



# UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

DIPARTIMENTO DI TECNICA E GESTIONE DEI SISTEMI INDUSTRIALI

CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA MECCANICA E  
MECCATRONICA

TESI DI LAUREA

## DISPOSITIVI DI SICUREZZA NEI MACCHINARI: CARATTERISTICHE E SCELTA

*Relatore:* Ch.mo Prof. DIEGO DAINESE

*Laureando:* MATTIA CRAIGHERO  
Matricola 1007753

ANNO ACCADEMICO 2013-2014



*Ai miei genitori.*



# INDICE

	<i>Pag.</i>
<b>Sommario</b>	9
<b>Introduzione</b>	11
<b>Capitolo 1 - Dispositivi elettrosensibili di protezione</b>	15
1.1. Descrizione e principi di funzionamento	15
1.1.1. Barriere ed interruttori fotoelettrici	
1.1.2. Scanner laser	
1.1.3. Sistemi visione sicura	
1.2. Utilizzo e funzioni dei dispositivi	18
1.2.1. Funzioni di sicurezza	
1.2.1.1. Innesco dell'arresto	
1.2.1.2. Impedimento dell'avvio	
1.2.1.3. Distinzione uomo/materiale	
1.2.1.4. Blanking	
1.2.1.5. Muting	
1.2.1.6. Modalità PSDI	
1.2.2. Utilizzo dei dispositivi	
1.2.2.1. Barriere ed interruttori fotoelettrici	
1.2.2.2. Scanner laser	
1.2.2.3. Sistemi visione sicura	
1.3. Dimensionamento e posizionamento	24
1.3.1. Distanza di sicurezza	
1.3.2. Dimensionamento del campo di protezione	
1.4. Controllo	30
<b>Capitolo 2 - Bordi e pedane di sicurezza</b>	33
2.1. Descrizione e principi di funzionamento	33
2.1.1. Pedane di sicurezza	
2.1.2. Bordi di sicurezza	
2.2. Utilizzo dei dispositivi	37
2.2.1. Pedane di sicurezza	
2.2.2. Bordi di sicurezza	
2.3. Dimensionamento e posizionamento	39
2.4. Controllo	42

<b>Capitolo 3 - Interruttori di sicurezza</b>	<b>43</b>
3.1. Descrizione e principi di funzionamento	43
3.1.1. Interruttori di interblocco con attuatore	
3.1.2. Interruttori di interblocco con blocco della protezione	
3.1.3. Interruttori di interblocco senza contatto	
3.1.4. Interruttori di interblocco a cerniera	
3.1.5. Interruttori di interblocco di posizione (finecorsa)	
3.1.6. Interruttori di interblocco a chiave bloccata	
3.2. Utilizzo e funzioni dei dispositivi	49
3.2.1. Funzioni di sicurezza	
3.2.1.1. Impedimento delle manomossioni	
3.2.1.2. Azione ad apertura diretta (apertura positiva)	
3.2.1.3. Ridondanza	
3.2.1.4. Arresto meccanico	
3.2.1.5. Modalità di guasto orientata	
3.2.2. Utilizzo dei dispositivi	
3.2.2.1. Interruttori di interblocco con attuatore	
3.2.2.2. Interruttori di interblocco con blocco della protezione	
3.2.2.3. Interruttori di interblocco senza contatto	
3.2.2.4. Interruttori di interblocco a cerniera	
3.2.2.5. Interruttori di interblocco di posizione (finecorsa)	
3.2.2.6. Interruttori di interblocco a chiave bloccata	
3.3. Controllo	57
3.3.1. Controllo interblocco di finecorsa	
3.3.2. Controllo interblocco con attuatore con bloccaggio della protezione	





# SOMMARIO

La sicurezza è un tema essenziale sia nella fase di progettazione delle macchine sia in quella del loro utilizzo. Nel mercato sono disponibili molteplici sistemi di protezione per impianti industriali, tuttavia la scelta deve ricadere effettivamente solo sui dispositivi che assicurano la sicurezza degli operatori in ogni possibile condizione di utilizzo dei macchinari. Il testo presente offre una panoramica dei dispositivi di protezione più diffusi, ne descrive caratteristiche e funzioni e specifica come devono essere utilizzati, dimensionati, posizionati e controllati per poter svolgere efficacemente il loro compito, in linea con le normative e le direttive europee. Nella parte conclusiva del testo è presente uno schema che riassume i parametri da considerare per effettuare la scelta più idonea ad ogni applicazione; inoltre viene trattato il tema della sicurezza funzionale, con l'utilizzo delle norme specifiche in materia che permettono di identificare i requisiti di sicurezza dei dispositivi di protezione.



