un raccolto come in cinque raccolti. Interessa quindi sapere

**Tabella 2. Classifica in base alla quantità di ritorno in milioni di tonnellate (1989-2005)**

cereale	quantità prodotte (milioni di tonnellate)	quantità di ritorno (milioni di tonnellate)	incidenza media esplosione per milione tonnellata
avena	47,23	11,81	0,08469
riso	144,94	24,16	0,04140
orzo	126,81	31,70	0,03154
mais	3.942,83	42,86	0,02333
sorgo	239,64	59,91	0,01669
frumento	1.035,63	64,73	0,01545
segale	4,15	nd	0,00000

**Illustrazione 6. Incidenza annua media di esplosione del mais**



ogni anno quale sia l'aspettativa di esplosione. Si intende quindi che ad ogni anno corrisponda un'estrazione, con esplosione del numero di esplosioni. Con i dati a disposizione è stato possibile ottenere l'aspettativa media di esplosione all'anno. Vengono evidenziati nell'illustrazione 6 i valori relativi al mais (i dati sulla cui base è stata elaborata l'illustrazione 6 per quanto riguarda il periodo 1989-2005 sono riportati nella tabella 3).

Gli anni separanti in media due esplosioni per tipo di cereale sono stati riportati nella tabella 4. È rilevabile che l'incidenza media annua di esplosione per milione di tonnellate varia in funzione del tipo di cereale. Il frumento risulta uno dei cereali meno soggetti ad esplosione.

**2.3 Ripartizione delle esplosioni per tipo di industria.** Dalla tabella 5 si rileva che gli stoccaggi sono gli elementi maggiormente soggetti ad esplosione, con una quota pari ad oltre la metà delle esplosioni totali. I motivi di questo sono relativi alla presenza sia delle polveri che di corpi estranei nel prodotto grezzo, quali pietre e metalli, sia alla presenza degli elevatori, macchine di elevate prestazioni dimostrate spesso fonte di esplosione.

Premesso che in ogni industria molitoria vi è normalmente uno stoccaggio di accumulo delle materie prime, va considerato il fatto che il cereale entra in uno stoccaggio grazie ad un elevatore, viene movimentato internamente allo stoccaggio tramite elevatori, esce dallo stoccaggio tramite un elevatore.

**Tabella 3. Mais, probabilità media di esplosione in USA (1989-2005)**

anno	produzione	esplosioni	incidenza
1989	191,31	4	0,02091
1990	201,52	2	0,00992
1991	189,86	5	0,02634
1992	240,71	4	0,01662
1993	160,98	9	0,05591
1994	255,28	8	0,03134
1995	187,96	3	0,01596
1996	234,51	5	0,02132
1997	233,85	8	0,03421
1998	247,87	9	0,03631
1999	239,54	7	0,02922
2000	251,84	2	0,00794
2001	241,37	5	0,02072
2002	227,76	5	0,02195
2003	256,27	6	0,02341
2004	299,90	3	0,01000
2005	282,30	7	0,02480
<b>totale</b>	<b>3.943,00</b>	<b>92</b>	
<b>media</b>	<b>232</b>	<b>5,4</b>	<b>0,02393</b> <b>2,39E-02</b>

**Tabella 4. Cereali e tempo medio fra esplosioni (anni) per milione di tonnellate (1989-2005)**

cereale	tempo medio fra due esplosioni (anni) per milione di tonnellate	incidenza di esplosione all'anno per milione di tonnellate		cereal
avena	12,54	0,0797187	7,97E-02	oats
riso	22,32	0,0447986	4,48E-02	rice
orzo	38,06	0,0262765	2,63E-02	barley
mais	41,78	0,0239340	2,39E-02	corn
sorgo	66,00	0,0151522	1,52E-02	sorghum
frumento	67,57	0,0148000	1,48E-02	wheat
segale	nd	0,0000000	0,00E+00	rye

**Tabella 5. Esplosioni per tipo di attività post regolamentazione 1989-2005**

	stoccaggi	mulini mangime	mulini farina	mais secco	mais umido	molitoria riso	molitoria avena	altro	totale
totale	99	34	10	4	9	5	0	19	180
%	55,00	18,89	5,56	2,22	5,00	2,78	0,00	10,56	100

