



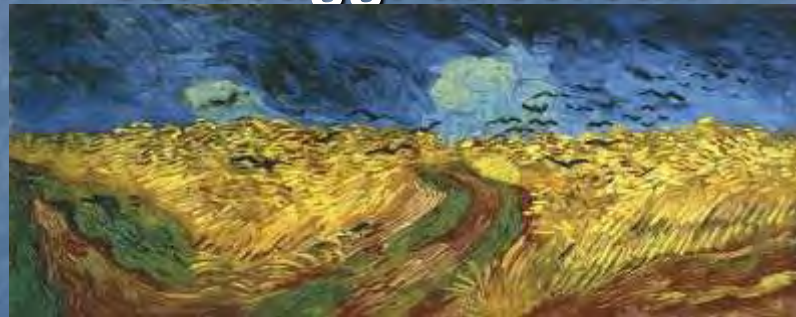
Istituto Superiore Antincendio
Roma, 15-16 ottobre 2013

**SEMINARIO :
LO STUDIO E LA RICERCA PER LA
SICUREZZA ANTINCENDIO**



RELAZIONE

**“I rischi di incendio e di esplosione negli
stoccaggi di cereali”**

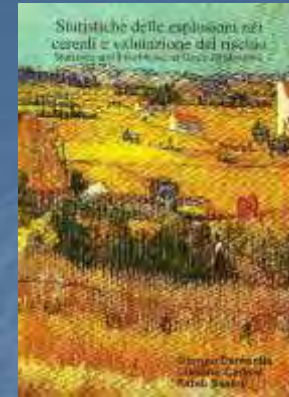


Ing. Luciano Cadoni

Dirigente Area Nucleare - Direzione Centrale Difesa Civile e Politiche di P.C.



SOMMARIO



- **Risultati di due ricerche svolte negli anni 2008 e 2009 insieme ad altri autori (Demontis, Granata, Sassu e Savarese).**
- **Ai cereali sono associati pericoli poco noti e sono fonte di numerosi incidenti in tutto il mondo.**
- **Aspetti indagati sul rischio incendio: autocombustione ed esplosioni dei cereali.**
- **Dinamiche esplosive e misure di prevenzione.**
- **Valutazione quantitativa del rischio di esplosione sulla base dei dati USA.**
- **Possibile estensione dei risultati all'Italia.**

ANALISI DEI RISCHI NELLE AZIENDE CEREALICOLE

Il rischio incendio costituisce uno dei rischi più gravi per le aziende, sia per le possibili conseguenze sui lavoratori che per gli eventuali danni all'attività produttiva.

Effettuare l'analisi del rischio incendio significa individuare le condizioni che possono portare ai seguenti eventi incidentali:

- incendio
- **autocombustione**
- **esplosione**
- scoppio
- implosione
- rilascio di sostanze comunque pericolose



INDAGHEREMO SU **AUTOCOMBUSTIONE ED ESPLOSIONE**

Cosa è l'autocombustione?

- Si parla di autocombustione quando senza alcun apporto di energia dall'esterno, quali scintille, fiamma o contatto con corpo incandescente, una sostanza combustibile si accende a seguito di una reazione di ossidazione inizialmente lenta con successivo graduale e sensibile accumulo di calore.

- L'autocombustione è un processo che può durare in alcuni casi anche settimane, durante il quale la temperatura può crescere fino a raggiungere valori tali da originare un vero e proprio incendio.
- In molti casi, invece, il processo non produce conseguenze a causa di una sufficiente ventilazione che consente la dissipazione del calore prodotto e limita la temperatura della massa.