# INTRODUZIONE

La sicurezza è un'esigenza basilare delle persone. Coloro che posseggono incarichi dirigenziali nell'industria sono responsabili dei propri dipendenti, oltre che dell'affidabilità e dell'efficienza economica della produzione. Spesso i macchinari presenti nell'ambiente di lavoro sono fonte di pericolo per i relativi operatori: schiacciamenti, amputazioni e rottura di arti sono solo alcuni degli infortuni che possono risultare dal mancato utilizzo di norme e dispositivi di sicurezza. I costi che ne possono derivare vanno dai più evidenti, quali l'assenza per malattia del personale infortunato, a quelli più difficili da identificare, come l'aumento del premio assicurativo, il calo di produzione, la perdita di clienti e della reputazione dell'azienda. L'installazione di dispositivi di sicurezza e l'adozione di norme e direttive europee sono quindi interventi necessari e obbligatori per l'azienda.

Nell'ambito della salute, della sicurezza sul lavoro e della sicurezza dei macchinari, sono state pubblicate le seguenti direttive:

- Direttiva Macchine (2006/42/CE) destinata ai produttori di macchinari;
- Direttiva sulla sicurezza delle attrezzature da lavoro (89/655/EEC) destinata agli utilizzatori dei macchinari;
- Direttive aggiuntive, come Direttiva bassa tensione, Direttiva EMC, Direttiva ATEX.

Affinchè una macchina possa essere ritenuta sicura è necessario valutare attentamente i rischi che potrebbero derivare dal suo utilizzo. Tra gli obblighi del datore di lavoro si evidenzia la redazione del DVR (documento valutazione rischi), che consiste in una mappatura dei rischi presenti in azienda e deve contenere tutte le procedure necessarie per l'attuazione di misure di prevenzione e protezione e i ruoli di chi deve realizzarle. La strategia di valutazione del rischio e riduzione rischi è oggetto della norma EN ISO 12100<sup>1</sup>.

Una definizione di rischio si può ricavare dall'Allegato I della Direttiva Macchine:

*“Si intende per «rischio» una combinazione della probabilità e della gravità di una lesione o di un danno per la salute che possano insorgere in una situazione pericolosa.”*

<sup>1</sup> EN ISO 12100: Sicurezza del macchinario - Principi generali di progettazione - Valutazione del rischio e riduzione del rischio.

Il rischio risulta infatti dal prodotto della gravità dell'evento pericoloso per la probabilità che tale evento si verifichi (Figura i-1).

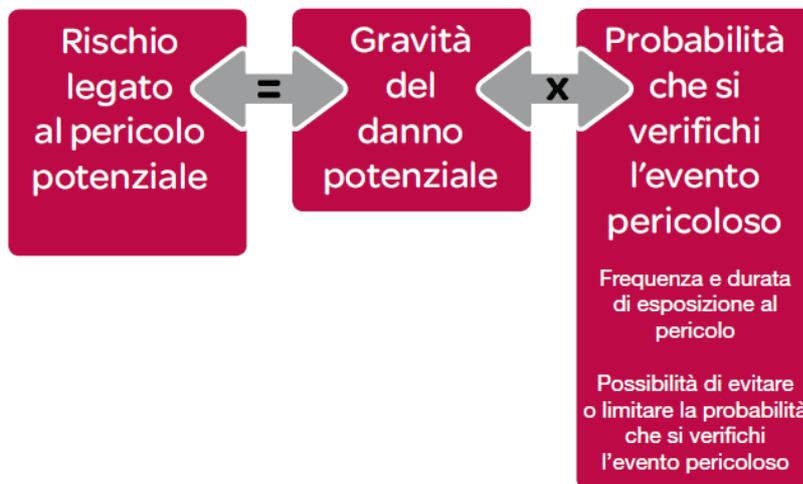


Figura i-1: Rischio come prodotto di gravità per probabilità dell'evento pericoloso.[8]

L'analisi del rischio è una procedura essenziale ai fini della sicurezza, e precede la riduzione del rischio, tema cardine del presente testo. Nella figura seguente è possibile identificare la successione di fasi che porta alla realizzazione di una macchina sicura.



Figura i-2: Analisi, valutazione e riduzione dei rischi.[8]

Compito del progettista è realizzare sistemi di sicurezza che riducano efficacemente i rischi derivanti dai macchinari presenti sul luogo di lavoro. Secondo la norma EN ISO 12100, se un rischio non può essere eliminato allora è necessario adottare tutte le possibili misure per ridurlo.

Alcuni rischi possono essere evitati adottando semplici misure in fase costruttiva. Una progettazione di questo tipo prende il nome di progettazione sicura, e rappresenta l'unico modo per azzerare il rischio di un macchinario. Eliminare bordi e spigoli taglienti, sostituire pulegge a raggi con dischi lisci, togliere la trasmissione dal rullo terminale di un trasportatore sono tutti interventi che permettono di eliminare alcune fonti di infortunio per gli operatori (Figura i-3).