### 3 - Incidenze e frequenze attese

**3.1 Generalità.** Le incidenze di esplosione per milione di tonnellate ricavate possono essere adoperate anche per effettuare previsioni nel futuro. Non stiamo parlando di probabilità in senso stretto come definita a livello internazionale (*probability*) ma di verosimiglianza (*likelihood*): sulla base delle osservazioni, deduzioni e misurazioni degli eventi passati si può supporre verosimile che gli eventi si ripresenteranno, in mancanza di novità, con le stesse caratteristiche anche nel futuro. Da questo momento in poi parleremo quindi di quanto trovato in termini di incidenze attese e frequenze attese o, in accordo con l'attuale uso comune italiano, di

**Tabella 6. Incidenza media di esplosione per anno e milione di tonnellata lavorata negli stoccaggi di cereali USA**

	<i>orzo</i>	<i>mais</i>	<i>avena</i>	<i>riso</i>	<i>segale</i>	<i>sorgo</i>	<i>frumento</i>
incidenza annua esplosione per milione di tonnellate	2,63E-02	2,39E-02	7,97E-02	4,48E-02	0,00E+00	1,52E-02	1,48E-02
tempo di ritorno di esplosione per milione di tonnellate	38,02	41,84	12,55	22,32	nd	65,79	67,57
% esplosioni attribuibili agli stoccaggi	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00	55,00
Incidenza attesa di esplosione negli stoccaggi per milione di tonnellate	1,45E-02	1,31E-02	4,38E-02	2,46E-02	nd	8,36E-03	8,14E-03
Intervallo fra esplosioni negli stoccaggi per milione di tonnellate (anni)	69,1	76,1	22,8	40,6	nd	119,6	122,9

probabilità di accadimento.

### 3.2 Tempo di ritorno per milione di tonnellate negli stoccaggi di cereale.

Ci occuperemo adesso di sviluppare il caso degli stoccaggi di cereali. Lo stoccaggio è risultata l'attività in cui avviene oltre il 50% delle esplosioni. Quanto calcolato per gli stoccaggi risulterà quindi il valore più elevato: alle altre attività competeranno valori minori. L'intervallo fra esplosioni in tabella 6 è l'intervallo di tempo in anni che è verosimile trascorra, per milione di tonnellate di prodotto, fra due esplosioni consecutive.

**Tabella 7. Frequenze attese di esplosione negli stoccaggi di cereale**

	<i>orzo</i>	<i>mais</i>	<i>avena</i>	<i>riso</i>	<i>segale</i>	<i>sorgo</i>	<i>frumento</i>
incidenza media annua di esplosione negli stoccaggi per 10 <sup>6</sup> tonnellate	1,4465E-02	1,3145E-02	4,3835E-02	2,4640E-02	0,0000E+00	8,3600E-03	8,1400E-03
tempo ritorno anni per 10 <sup>6</sup> tonnellate	69	76	23	41	0	120	123
coefficiente	1	1	1	1	1	1	1
milioni tonnellate lavorate per anno	<b>Frequenza media attesa annua di esplosione in uno stoccaggio di cereali</b>						
0,05	7,23E-04	6,57E-04	2,19E-03	1,23E-03		4,18E-04	4,07E-04
0,10	1,45E-03	1,31E-03	4,38E-03	2,46E-03		8,36E-04	8,14E-04
0,15	2,17E-03	1,97E-03	6,58E-03	3,70E-03		1,25E-03	1,22E-03
0,20	2,89E-03	2,63E-03	8,77E-03	4,93E-03		1,67E-03	1,63E-03
0,25	3,62E-03	3,29E-03	1,10E-02	6,16E-03		2,09E-03	2,04E-03
0,50	7,23E-03	6,57E-03	2,19E-02	1,23E-02		4,18E-03	4,07E-03
0,75	1,08E-02	9,86E-03	3,29E-02	1,85E-02		6,27E-03	6,11E-03
1,00	1,45E-02	1,31E-02	4,38E-02	2,46E-02		8,36E-03	8,14E-03
1,25	1,81E-02	1,64E-02	5,48E-02	3,08E-02		1,05E-02	1,02E-02
1,50	2,17E-02	1,97E-02	6,58E-02	3,70E-02		1,25E-02	1,22E-02

**3.3 Frequenze attese di esplosione negli stoccaggi di cereale.** Finora abbiamo visto incidenze di esplosione per milioni di tonnellate. Si possono ricavare le frequenze attese o probabilità di esplosione assegnando le tonnellate lavorate per anno, liberando quindi il denominatore. I risultati sono riportati in tabella 7.