Cereali Analizzati



Mais



Frumento duro e tenero



Sorgo



Orzo



Riso



Avena

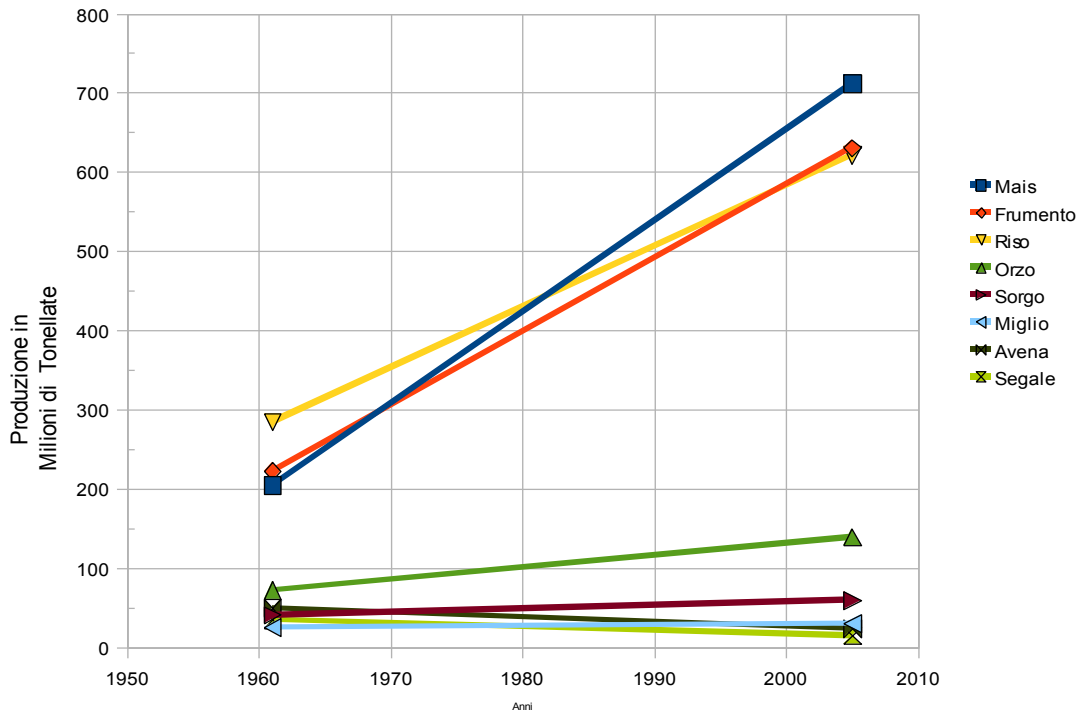


Segale

Produzione di cereali nel mondo

Andamento della Produzione Mondiale di Cereali

Crescita Produzione basata sui valori Anno 1961 ed Anno 2005
FAO 2006



Mais	711,8
Frumento	630,6
Riso	621,6
Orzo	139,2
Sorgo	59,7
Avena	24,0

(in milioni di tonnellate)

I cereali sono soggetti ad autocombustione?

E' noto che negli stoccaggi di cereali possono verificarsi, a causa dell'attività biologica, innalzamenti localizzati della temperatura.

La temperatura che viene raggiunta supera la temperatura di accensione (circa 300 °C)?

I semi oleosi, non appartenenti ai cereali, quali



Lino



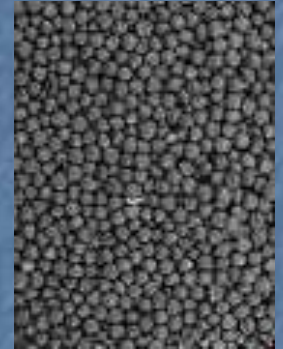
Colza



Girasole



Soia



Canola

hanno un comportamento differente, in quanto si possono raggiungere, per ossidazione chimica dei grassi contenuti nei semi, temperature di oltre 300°C, in grado di portare all'autoaccensione la massa in deposito.

Autocombustione nei cereali

Stato attuale della conoscenza

- Non risultavano reperibili studi specifici in Italia prima del 2008.
- Negli ultimi 40 anni sono stati eseguiti diversi studi nel mondo, specie nel Nord America ed in Australia, sulla conservazione e sullo stoccaggio dei cereali.



Autocombustione nei cereali

Esperimento di Sinha e Wallace

Si è riscontrato che negli stoccaggi si possono generare dei punti caldi, detti HOT SPOT.



Secondo la classificazione data da Sinha negli anni 60 questi punti caldi sono generati :

- da insetti (**Insect induced Hot spot**)
- da funghi (**Fungi induced Hot Spot**).

