

INAIL

CONVEGNO

**“La sicurezza dei prodotti:
in particolare delle macchine”**

Bologna, 5 Maggio 2011

Functional Safety EN ISO 13849-1

Ing. Paolo Carlo De Benedetto
Safety Specialist - Pilz Italia S.r.l.



AMBIENTE LAVORO

Procedura in accordo con EN ISO 13849-1

1. Identificazione dei pericoli esistenti sulla macchina
2. Determinazione dei parametri di valutazione dei rischi S, F, P
3. Valutazione del livello di Performance level (PLr) idoneo sulla base del grafico valutazione dei rischi
4. Progetto e realizzazione della necessaria funzione di sicurezza
5. Valutazione del livello di performance level ottenuto (PL) via
 - ▶ PFH_d o
 - ▶ Categoria
 - ▶ MTTF_d
 - ▶ DC
6. Comparazione tra performance level PL ottenuto e quello idoneo PLr

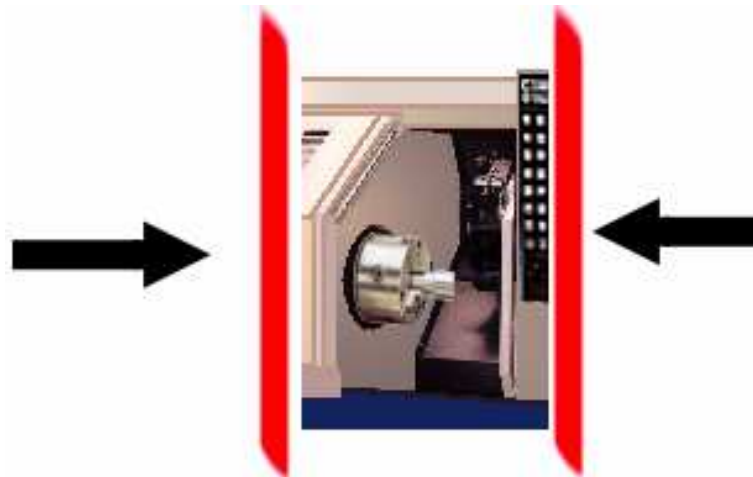
Applicazione EN ISO 13849-1



Identificazione dei pericoli esistenti sulla macchina

1. movimenti motorizzati, pneumatici:

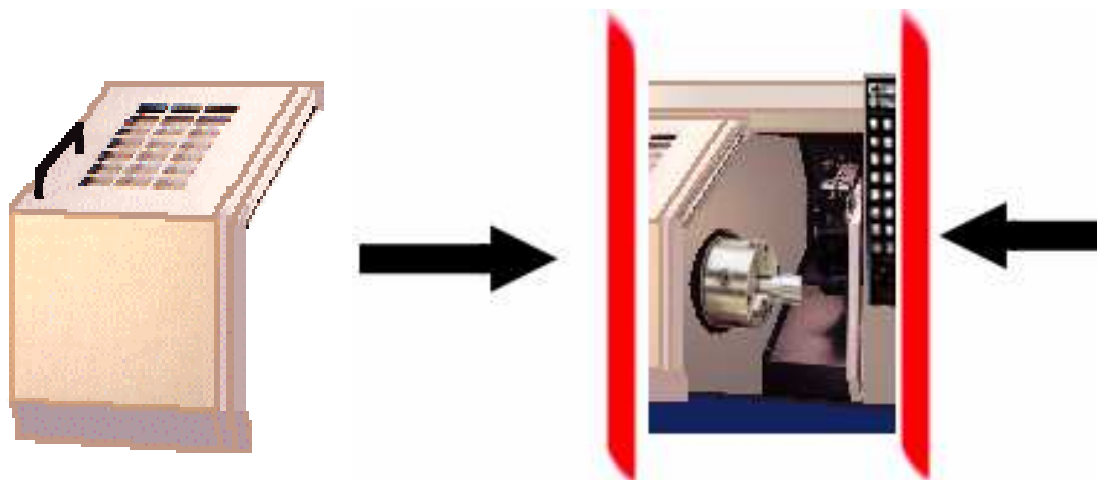
urto, schiacciamento, cesoiamento



Determinazione dei parametri di Valutazione dei Rischi

Safety function 1

Intervenendo sulla protezione mobile i movimenti pericolosi devono essere arrestati. Dovranno essere impediti movimenti inaspettati degli organi mossi pneumaticamente.

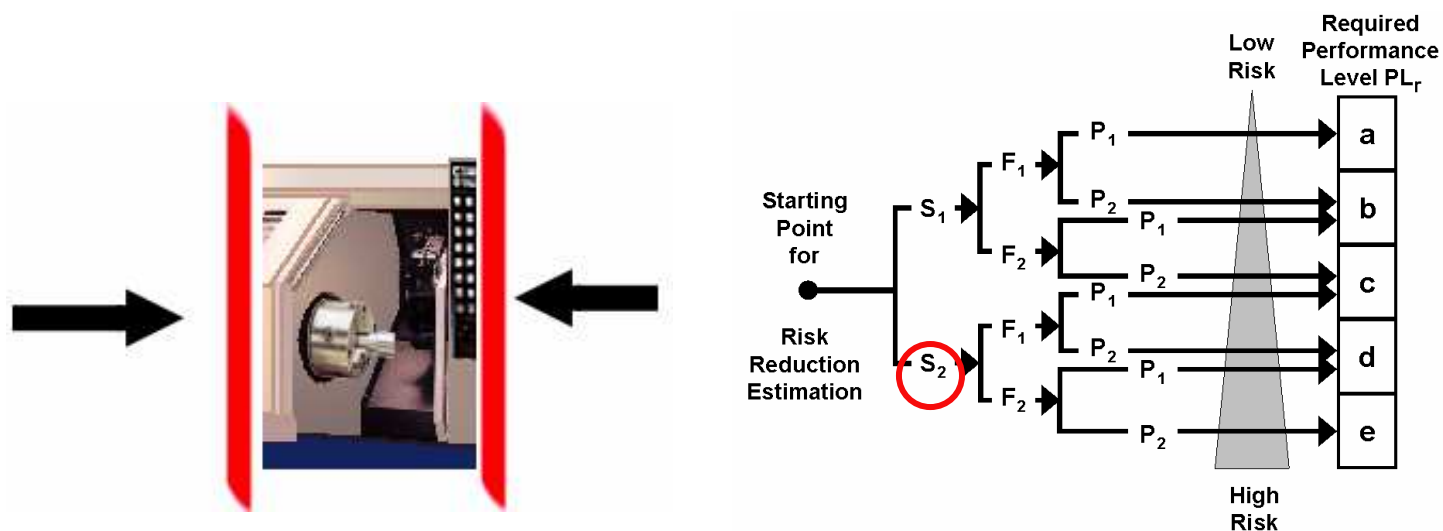


Determinazione dei parametri di Valutazione dei Rischi

S – Gravità della lesione:

1 = lesione lieve (normalmente reversibile)

2 = lesione grave (normalmente irreversibile) inclusa la morte



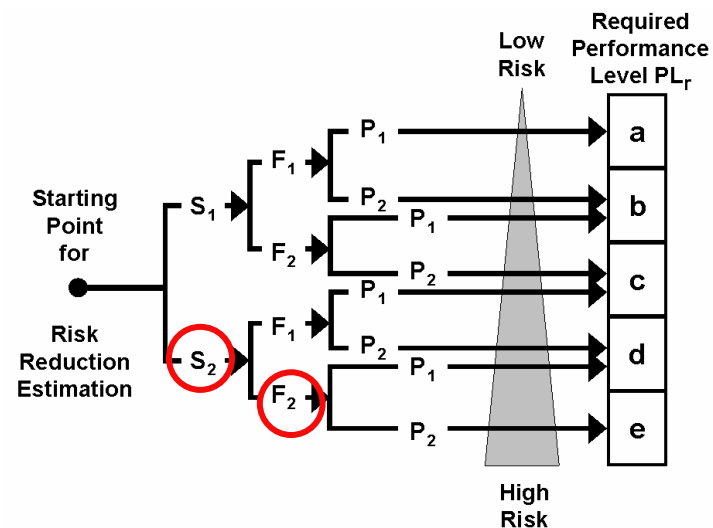
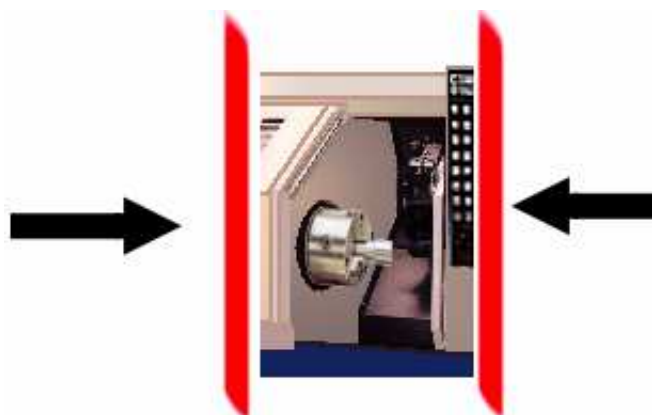
Il movimento degli organi di foratura possono generare gravi danni, con lesioni irreversibili = S2

Determinazione dei parametri di Valutazione dei Rischi

F - Frequenza e/o durata di esposizione al pericolo

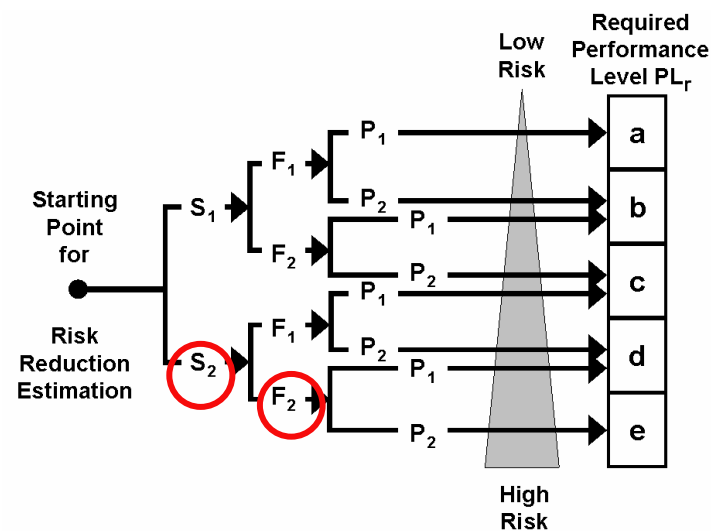
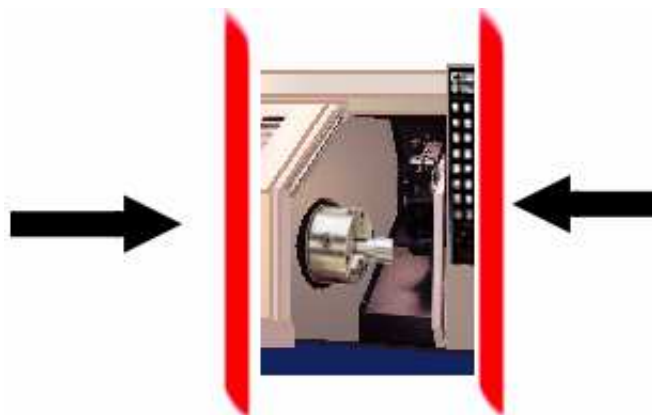
1= Da raramente ad abbastanza spesso e/o tempo di esposizione breve

2= Da frequente a continuo e/o tempo di esposizione lungo



Il macchinario opera in modalità automatica, con accesso frequente alla zona pericolosa = F2

Determinazione dei parametri di Valutazione dei Rischi



P - Possibilità di evitare il pericolo

1 = possibile in determinate condizioni

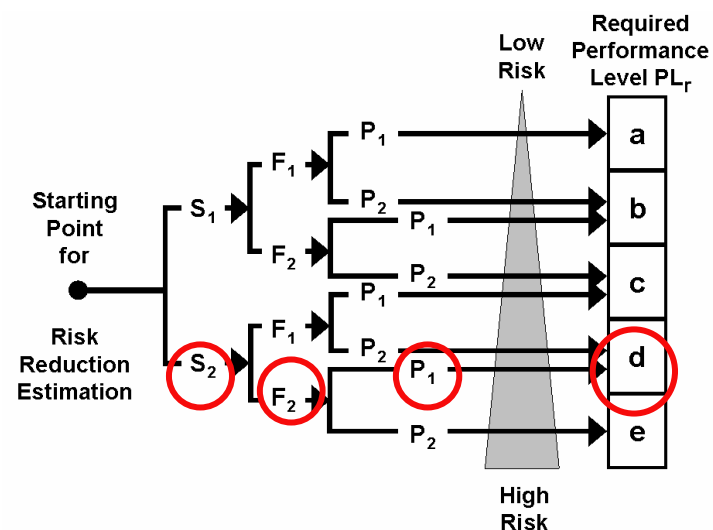
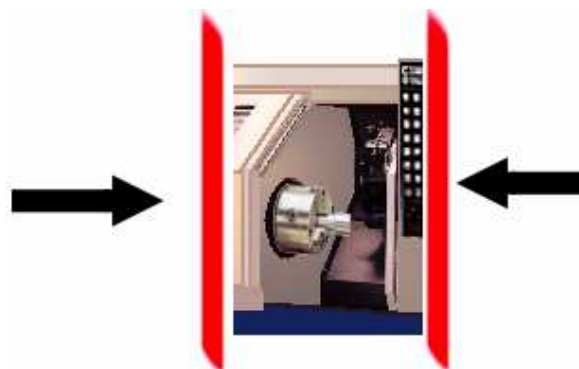
2 = scarsamente possibile