La probabilità di accadimento così trovata, per una immediata possibilità di comparazione, viene riportata in tabella 8 espressa in anni, corrispondenti al tempo di ritorno fra due eventi.

## 4 - Valutazione dei valori delle frequenze attese

**4.1 Scelta della scala di probabilità.** Per valutare il significato dei numeri trovati relativamente alle frequenze attese occorre confrontarli con una scala. Fra le varie scale di probabilità utilizzate da enti governativi quella che meglio si adatta al nostro caso risulta quella dell'aviazione civile americana (FAA), basata sulle ore

operative di funzionamento e con valori riferiti ad un intero sistema o flotta.

Le scale riferite alla probabilità per anno e per impianto, su funzionamenti di oltre 8.000 ore all'anno e/o su alberi di guasto nel nostro caso sarebbero una zattera nel mare delle ipotesi. La scala riportata dalla FAA, tradotta in italiano, è riportata nella tabella 9.

La tabella 10 propone una conversione fra scale di probabilità qualitative europee ed americane. Si nota che le europee sono organizzate in cinque livelli, quelle americane in tre.

milioni tonnellate lavorate per anno	orzo	mais	avena	riso	segale	sorgo	frumento
0,05	1382,6	1521,5	456,3	811,7		2392,3	2457,0
0,10	691,3	760,7	228,1	405,8		1196,2	1228,5
0,15	460,9	507,2	152,1	270,6		797,4	819,0
0,20	345,7	380,4	114,1	202,9		598,1	614,3
0,25	276,5	304,3	91,3	162,3		478,5	491,4
0,50	138,3	152,1	45,6	81,2		239,2	245,7
0,75	92,2	101,4	30,4	54,1		159,5	163,8
1,00	69,1	76,1	22,8	40,6		119,6	122,9
1,25	55,3	60,9	18,3	32,5		95,7	98,3
1,50	46,1	50,7	15,2	27,1		79,7	81,9

**Tabella 9. FAA - Scale qualitative e quantitative di probabilità**

**FAA System Safety Handbook, Chapter 3: Principles of System Safety (December 30, 2000)**  
**FAA - Manuale dei sistemi sicurezza, Capitolo 3: Principi dei sistemi di sicurezza**  
**Table 3-3: Likelihood of Occurrence Definitions / Definizioni della probabilità di accadimento**

Evento	Qualitative/Descrittivo	Quantitative/Numerico
Probable <i>Probabile</i>	Anticipated to occur one or more times during the entire system/operational life of an item. • <i>Previsto che succeda ad un oggetto una o più volte durante l'intera vita di sistema/operativa di un oggetto.</i>	Probability of occurrence per operational hour is greater than $1 \times 10^{-5}$ • <i>Probabilità di accadimento per ora di funzionamento maggiore di <math>1 \times 10^{-5}</math></i> <i>1 evento entro 100.000 ore di funzionamento</i>
Remote <i>Difficile</i>	Unlikely to occur to each item during its total life. May occur several time in the life of an entire system or fleet. • <i>Improbabile che accada ad ogni oggetto durante la sua vita totale. Può verificarsi più volte nella vita di un intero sistema o flotta.</i>	Probability of occurrence per operational hour is less than $1 \times 10^{-5}$ , but greater than $1 \times 10^{-7}$ • <i>Probabilità di accadimento per ora di funzionamento minore di <math>1 \times 10^{-5}</math> ma maggiore di <math>1 \times 10^{-7}</math></i> <i>1 evento fra 100.000 e 10 milioni di ore di funzionamento</i>
Extremely Remote <i>Estremamente difficile</i>	Not anticipated to occur to each item during its total life. May occur a few times in the life of an entire system or fleet. • <i>Non previsto il verificarsi per ogni elemento nel corso della sua vita totale. Può verificarsi qualche volta nella vita di un intero sistema o flotta.</i>	Probability of occurrence per operational hour is less than $1 \times 10^{-7}$ but greater than $1 \times 10^{-9}$ • <i>Probabilità di accadimento per ora di funzionamento è minore di <math>1 \times 10^{-7}</math> ma maggiore di <math>1 \times 10^{-9}</math></i> <i>1 evento fra 10 milioni e 1 miliardo di ore di funzionamento.</i>
Extremely Improbable <i>Estremamente improbabile</i>	So unlikely that it is not anticipated to occur during the entire operational life of an entire system or fleet. • <i>Talmente remoto che non è previsto il verificarsi durante il corso della vita operativa di un intero sistema o flotta.</i>	Probability of occurrence per operational hour is less than $1 \times 10^{-9}$ • <i>Probabilità di accadimento per ora di funzionamento è minore di <math>1 \times 10^{-9}</math></i> <i>1 evento oltre 1 miliardo di ore di funzionamento.</i>