Autocombustione nei cereali

Esperimento di Sinha e Wallace

Nell'esperimento, che risale al Novembre 1964, furono impiegati 13.5 t di "***red hard spring***", uno dei frumenti tipici Nord americani, al 14% di umidità;



Il frumento fu immesso, per un'altezza di 1.8 m, in due contenitori identici.

In uno solo dei due contenitori fu immessa una palla di 25 kg di frumento al 22% di umidità, 60 cm sotto la superficie superiore.

Autocombustione nei cereali

Esperimento di Sinha e Wallace

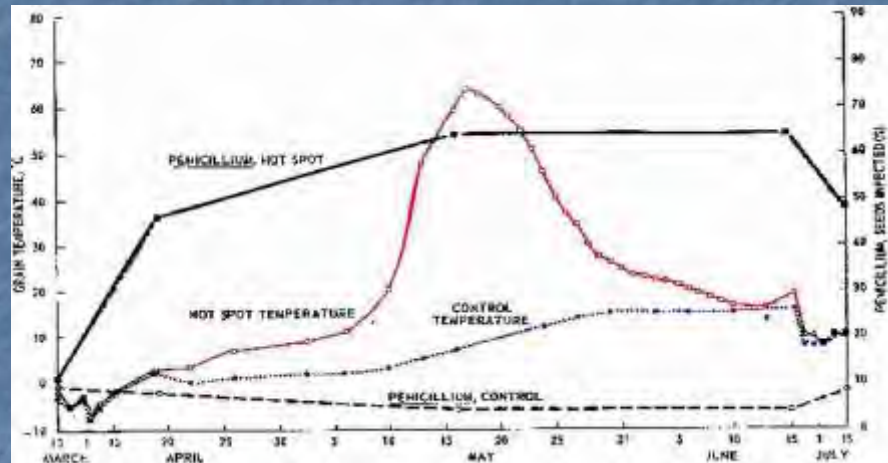
I due contenitori furono dotati di strumentazione di misura e furono messi sotto monitoraggio: temperatura, umidità, batteri, funghi, capacità di germinazione.



Autocombustione nei cereali

Esperimento di Sinha e Wallace

Dopo alcuni mesi di osservazione si è registrato l'andamento dei due parametri principali: la temperatura e la produzione del principale fungo presente nel grano canadese, il penicillium:



Negli stoccaggi di cereali, quindi, l'aumento di temperatura si interrompe, a causa dell'estinzione degli organismi che la originano (funghi e batteri).

Le temperature massime raggiunte, circa 80°C, sono molto minori di quelle necessarie per accendere i cereali (circa 300°C), quindi

l'autocombustione è un rischio non presente negli stoccaggi di cereali

ESPLOSIONE DELLE POLVERI DI CEREALI

I RISCHI MAGGIORI NEI CEREALI DERIVANO, INVECE, DALLE POLVERI CHE, IN DETERMINATE CONDIZIONI, POSSONO ESPLODERE.

- **LE POLVERI DI CEREALI INFATTI CONTENGONO:
60-75 % MATERIA ORGANICA;
25-40 % MATERIA INORGANICA.**
- **UNA TONNELLATA DI CEREALI CONTIENE DA 1 A 5 KG DI POLVERE.**

**Westwego, Louisiana, 22 Dicembre
1977, 35 morti**



**Francia, BLAYE, stabilimento SEMABLA,
Agosto 97, 11 morti, 1 ferito.**

PRESUPPOSTI DELLA RICERCA

- **I pericoli di esplosioni delle polveri di cereali vengono spesso sottovalutati;**
- **Polveri combustibili sono presenti anche nell'industria chimica, metallurgica, della lavorazione del legno, ecc.**
- **Occorre conoscere a fondo il fenomeno esplosivo, con le relative dinamiche, anche al fine di elaborare un criterio per la valutazione quantitativa del rischio.**
- **In Europa non risultano disponibili, allo stato attuale, dati sistematici per quantificare tale rischio, mentre negli USA tali fenomeni sono sotto osservazione statistica da alcuni decenni ed i dati raccolti risultano particolarmente significativi.**

ESPLOSIONE DELLE POLVERI

- L'esplosione è parente della combustione.
- Per descrivere in modo semplice quali siano le variabili fondamentali che governano i fenomeni esplosivi delle polveri viene spesso adottata una versione modificata del triangolo del fuoco:

“pentagono delle esplosioni da polvere”



1. Combustibile;
2. Comburente;
3. Fonte di ignizione;
4. Dispersione della polvere (sup. al LEL o LIE pari a 50-65 g/mc) [LYCOPodium](#) ;
5. Confinamento della nuvola di polvere.