Determinazione dei parametri di Valutazione dei Rischi

P - Possibilità di evitare il pericolo

1 = possibile in determinate condizioni

2 = scarsamente possibile



Possibile in determinate condizioni = P1

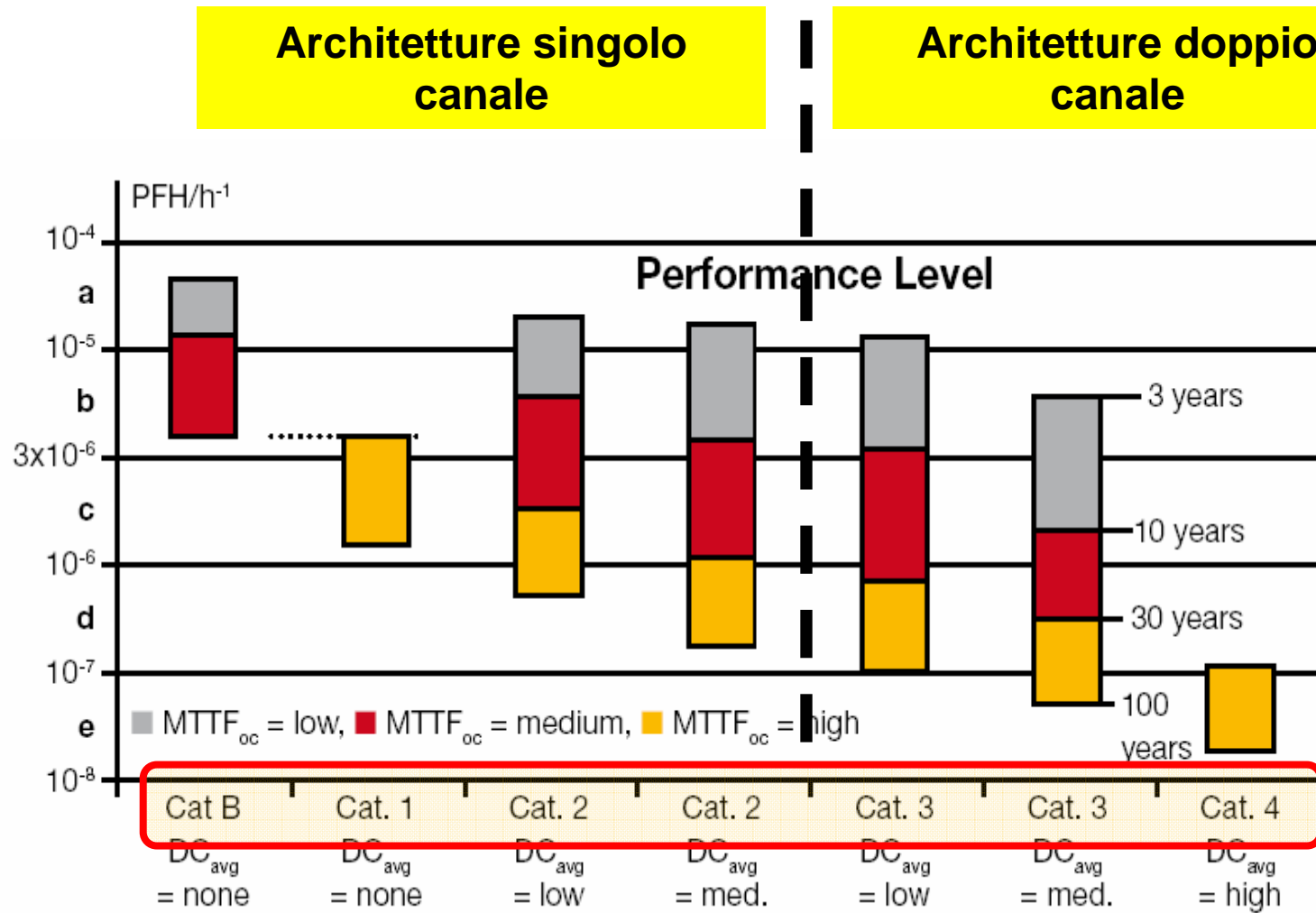
Il livello di Performance Level PL_r è "d"

Coerenza tra PL e PFHd

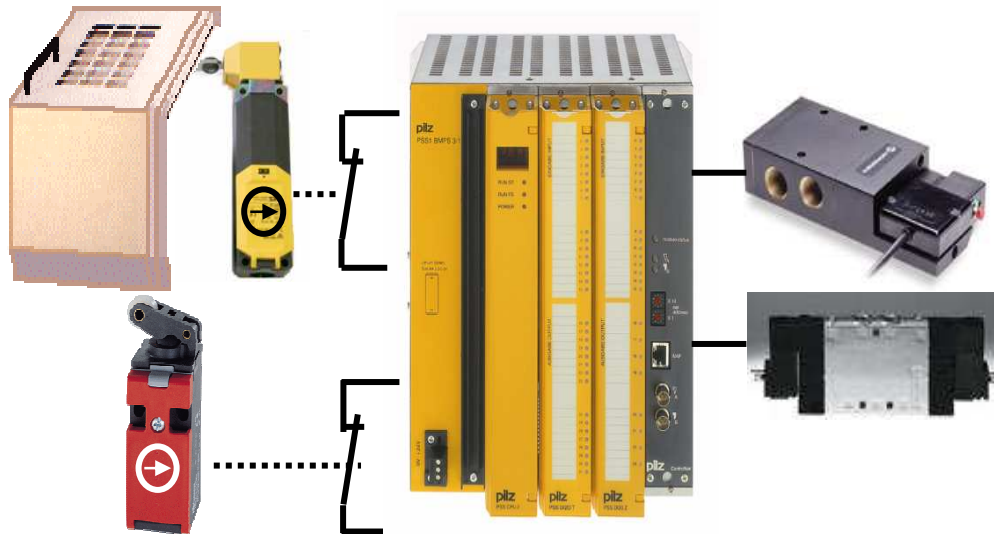
Probability of dangerous failure per hour [1/h]	EN ISO 13849-1 Performance level
$10^{-5} < PFH_d < 10^{-4}$	a
$3 \times 10^{-6} < PFH_d < 10^{-5}$	b
$10^{-6} < PFH_d < 3 \cdot 10^{-6}$	c
$10^{-7} < PFH_d < 10^{-6}$	d
$10^{-8} < PFH_d < 10^{-7}$	e