**4.2 Confronto.** Gli impianti di lavorazione dei cereali, a differenza di altre industrie, come ad esempio la chimica, non lavorano continuamente su tre turni tutto l'anno. Col fine di poter confrontare i valori delle probabilità di accadimento trovati con la scala di valori scelta, basata sulle ore effettive di lavorazione, è stato necessario convertire la frequenza media annua di esplosione in frequenza media oraria di esplosione. L'anno lavorativo USA è stato considerato, a favore di sicurezza, pari a 250 giorni lavorativi di 8 ore, pari a 2.000 ore operative per anno. I valori della frequenza attesa media di esplosione per ora operativa, sono esposti nella tabella 11. Il valore è a favore di sicurezza.

Se ho la probabilità  $P_{ANNO}$  di esplosione all'anno ed in un anno ho lavorato 2000 ore, la probabilità oraria di accadimento di una esplosione  $P_{ORA}$  sarà espressa da  $P_{ANNO} = P_{ORA} \times 2000$ , da cui  $P_{ORA} = P_{ANNO} / 2000$ .

Dopo aver convertito la frequenza attesa per anno in frequenza attesa per ora la situazione risulta riepilogata in tabella 11, ove per ogni quantità annua lavorata sono riportate sia la frequenza attesa che, in grassetto, le ore attese di intervallo fra due eventi.

Secondo quanto esposto - avena, riso ed orzo a parte - si sta sopra le 100.000 ore operative di intervallo fra esplosioni, ovvero, in base alla scala della probabilità

Tabella 10. Probabilità descrittiva e quantitativa, USA e UE

Probabilità qualitativa per ora operativa in Europa (JAR)	Probabilità quantitativa per ora operativa	Ore operative	Probabilità qualitativa per ora operativa in USA (FAR)
Frequente	tra 1 e 10 <sup>-3</sup>	tra 1 e 1.000	Probabile
Ragionevolmente probabile	tra 10 <sup>-3</sup> e 10 <sup>-5</sup>	tra 1.000 e 100.000	
Difficile, improbabile	tra 10 <sup>-5</sup> e 10 <sup>-7</sup>	tra 100.000 e 10.000.000	Improbabile
Estremamente difficile, abbastanza improbabile	tra 10 <sup>-7</sup> e 10 <sup>-9</sup>	tra 10.000.000 e 1.000.000.000	
Estremamente improbabile	oltre 10 <sup>-9</sup>	oltre 1.000.000.000	

Tabella 11. Quantità annue lavorate, frequenza attesa di esplosioni e ore attese di intervallo fra due eventi