DINAMICA DELLE ESPLOSIONI DELLE POLVERI DI CEREALI

LA POLVERE DEPOSITATA DIVENTA PERICOLOSA UNA VOLTA SOLLEVATA E DISPERSA IN ARIA, QUELLA IN STRATO E' COME QUALCOSA DI ADDORMENTATO CHE SE VIENE SVEGLIATO PERDE IL BUON UMORE!

GENERALMENTE SI HA UN'ESPLOSIONE PRIMARIA CHE SOLLEVA CON LO SPOSTAMENTO D'ARIA LA POLVERE DEPOSITATA CHE A SUA VOLTA SI INCENDIA CAUSANDO UN'ESPLOSIONE SECONDARIA GENERALMENTE PIU' GRAVE E DEVASTANTE DELLA PRIMA.



PREVENZIONE DELLE ESPLOSIONI

LA PREVENZIONE DELLE ESPLOSIONI VIENE ATTUATA ESSENZIALMENTE IN DUE MODI:

- 1. CONTROLLO DELLE POLVERI;**
- 2. CONTROLLO DELLE FONTI DI INNESCO.**

1. CONTROLLO DELLE POLVERI

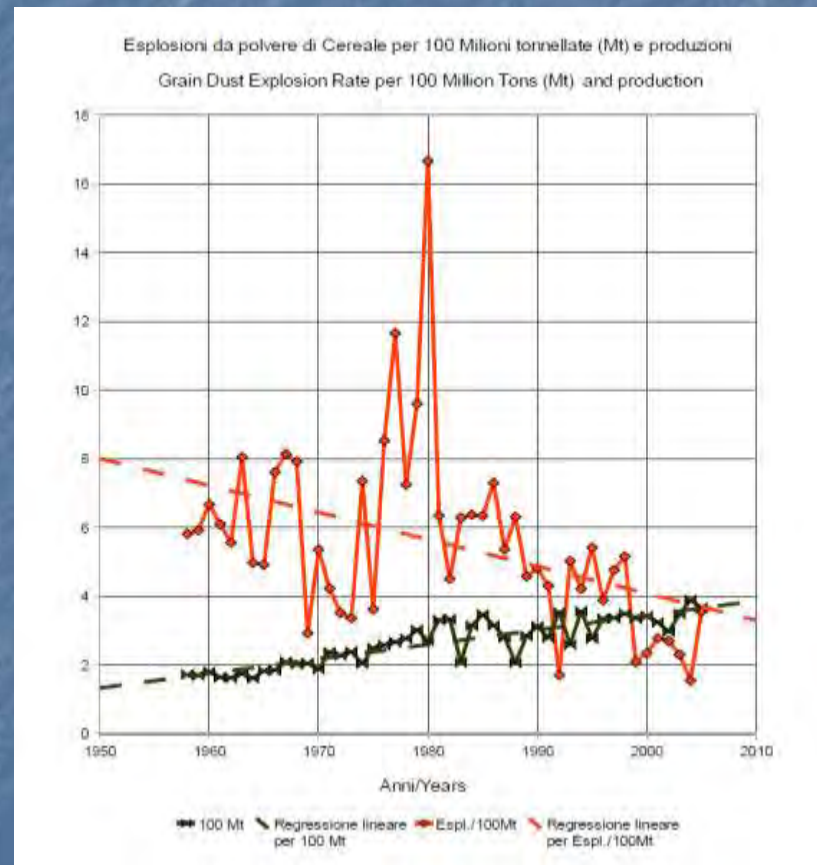
MEDIANTE SISTEMI DI ASPIRAZIONE E MEDIANTE PULIZIA DEI LOCALI

2. CONTROLLO DELLE FONTI DI INNESCO

- IMPIANTI ELETTRICI A REGOLA D'ARTE (DIRETTIVA ATEX);
- MANUTENZIONE PROGRAMMATA E CONTROLLO DELLE PARTI MECCANICHE;
- ELIMINAZIONE DELLE CAUSE DI SCINTILLIO MECCANICO;
- LAVORI A CALDO E PROCEDURE INTERNE.