EN ISO 13849-1, Grafico a barre

1. Architettura



EN ISO 13849-1 - Architettura



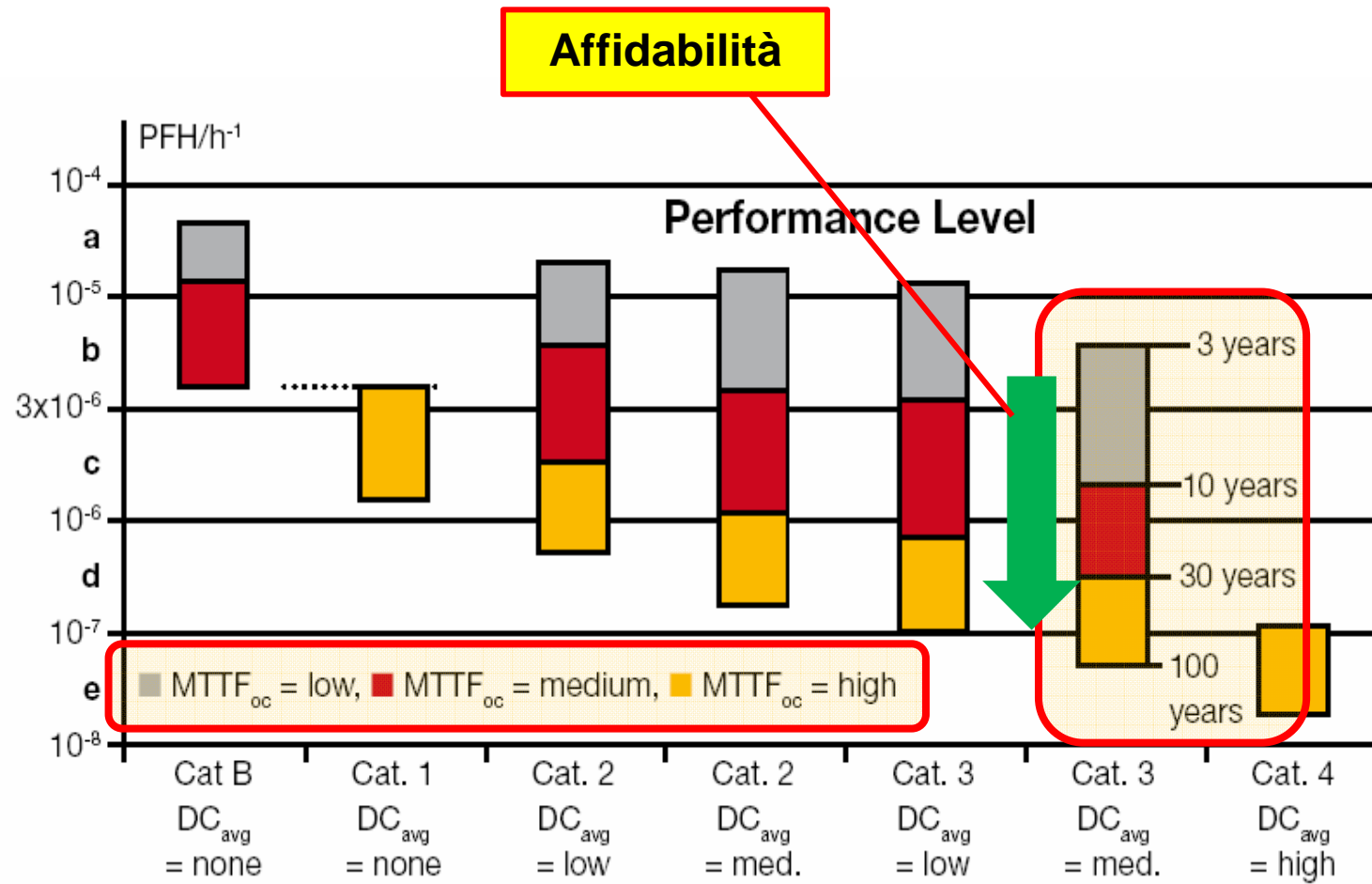
Elettrovalvola monitorata

Elettrovalvola normale

PL e
 $PFH_d = 2,26 \cdot 10^{-8}$

EN ISO 13849-1, Grafico a barre

2. Affidabilità



MTTF_d: classificazione (EN ISO 13849-1)

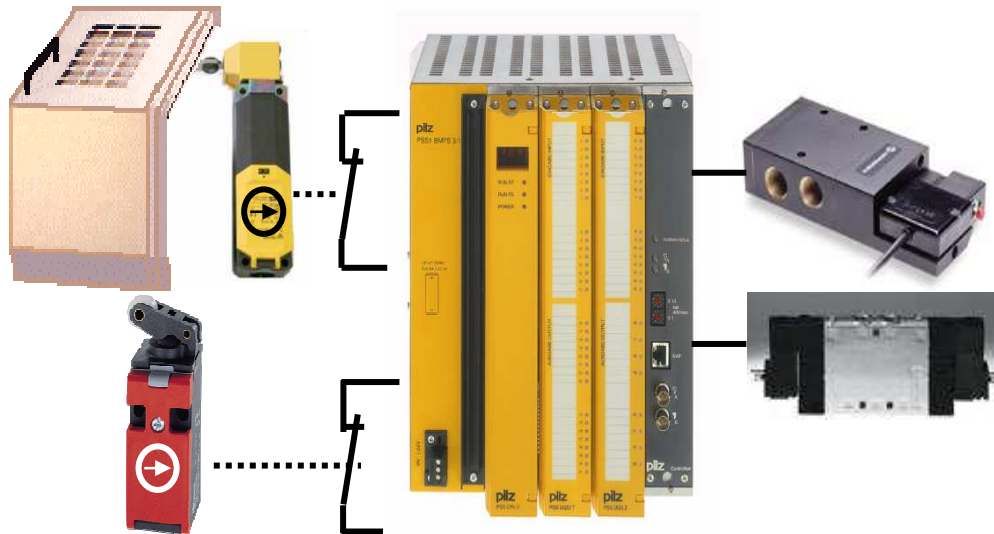
Table 3 — Mean time to dangerous failure (MTTF_d)

denotation of mean time to dangerous failure	range of MTTF _d
low	3 years \leq MTTF _d < 10 years
medium	10 years \leq MTTF _d < 30 years
high	30 years \leq MTTF _d < 100 years

I valori limite tra i livelli hanno una accuratezza pari al 5% circa.