	orzo	mais	avena	riso	segale	sorgo	frumento
frequenza attesa media annua di esplosione negli stoccaggi per 10 <sup>6</sup> tonnellate	1,45E-02	1,31E-02	4,38E-02	2,46E-02	0,00E+00	8,36E-03	8,14E-03
periodo ritorno anni per 10 <sup>6</sup> tonnellate	69	76	23	41	0	120	123
ore operative per anno	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000
milioni tonnellate lavorate per anno	<i>Frequenza attesa di esplosione per ora operativa in uno stoccaggio di cereali</i> <b>Ore operative di ritorno</b>						
0,05	3,62E-07 <b>2.995.691</b>	3,29E-07 <b>3.042.982</b>	1,10E-06 <b>912.513</b>	6,16E-07 <b>1.623.377</b>		2,09E-07 <b>4.784.689</b>	2,04E-07 <b>4.914.005</b>
0,25	1,81E-06 <b>553.059</b>	1,64E-06 <b>608.596</b>	5,48E-06 <b>182.503</b>	3,08E-06 <b>324.675</b>		1,05E-06 <b>956.938</b>	1,02E-06 <b>982.801</b>
0,50	3,62E-06 <b>276.530</b>	3,29E-06 <b>304.298</b>	1,10E-05 <b>91.251</b>	6,16E-06 <b>162.338</b>		2,09E-06 <b>478.469</b>	2,04E-06 <b>491.400</b>
0,75	5,42E-06 <b>184.353</b>	4,93E-06 <b>202.865</b>	1,64E-05 <b>60.834</b>	9,24E-06 <b>108.225</b>		3,14E-06 <b>318.979</b>	3,05E-06 <b>327.600</b>
1,00	7,23E-06 <b>138.265</b>	6,57E-06 <b>152.149</b>	2,19E-05 <b>45.626</b>	1,23E-05 <b>81.169</b>		4,18E-06 <b>239.234</b>	4,07E-06 <b>245.700</b>
1,25	9,04E-06 <b>110.612</b>	8,22E-06 <b>121.719</b>	2,74E-05 <b>36.501</b>	1,54E-05 <b>64.935</b>		5,23E-06 <b>191.388</b>	5,09E-06 <b>196.560</b>
1,50	1,08E-05 <b>92.177</b>	9,86E-06 <b>101.433</b>	3,29E-05 <b>30.417</b>	1,85E-05 <b>54.113</b>		6,27E-06 <b>159.490</b>	6,11E-06 <b>163.800</b>

scelta, la classificazione è improbabile.

In Sardegna i quantitativi di punta di lavorazione di cereali per impianto risultano compresi fra 150.000 ed 1.000.000 di tonnellate.

## 5 - Trasporto delle normative dagli USA all'Europa

Per valutare se sia possibile trasferire in Europa i risultati ottenuti su dati USA, occorre valutare quanto il quadro normativo europeo ed americano siano simili. Il sistema normativo europeo, relativamente alle esplosioni da polvere, si basa su due direttive:

- *Direttiva CEE/CEEA/CE n. 9 del 23/03/1994, 94/9/CE* (Direttiva del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 marzo 1994 concernente il ravvicinamento delle legislazioni degli Stati membri relative agli apparecchi e sistemi di protezione destinati a essere utilizzati in atmosfera potenzialmente esplosiva, detta anche *ATEX 95*).
- *Direttiva 1999/92/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 16 dicembre 1999*, relativa alle prescrizioni minime per il miglioramento della tutela della sicurezza e della salute dei lavoratori che possono essere esposti al rischio di atmosfere esplosive (quindicesima direttiva particolare ai sensi dell'articolo 16, paragrafo 1, della direttiva 89/391/CEE) detta anche *ATEX 137*.

Tali direttive stabiliscono un insieme di regole e procedimenti validi in generale