STUDIO DELLE ESPLOSIONI NEGLI USA

- Si noti il picco delle esplosioni dei cereali nella seconda metà degli anni 70.
- In seguito a ciò il governo Usa dichiarò il problema un'emergenza nazionale.
- Dal 1980 la raccolta dati delle esplosioni è stata appositamente curata dall'Università del Kansas.
- Esistenza di due situazioni legislative:
prima del 1988, senza normative specifiche;
dopo il 1988, con normative specifiche.



ESPLOSIONI NEGLI USA

- Il grande impegno profuso consentì di ottenere, negli anni successivi all'emanazione degli standard OSHA, una riduzione percentuale a due cifre delle esplosioni, dei morti, dei feriti e dei danni.
- Nel 1978 fu inoltre potenziata, migliorata e mirata la rilevazione del fenomeno delle esplosioni per poterle meglio studiare e monitorare.
- Grazie a tale impegno ed al fatto che i dati sono stati pubblicati online è stato possibile realizzare lo studio.

RISULTATI PRINCIPALI DELLO STUDIO

- Relazione tra numero di incidenti è quantità lavorate (incidenza di esplosione per tonnellate lavorate).
- Differenti rischi di esplosione per diversi tipi di cereali (incidenza di esplosione per tipi diversi di cereali);
- Differenti rischi di esplosione nelle diverse lavorazioni;
- Determinazione di una probabilità di accadimento media per anno o per ora lavorata e definizione sintetica.

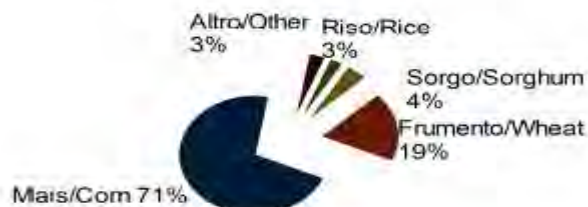
Produzioni di cereali negli USA (1989-2005)

Produzione di cereali USA 1989-2005, milioni di tonnellate, periodo normato da OSHA

	<i>Orzo</i>	<i>Mais</i>	<i>Avena</i>	<i>Riso</i>	<i>Segale</i>	<i>Sorgo</i>	<i>Fruento</i>	<i>Totale</i>
Quantità Quantity	126,81	3.942,83	47,23	144,93	4,15	239,64	1.035,63	5.541,22
%	2,29%	71,15%	0,85%	2,62%	0,07%	4,32%	18,69%	100,00%
	Barley	Corn	Oats	Rice	Rye	Sorghum	Wheat	Total

USA Grain Production 1989-2005, million metric tons

Produzione Cereali USA 1982-2005
USA Grain Production 1982-2005



Il Mais (71%) ed il Frumento (19%) risultano i cereali maggiormente prodotti, da soli sono circa il 90% dei cereali prodotti

Rispetto alle esplosioni i cereali sono tutti uguali ?

Esplosioni da polvere di cereale negli USA 1989-2005, periodo normato da OSHA								
Anno	Orzo	Mais	Avena	Riso	Segale	Sorgo	Frumento	Totale
1989-2005	4	92	4	6	0	4	16	126
%	3,17%	73,02%	3,17%	4,76%	0,00%	3,17%	12,70%	100,00%
	Barley	Corn	Oats	Rice	Rye	Sorghum	Wheat	
USA Grain Dust Explosion 1989-2005, Under Standards OSHA								

Dai risultati è evidente che il mais col 73% detiene il record delle esplosioni, il frumento è secondo con il 13%..