Il limite massimo per un intero sistema è pari a 100 anni (può essere superiore per un singolo componente) in quanto per rischi elevati il livello di PL non dipende solo dall'affidabilità.

EN ISO 13849-1 – Safety Function



Elettrovalvola monitorata

Elettrovalvola normale

PL e
PFH_d = 2,26 · 10⁻⁸

Calcolo MTTFd secondo EN ISO 13849-1

240 giorni lavorativi su 365

2 turni al giorno (16 h)

$T_{\text{cycle}} = 28 \text{ sec.}$

— B10d = 3 000 000



$$n_{op} = \frac{d_{op} \times h_{op} \times 3600 \text{ sec/h}}{t_{\text{cycle}}} = \frac{240 \times 16 \times 3600}{28} = 493,714.3$$

$$\text{MTTF}_d = \frac{B_{10d}}{0.1 \times n_{op}} = \frac{3.000.000}{0.1 \times 493,714} = 60.76 \text{ anni}$$

Assessment	MTTF _d
Low	3 years ≤ MTTF _d < 10 years
Medium	10 years ≤ MTTF _d < 30 years
High	30 years ≤ MTTF _d < 100 years

Calcolo $MTTF_d$ secondo EN ISO 13849-1

240 giorni lavorativi su 365

2 turni al giorno (16 h)

$T_{cycle} = 28 \text{ sec.}$



- $B10_d = 3\,000\,000$
- $MTTF_d$ di 60.76 anni
- $MTTF_d = \text{high}$



- $B10_d = 2\,500\,000$
- $MTTF_d$ di 50.64 anni
- $MTTF_d = \text{high}$

Calcolo MTTFd secondo EN ISO 13849-1

	Principi di sicurezza di base e ben collaudati EN ISO 13849-2	Altre norme pertinenti	Valori tipici
Componenti pneumatici	Tabelle B.1 e B.2	EN 983	$B_{10d} = 20.000.000$

Elettrovalvola monitorata



$$B_{10d} = 20.000.000 \text{ cicli}$$

$$C = \text{numero di cicli per anno} = 100.000$$

$$\text{MTTFd} = B_{10d} / (0,1 * n_{op}) = 2000 \text{ anni}$$

Elettrovalvola normale



$$B_{10d} = 20.000.000 \text{ cicli}$$

$$C = \text{numero di cicli per anno} = 500.000$$

$$\text{MTTFd} = B_{10d} / (0,1 * n_{op}) = 400 \text{ anni}$$

Calcolo MTTFd secondo EN ISO 13849-1

Canale 1:

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{dC1}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{dS1}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{dV1}} = 0.017$$

Canale 2:

$$\frac{1}{\text{MTTF}_{dC2}} = \frac{1}{\text{MTTF}_{dS2}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{dV2}} = 0.022$$

Quindi:
$$\text{MTTF}_d = \frac{2}{3} \left[\text{MTTF}_{d,C1} + \text{MTTF}_{d,C2} - \frac{1}{\frac{1}{\text{MTTF}_{d,C1}} + \frac{1}{\text{MTTF}_{d,C2}}} \right] = 78,63$$

Assessment	MTTF _d
Low	3 years ≤ MTTF _d < 10 years
Medium	10 years ≤ MTTF _d < 30 years
High	30 years ≤ MTTF _d < 100 years