## Tavola A. Alcune norme di sicurezza USA su polveri e impianti per cereali

1. Accident Prevention Manual for Industrial Operations; National Safety Council, 425 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611.
  2. Practical Guide to Elevator Design; National Grain and Feed Association, P.O. Box 28328, Washington, DC 20005.
  3. Dust Control for Grain Elevators; National Grain and Feed Association, P.O. Box 28328, Washington, DC 20005.
  4. Prevention of Grain Elevator and Mill Explosions; National Academy of Sciences, Washington, DC. (Available from National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22151.)
  5. Standard for the Prevention of Fires and Explosions in Grain Elevators and Facilities Handling Bulk Raw Agricultural Commodities, NFPA 61B; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  6. Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions in Feed Mills, NFPA 61C; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  7. Standard for the Prevention of Fire and Dust Explosions in the Milling of Agricultural Commodities for Human Consumption, NFPA 61D; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  8. Standard for Pneumatic Conveying Systems for Handling Feed, Flour, Grain and Other Agricultural Dusts, NFPA 66; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  9. Guide for Explosion Venting, NFPA 68; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  10. Standard on Explosion Prevention Systems, NFPA 69; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  11. Safety-Operations Plans; U.S. Department of Agriculture, Washington, DC 20250.
  12. Inplant Fire Prevention Control Programs; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  13. Guidelines for Terminal Elevators; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  14. Standards for Preventing the Horizontal and Vertical Spread of Fires in Grain Handling Properties; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  15. Belt Conveyors for Bulk Materials, Part I and Part II, Data Sheet 570, Revision A; National Safety Council, 425 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611.
  16. Suggestions for Precautions and Safety Practices in Welding and Cutting; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  17. Food Bins and Tanks, Data Sheet 524; National Safety Council, 425 North Michigan Avenue, Chicago, Illinois 60611.
  18. Pneumatic Dust Control in Grain Elevators; National Academy of Sciences, Washington, DC. (Available from National Technical Information Service, Springfield, Virginia 22151.)
  19. Dust Control Analysis and Layout Procedures for Grain Storage and Processing Plants; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  20. Standard for the Installation of Blower and Exhaust Systems for Dust, Stock and Vapor Removal, NFPA 91; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  21. Standards for the Installation of Direct Heat Grain Driers in Grain and Milling Properties; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  22. Guidelines for Lubrication and Bearing Maintenance; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  23. Organized Maintenance in Grain and Milling Properties; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  24. Safe and Efficient Elevator Legs for Grain and Milling Properties; Mill Mutual Fire Prevention Bureau, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  25. Explosion Venting and Suppression of Bucket Elevators; National Grain and Feed Association, P.O. Box 28328, Washington, DC 20005.
  26. Lightning Protection Code, NFPA 78; National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, Massachusetts 02269.
  27. Occupational Safety in Grain Elevators, DHHS (NIOSH) Publication No. 83-126; National Institute for Occupational Safety and Health, Morgantown, West Virginia 26505.
  28. Retrofitting and Constructing Grain Elevators; National Grain and Feed Association, P.O. Box 28328, Washington, DC 20005.
  29. Grain Industry Safety and Health Center Training Series (Preventing grain dust explosions, operations maintenance safety, transportation safety, occupational safety and health); Grain Elevator and Processing Society, P.O. Box 15026, Commerce Station, Minneapolis, Minnesota 55415-0026.
  30. Suggestions for Organized Maintenance; The Mill Mutuals Loss Control Department, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  31. Safety - The First Step to Success; The Mill Mutuals Loss Control Department, 1 Pierce Place, Suite 1260 West, Itasca, Illinois 60143-1269.
  32. Emergency Plan Notebook; Schoeff, Robert W. and James L. Balding, Kansas State University, Cooperative Extension Service, Extension Grain Science and Industry, Shellenberger Hall, Manhattan, Kansas 66506.
- [52 FR 49625, Dec. 31, 1987, as amended at 53 FR 17696, May 18, 1988; 54 FR 24334, June 7, 1989; 55 FR 25094, June 20, 1990; 61 FR 5507, Feb. 13, 1996; 61 FR 9227, March 7, 1996; 61 FR 9577, March 8, 1996]

da adottare in presenza di atmosfere potenzialmente esplosive, fra cui anche quelle originate da polveri, di cui le agricole costituiscono un sottoinsieme.

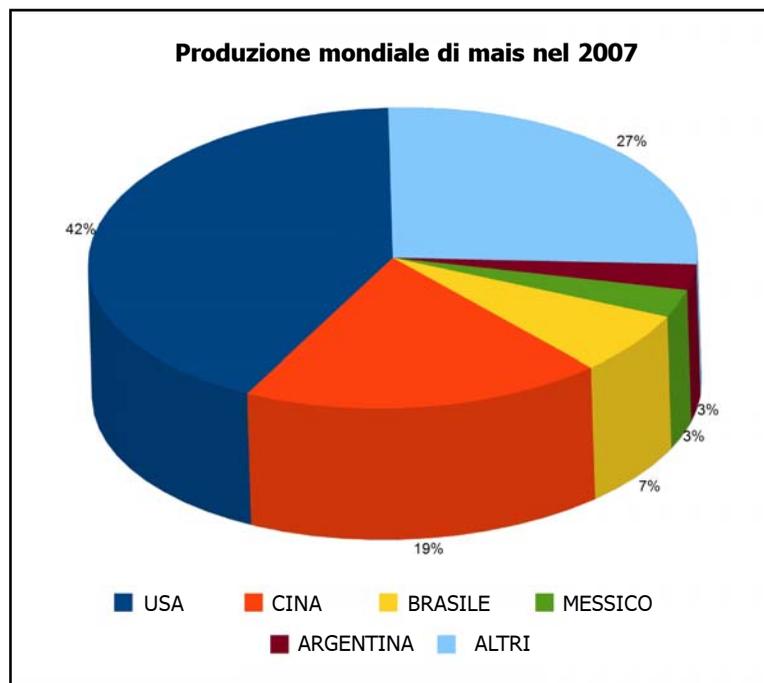
Il sistema americano si basa su un insieme di norme sia generali, come ad esempio il NEC (National Electrical Code, paragonabile alle nostre norme CEI), sia dedicate per le polveri agricole, con specifiche particolari per componenti od impianti. Alcune vengono riportate nella tavola A.