Incidenze di esplosione per cereale e per milione di tonnellate (1989-2005)

Classifica in base alla quantità di ritorno in milioni di tonnellate (1989-2005)				
Cereale	Quantità di ritorno Milioni di tonnellate	Indice medio Esplosione per milione di tonnellate		Gram
Avena	11,81	0,08469193	8,47E-02	Oats
Riso	24,16	0,04139930	4,14E-02	Rice
Orzo	31,70	0,03154325	3,15E-02	Barley
Mais	42,86	0,02333349	2,33E-02	Corn
Sorgo	59,91	0,01669170	1,67E-02	Sorghum
Frumento	64,73	0,01544953	1,54E-02	Wheat
Segale	ND	0,00000000	0,00E+00	Rye
	<i>Quantity Of Return Million metric tons</i>	<i>Mean Explosion Rate for million metric tons</i>		
<i>Sorted by Quantity of Return, million metric tons (1989-2005), under Standard: OSHA</i>				

In questo caso il Frumento risulta il cereale meno soggetto ad esplosioni ed il Mais occupa il centro classifica

Le lavorazioni sono tutte uguali?

Esplosioni per tipo di attività Post Regolamentazione 1989-2005									
Anni	Stoccaggi	Mulini Mangime	Mulini Farina	Mais secco	Mais umido	Molitoria Riso	Molitoria Avena	Altro	Totale
1989-1998	68	22	8	4	8	5	0	9	124
1999-2005	31	12	2	0	1	0	0	10	56
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%
Years	Grain Elevator	Feed Mill	Flour Mill	Corn Mill Dry	Corn Mill Wet	Rice Mill	Oat Mill	Other	Total

Grain Dust Explosions by type of Facility. Post Standards years 1989-2005

Le lavorazioni non sono tutte uguali
 Negli stoccaggi si verifica oltre il 50% delle esplosioni

Dalle incidenze per milione di tonnellate per anno alla probabilità media annua in funzione delle quantità lavorate

PROBABILITA MEDIA ANNUA DI ESPLOSIONE NELLE LAVORAZIONI DEI CEREALI							
	Orzo Barley	Mais Corn	Avena Oats	Riso Rice	Segale Rye	Sorgo Sorghum	Frumento Wheat
Incidenza media esplosione per 10 ⁶ ton e per anno	0,02628	0,02393	0,07972	0,04480	0,00000	0,01515	0,01479
Anni ritorno per 10 ⁶ ton	38	42	13	22		66	68
	1	1	1	1	1	1	1
Milioni Ton. lavorate per anno	<i>Probabilità media di esplosione per anno nell'industria molitoria Mean explosion likelihood per year in grain handling facilities</i>						
0,05	1,31E-03	1,20E-03	3,99E-03	2,24E-03		7,58E-04	7,40E-04
0,10	2,63E-03	2,39E-03	7,97E-03	4,48E-03		1,52E-03	1,48E-03
0,15	3,94E-03	3,59E-03	1,20E-02	6,72E-03		2,27E-03	2,22E-03
0,20	5,26E-03	4,79E-03	1,59E-02	8,96E-03		3,03E-03	2,96E-03
0,25	6,57E-03	5,98E-03	1,99E-02	1,12E-02		3,79E-03	3,70E-03
0,30	7,88E-03	7,18E-03	2,39E-02	1,34E-02		4,55E-03	4,44E-03
0,35	9,20E-03	8,38E-03	2,79E-02	1,57E-02		5,30E-03	5,18E-03
0,40	1,05E-02	9,57E-03	3,19E-02	1,79E-02		6,06E-03	5,92E-03
0,45	1,18E-02	1,08E-02	3,59E-02	2,02E-02		6,82E-03	6,66E-03
0,50	1,31E-02	1,20E-02	3,99E-02	2,24E-02		7,58E-03	7,40E-03
0,75	1,97E-02	1,80E-02	5,98E-02	3,36E-02		1,14E-02	1,11E-02
1,00	2,63E-02	2,39E-02	7,97E-02	4,48E-02		1,52E-02	1,48E-02
1,50	3,94E-02	3,59E-02	1,20E-01	6,72E-02		2,27E-02	2,22E-02
2,00	5,26E-02	4,79E-02	1,59E-01	8,96E-02		3,03E-02	2,96E-02
3,00	7,88E-02	7,18E-02	2,39E-01	1,34E-01		4,55E-02	4,44E-02
Million metric tons handled per year	Orzo Barley	Mais Corn	Avena Oats	Riso Rice	Segale Rye	Sorgo Sorghum	Frumento Wheat
<i>MEAN EXPLOSION LIKELIHOOD PER YEAR IN GRAIN HANDLING FACILITIES</i>							