EN ISO 13849-1, Grafico a barre

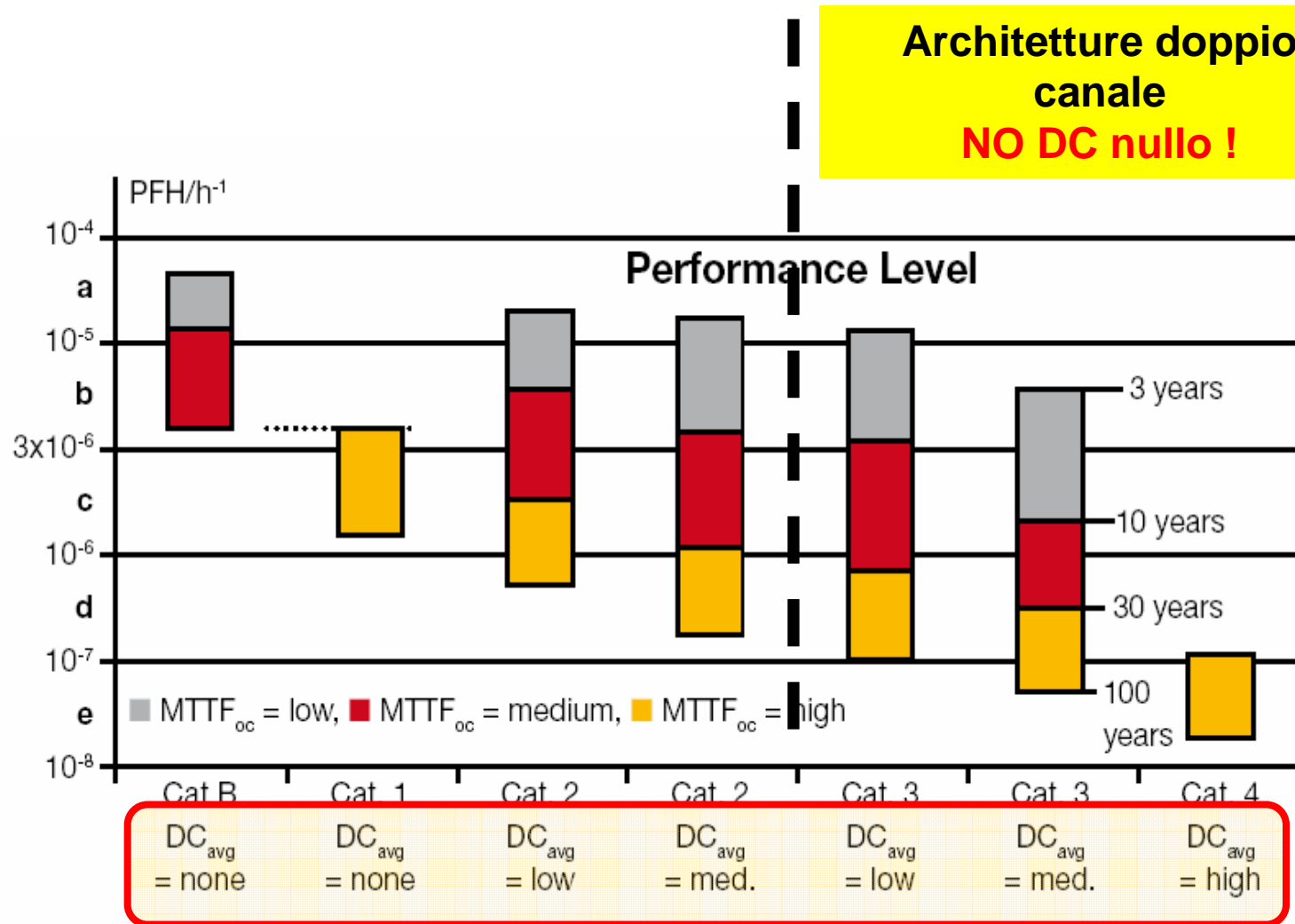
3. Monitoraggio, diagnostica

Functional safety

Overview nuove norme

EN ISO 13849-1

Software, documentazione tecnica



EN ISO 13849-1

3. Monitoraggio, diagnostica

Calcolo DCavg

Diagnostic coverage: $DC = \sum \lambda_{DD} / \sum \lambda_{Dtotal}$

Average DC:

$$DC_{avg} = \frac{\frac{DC_1}{MTTF_{d1}} + \frac{DC_2}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{DC_N}{MTTF_{dN}}}{\frac{1}{MTTF_{d1}} + \frac{1}{MTTF_{d2}} + \dots + \frac{1}{MTTF_{dN}}}$$

Diagnostic Coverage : classificazione (EN ISO 13849-1)

Table 4 — Diagnostic coverage (DC)

denotation of diagnostic coverage	range of DC
none	$DC < 60\%$
low	$60\% \leq DC < 90\%$
medium	$90\% \leq DC < 99\%$
high	$99\% \leq DC$

I valori limite tra i livelli hanno una accuratezza pari al 5% circa

Calcolo DC secondo EN ISO 13849-1

Quindi:

$$\frac{\frac{0,99}{58,22} + \frac{0,66}{45,45}}{0,017 + 0,022} = 82 \%$$

$DC_{avg} = 82 \%$



Coverage	Range of DC
none	DC < 60%
low	60% ≤ DC < 90%
medium	90% ≤ DC < 99%
high	99% ≤ DC

CCF in accordo a EN ISO 13849-1

No	Requirement	Points
1	Separation	
	Physical separation between the safety circuits and to other circles e.g. separate laying, sheathed lines, Adherence of air and leakage paths on circuit board for separation according DIN VDE 0100	15% ✓
2	Diversity	
	Different technologies use, various design or principles used, components of different manufacturers	20%
3	Draft / Application / Experience	✓
	Protection against overvoltage, overpressure, overcurrent etc,	15% ✓
	Application regarding environmental influences proven principles	5%
4	Assessment / Analyse	
	Were the results of an error analysis taken into consideration, in order to avoid common cause failure in the draft?	5%
5	Competence / Training	
	Are the developers trained the causes consequences from losses common cause to provide and to avoid	5% ✓
6	Environmental influences	
	EMV tested,	25% ✓
	Temperature, shock, vibration, moisture tested, (adherence of Product standard)	10% ✓