I punti in comune fra i sistemi normativi riguardano gli atti di indirizzo ed i provvedimenti organizzativi, gli obblighi dei datori di lavoro e la formazione ed informazione dei lavoratori sui rischi. Le normative si distaccano invece nella parte applicativa, in

quanto le norme americane oltre ad essere atti di indirizzo, specificano spesso procedure quali la pulizia del flusso di cereale in entrata o valori numerici da rispettare quali dimensioni di griglie, altezza dello strato di polvere, tipo dei nastri, etc.

Pur risultando molto complesso stabilire una supremazia fra i due sistemi, è evidente che entrambi sono molto ben impostati. La sostanziale differenza attualmente resta il fatto che il sistema americano ha potuto dimostrare numericamente la propria efficacia grazie alla quantità di dati raccolti nel tempo sul fenomeno. L'esecuzione di un'analogia verifica non risulta attualmente possibile in Europa. Dai dati disponibili europei (database ARIA) non si può dire comunque che il fenomeno abbia raggiunto le dimensioni di quello americano. In effetti le esplosioni di cereali in Europa non risultano all'ordine del giorno. Va tenuto presente che in Sardegna quote di 1,5 milioni di tonnellate di prodotto sono ancora un obiettivo di fine anno. La produzione italiana di frumento si attesta sugli otto milioni di tonnellate all'anno.

Illustrazione 8.



fonte: FAO

presentano da soli il 42% della produzione mondiale di mais.

L'analisi delle normative dei due paesi fa ritenere che si possano adoperare in Europa come riferimento i valori trovati per gli USA, in attesa di analoghe ed auspiccate rilevazioni e determinazioni europee. Un amara considerazione da fare riguarda il fatto che è risultato più facile conoscere le produzioni agricole del 1905 di un singolo cereale USA che una qualunque produzione sarda degli anni 2000.

Per l'industria molitoria in Sardegna, alla luce di quanto esposto, dei quantitativi trattati nelle unità produttive isolate, e del fatto che i valori di frequenza attesa trovati per gli stoccaggi sono senz'altro quelli più elevati nell'industria molitoria, si può ritenere che, negli stabilimenti che rispettino la normativa vigente, l'accadimento di una esplosione da polvere di cereale sia ragionevolmente prevedibile come "improbabile".

**Giorgio Demontis**

## Le deroghe alla normativa antincendio approvate o respinte in Sardegna

Sul sito dell'Ordine è possibile consultare un archivio delle richieste di deroga alla normativa antincendio prese in esame in Sardegna dal Direttore regionale dei Vigili del fuoco, del soccorso pubblico e della difesa civile, sentito il parere del Comitato Tecnico Regionale di prevenzione incendi. I dati sono stati raccolti dall'ing. Guido Basciu (che rappresenta l'Ordine Ingegneri della provincia di Cagliari nel CTR e nella Commissione deroghe) e dall'ing. Angelo Porcu (dirigente dei Vigili del fuoco), in accordo con il Direttore regionale dei Vigili del fuoco. Questa importante base dati, a disposizione sia del CTR che di tutti gli interessati, offre un efficace strumento di riferimento per affrontare le richieste di deroga, anche ai fini della omogeneità e uniformità di trattazione.

[www.ingegneri-ca.net/materiali/antincendio/deroghe.html](http://www.ingegneri-ca.net/materiali/antincendio/deroghe.html)