Probabilità delle esplosioni di polveri di cereale in Italia

PROBABILITÀ DI ESPLOSIONE DEI CEREALI IN ITALIA NEL 2007							
	Orzo	Mais	Avena	Riso	Segale	Sorgo	Frumento
Produzioni Italia 2007 Italian production 2007	1.205.638	9.891.362	407.515	1.493.200	7.685	200.343	7.260.309
Incidenza di esplosione per milione di tonnellate	2,63E-02	2,39E-02	7,97E-02	4,48E-02		1,52E-02	1,48E-02
Probabilità media oraria di esplosione 2007	1,58E-05	1,18E-04	1,62E-05	3,34E-05		1,52E-06	5,37E-05
Ore operative tra due esplosioni	63.131	8.448	61.994	29.898		658.840	18.613
Probabilità qualitativa	Ragion. Probabile	Ragion. Probabile	Ragion. Probabile	Ragion. Probabile	ND	Improbabile	Ragion. Probabile
Incidenza esplosioni Stoccaggi	55,00%	55,00%	55,00%	55,00%	55%	55,00%	55,00%
Probabilità esplosione Stoccaggi per ora operativa	8,71E-06	6,51E-05	8,93E-06	1,84E-05		8,35E-07	2,95E-05
Ore operative fra due esplosioni negli stoccaggi	114.784	15.360	111.989	54.361		1.197.891	33.842
Probabilità qualitativa	Improbabile	Ragion. Probabile	Improbabile	Ragion. Probabile	ND	Molto Improbabile	Ragion. Probabile
Incidenza decessi per emissione	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Probabilità decesso per ora operativa	1,11E-06	8,32E-06	1,14E-06	2,35E-06		1,07E-07	3,78E-06
Ore operative tra due decessi	899.313	120.210	876.438	425.431		9.374.802	264.847
Probabilità qualitativa	Improbabile	Improbabile	Improbabile	Improbabile	ND	Molto Improbabile	Improbabile
Incidenza feriti per esplosione	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11	1,11
Probabilità infortunata per ora operativa	9,68E-06	7,23E-05	9,92E-06	2,04E-05		9,24E-07	3,28E-05
Ore operative tra due infortunati	103.306	13.824	100.790	48.925		1.078.102	30.457
Probabilità qualitativa	Improbabile	Ragion. Probabile	Improbabile	Ragion. Probabile	ND	Molto Improbabile	Ragion. Probabile
	Barley	Maize	Oat	Rice	Rye	Sorghum	Wheat

Conclusioni

- I cereali non sono equivalenti fra loro dal punto di vista delle esplosioni: l'avena ed il riso sono maggiormente soggetti ad esplosioni rispetto a sorgo e frumento.
- Le lavorazioni dei cereali non sono equivalenti fra loro dal punto di vista delle esplosioni: gli stoccaggi, hanno incidenze di esplosione molto maggiori rispetto ad altre attività, quali ad esempio la macinazione.
- Tramite l'utilizzo combinato dei valori della frequenza attesa (probabilità) di accadimento di esplosione per tipo di cereale, delle incidenze di esplosione per tipo di attività, dell'incidenza di morti e feriti per esplosione, è stato possibile stimare la probabilità di avere un infortunio in un impianto specifico.
- Utilizzando i risultati delle elaborazioni, la probabilità di avere in Italia una vittima a seguito di esplosione negli stoccaggi di cereali è risultata dell'ordine di una su un milione (10^{-6} improbabile).
- Si fa riferimento ai valori trovati per gli USA anche per l'Europa, in attesa di poter realizzare un'analogia statistica basata su dati esclusivamente Europei.



GRAZIE PER L'ATTENZIONE