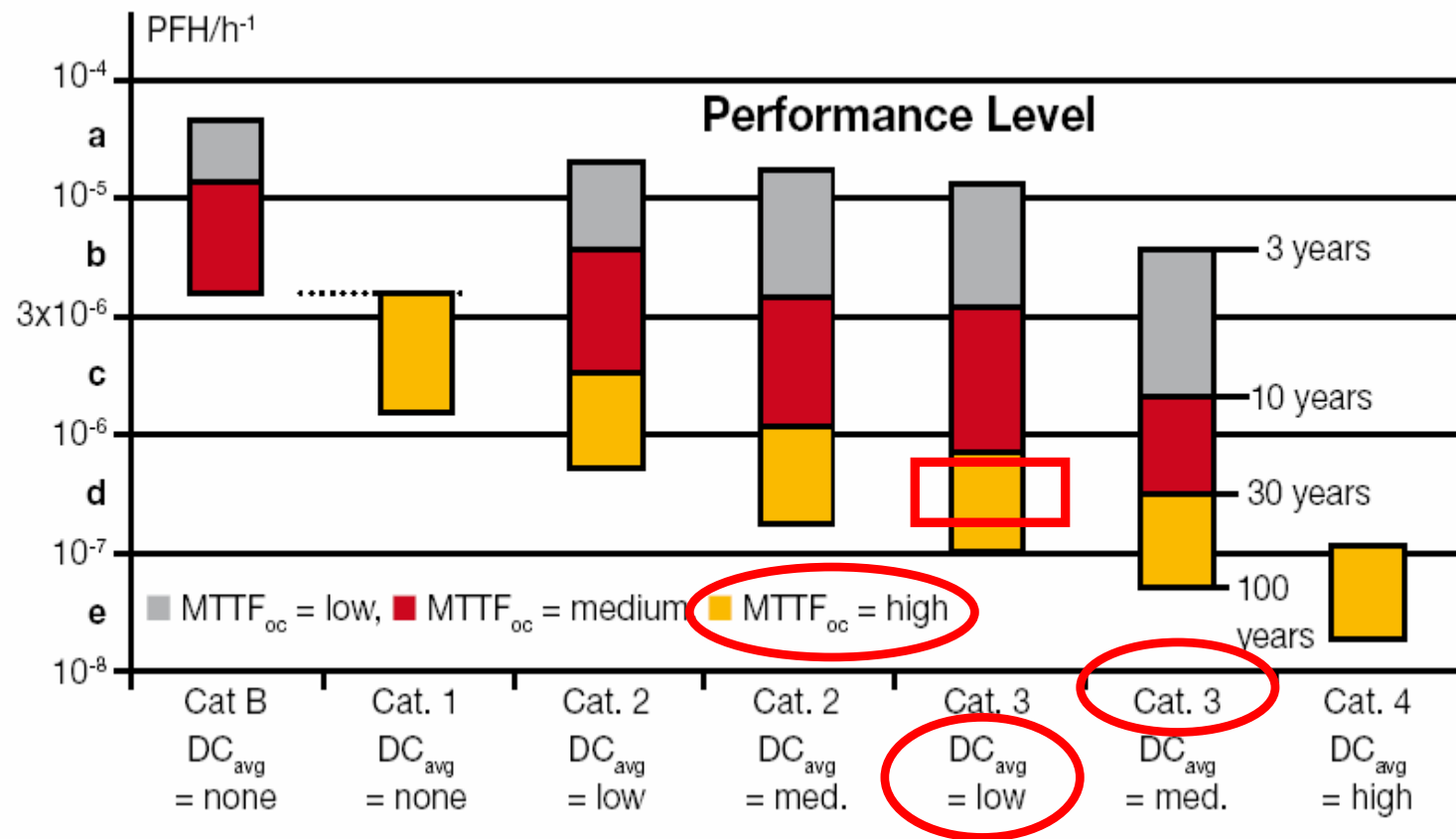
Min 65 %



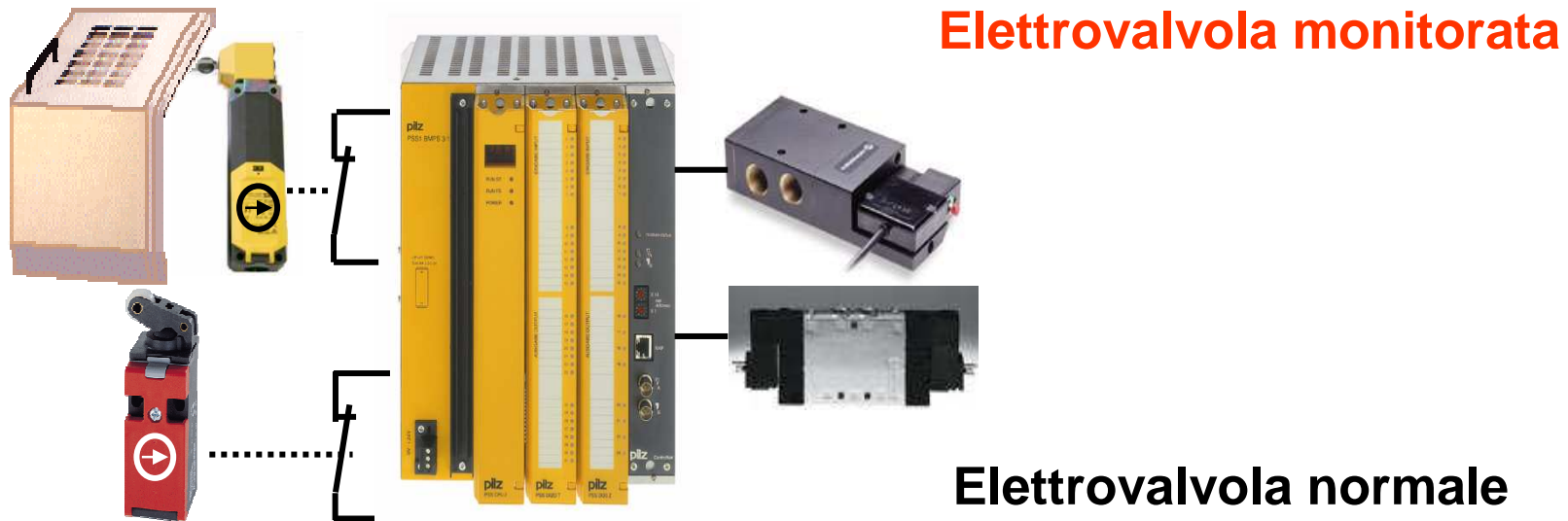
EN ISO 13849-1, Grafico a barre

Conclusioni

- 1- Architettura : Cat. 3.
- 2- $MTTF_d$: 78.63 High
- 3- DC_{avg} : 82 % Low
- 4- CCF : > 65 %



EN ISO 13849-1 – Safety Function



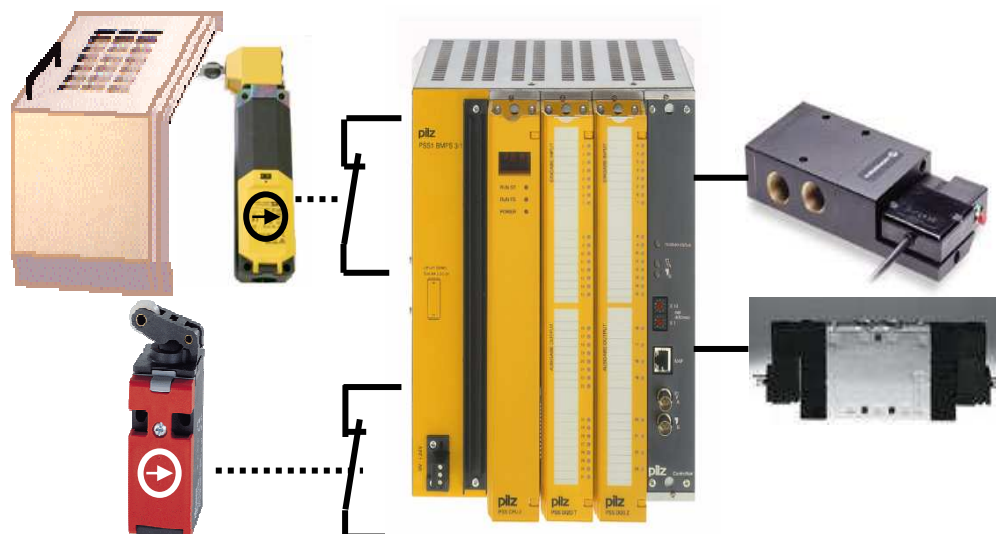
PL e
PFH_d = 2,26 · 10⁻⁸

EN ISO 13849-1, Determinazione PFH_d : I+O

MTTF _d di ogni canale anni	Probabilità media di un guasto pericoloso per ora (1/h) e corrispondente livello di prestazione (PL)													
	Cat. B	PL	Cat. 1	PL	Cat. 2	PL	Cat. 2	PL	Cat. 3	PL	Cat. 3	PL	Cat. 4	PL
	DC _{avg} =	nessuna	DC _{avg} =	nessuna	DC _{avg} =	bassa	DC _{avg} =	media	DC _{avg} =	bassa	DC _{avg} =	media	DC _{avg} =	alta
15	7,61 × 10 ⁻⁶	b			4,53 × 10 ⁻⁶	b	3,01 × 10 ⁻⁶	b	1,82 × 10 ⁻⁶	c	7,44 × 10 ⁻⁷	d		
16	7,13 × 10 ⁻⁶	b			4,21 × 10 ⁻⁶	b	2,77 × 10 ⁻⁶	c	1,67 × 10 ⁻⁶	c	6,76 × 10 ⁻⁷	d		
18	6,34 × 10 ⁻⁶	b			3,68 × 10 ⁻⁶	b	2,37 × 10 ⁻⁶	c	1,41 × 10 ⁻⁶	c	5,67 × 10 ⁻⁷	d		
20	5,71 × 10 ⁻⁶	b			3,26 × 10 ⁻⁶	b	2,06 × 10 ⁻⁶	c	1,22 × 10 ⁻⁶	c	4,85 × 10 ⁻⁷	d		
22	5,19 × 10 ⁻⁶	b			2,93 × 10 ⁻⁶	c	1,82 × 10 ⁻⁶	c	1,07 × 10 ⁻⁶	c	4,21 × 10 ⁻⁷	d		
24	4,76 × 10 ⁻⁶	b			2,65 × 10 ⁻⁶	c	1,62 × 10 ⁻⁶	c	9,47 × 10 ⁻⁷	d	3,70 × 10 ⁻⁷	d		
27	4,19 × 10 ⁻⁶	b			1,82 × 10 ⁻⁶	c	1,39 × 10 ⁻⁶	c	8,04 × 10 ⁻⁷	d	3,10 × 10 ⁻⁷	d		
30	3,79 × 10 ⁻⁶	b			1,66 × 10 ⁻⁶	c	1,21 × 10 ⁻⁶	c	6,94 × 10 ⁻⁷	d	2,65 × 10 ⁻⁷	d	9,54 × 10 ⁻⁸	e
33	3,44 × 10 ⁻⁶	b			1,51 × 10 ⁻⁶	c	1,06 × 10 ⁻⁶	c	5,94 × 10 ⁻⁷	d	2,30 × 10 ⁻⁷	d	8,57 × 10 ⁻⁸	e
36	3,13 × 10 ⁻⁶	b	3,17 × 10 ⁻⁶	b	1,67 × 10 ⁻⁶	c	9,39 × 10 ⁻⁷	d	5,16 × 10 ⁻⁷	d	2,01 × 10 ⁻⁷	d	7,77 × 10 ⁻⁸	e
39	2,85 × 10 ⁻⁶	b	2,93 × 10 ⁻⁶	c	1,53 × 10 ⁻⁶	c	8,40 × 10 ⁻⁷	d	4,53 × 10 ⁻⁷	d	1,78 × 10 ⁻⁷	d	7,11 × 10 ⁻⁸	e
43	2,49 × 10 ⁻⁶	b	2,65 × 10 ⁻⁶	c	1,37 × 10 ⁻⁶	c	7,34 × 10 ⁻⁷	d	3,87 × 10 ⁻⁷	d	1,54 × 10 ⁻⁷	d	6,37 × 10 ⁻⁸	e
47	2,21 × 10 ⁻⁶	b	2,43 × 10 ⁻⁶	c	1,24 × 10 ⁻⁶	c	6,49 × 10 ⁻⁷	d	3,35 × 10 ⁻⁷	d	1,34 × 10 ⁻⁷	d	5,76 × 10 ⁻⁸	e
51	1,97 × 10 ⁻⁶	b	2,24 × 10 ⁻⁶	c	1,13 × 10 ⁻⁶	c	5,80 × 10 ⁻⁷	d	2,93 × 10 ⁻⁷	d	1,19 × 10 ⁻⁷	d	5,26 × 10 ⁻⁸	e
56	1,76 × 10 ⁻⁶	b	2,04 × 10 ⁻⁶	c	1,02 × 10 ⁻⁶	c	5,10 × 10 ⁻⁷	d	2,52 × 10 ⁻⁷	d	1,03 × 10 ⁻⁷	d	4,73 × 10 ⁻⁸	e
62	1,57 × 10 ⁻⁶	b	1,84 × 10 ⁻⁶	c	9,06 × 10 ⁻⁷	d	4,43 × 10 ⁻⁷	d	2,13 × 10 ⁻⁷	d	8,84 × 10 ⁻⁸	e	4,22 × 10 ⁻⁸	e
69	1,41 × 10 ⁻⁶	b	1,68 × 10 ⁻⁶	c	8,17 × 10 ⁻⁷	d	3,90 × 10 ⁻⁷	d	1,84 × 10 ⁻⁷	d	7,68 × 10 ⁻⁸	e	3,80 × 10 ⁻⁸	e
75	1,27 × 10 ⁻⁶	b	1,52 × 10 ⁻⁶	c	7,31 × 10 ⁻⁷	d	3,40 × 10 ⁻⁷	d	1,57 × 10 ⁻⁷	d	6,62 × 10 ⁻⁸	e	3,41 × 10 ⁻⁸	e
82	1,15 × 10 ⁻⁶	b	1,39 × 10 ⁻⁶	c	6,61 × 10 ⁻⁷	d	3,01 × 10 ⁻⁷	d	1,35 × 10 ⁻⁷	d	5,79 × 10 ⁻⁸	e	3,08 × 10 ⁻⁸	e
91	1,05 × 10 ⁻⁶	b	1,25 × 10 ⁻⁶	c	5,88 × 10 ⁻⁷	d	2,61 × 10 ⁻⁷	d	1,14 × 10 ⁻⁷	d	4,94 × 10 ⁻⁸	e	2,74 × 10 ⁻⁸	e
100	9,54 × 10 ⁻⁷	b	1,14 × 10 ⁻⁶	c	5,28 × 10 ⁻⁷	d	2,29 × 10 ⁻⁷	d	1,01 × 10 ⁻⁷	d	4,29 × 10 ⁻⁸	e	2,47 × 10 ⁻⁸	e

PL = d
PFH_d = 1,57 · 10⁻⁷

EN ISO 13849-1, Determinazione PFH_d



Elettrovalvola monitorata

Elettrovalvola normale

**I+O
PL d
PFH_d = $1,57 \cdot 10^{-7}$**

**PL e
PFH_d = $2,26 \cdot 10^{-8}$**

Risultato ?

**PL d
PFH_d = $1,79 \cdot 10^{-7}$**