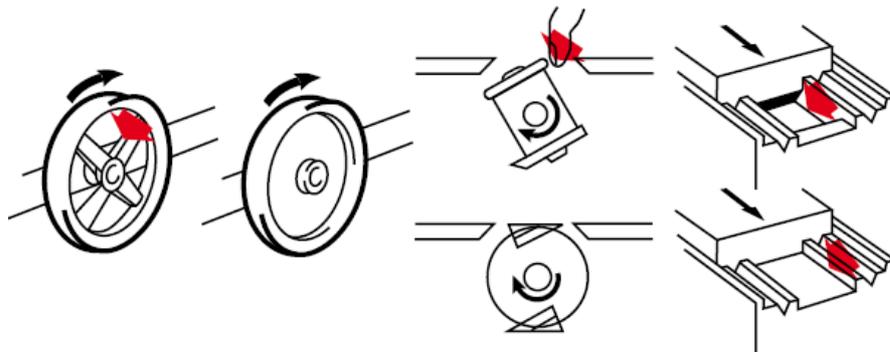


Figura i-3: Principi di progettazione sicura.[8]

Per eliminare i rischi residui dopo la fase di progettazione sicura è necessario ricorrere a misure tecniche di sicurezza. Queste possono essere l'installazione di ripari fissi o mobili o l'utilizzo di dispositivi di protezione.

Per una definizione di dispositivo di protezione si veda l'Allegato I della DM:

*“Si intende per «dispositivo di protezione» un dispositivo (diverso da un riparo) che riduce il rischio, da solo o associato ad un riparo.”*

I dispositivi di protezione (o sicurezza) sono molto diffusi in ambito industriale. Essi permettono la riduzione dei rischi residui dei macchinari per garantire la sicurezza degli operatori e del luogo di lavoro. Dispositivi optoelettronici (come barriere fotoelettriche e scanner laser), dispositivi sensibili alla pressione (come bordi e pedane sensibili), interruttori di interblocco e dispositivi che si interfacciano con l'utente (come i comandi a due mani) sono descritti ed analizzati nelle pagine successive.

Lo scopo di questo testo è offrire una guida utile ai progettisti per la scelta del dispositivo di sicurezza più adatto per molteplici applicazioni industriali. Si specifica che questa guida non può sostituire in alcun modo la consultazione delle normative vigenti in materia di sicurezza, ma ha il fine di esporre le problematiche sulla protezione dei macchinari e di proporre delle soluzioni indicando le fonti di informazione più rilevanti.



# CAPITOLO 1

## Dispositivi elettrosensibili di protezione

I dispositivi elettrosensibili di protezione (ESPE: Electro-Sensitive Protective Equipment) appartengono alla categoria dei dispositivi di rilevamento di accesso e presenza. La loro funzione primaria consiste nel rilevare gli operatori quando questi accedono o stazionano in prossimità di aree pericolose e avviare le procedure che mettono in sicurezza la macchina.

In questo capitolo si analizzeranno i dispositivi optoelettronici più diffusi, si evidenzieranno i loro possibili utilizzi in ambito industriale e le funzioni di sicurezza che questi garantiscono. Inoltre si approfondiranno le specifiche di posizionamento e dimensionamento dei dispositivi elettrosensibili come definito dalle normative vigenti.

### 1.1. Descrizione e principi di funzionamento

I dispositivi elettrosensibili maggiormente diffusi sono:

- Barriere ed interruttori fotoelettrici;
- Scanner laser;
- Sistemi di visione sicura.

#### 1.1.1. Barriere ed interruttori fotoelettrici

Un dispositivo optoelettronico attivo di protezione (AOPD: Active Opto-electronic Protective Device) è un dispositivo la cui funzione di rilevamento è svolta da elementi fotoelettrici emittenti e riceventi che rilevano l'interruzione delle radiazioni ottiche in seguito all'ingresso nella zona di rilevamento di un oggetto opaco. Quando questo corpo interrompe il fascio luminoso, il ricevitore non riceve più la luce emessa dall'emettitore e viene generato un segnale di uscita. Per eliminare la possibilità di sganci intempestivi a causa della luce ambientale o delle interferenze (diafonia) con altri dispositivi optoelettronici, i LED del trasmettitore lampeggiano ad una frequenza specifica (modulazione in frequenza) ed in una determinata sequenza, facendo in modo che il trasmettitore possa interagire solo con il ricevitore associato.

Gli AOPD si suddividono in dispositivi con singolo fascio luminoso, ovvero interruttori fotoelettrici, e in dispositivi a fascio multiplo, cioè barriere fotoelettriche (chiamate anche barriere immateriali).

Due esempi di questi dispositivi sono mostrati in Figura 1-1.



Figura 1-1: Barriera immateriale (sinistra) e interruttore fotoelettrico (destra). [2]

### 1.1.2. Scanner laser

Un dispositivo optoelettronico di protezione sensibile alla riflessione diffusa (AOPDDR: Active Opto-electronic Protective Device responsive to Diffuse Reflection) è un dispositivo la cui funzione di sicurezza è svolta da elementi fotoelettrici emittenti e riceventi che rilevano la riflessione diffusa da un oggetto all'interno della zona di rilevamento in due dimensioni. Lo scanner laser di sicurezza funziona in base al principio della riflessione diffusa e del tempo di volo della luce. Impulsi di luce infrarossa vengono riflessi da una specchio rotante ed emessi su un arco di 190°. Le radiazioni uscenti dal dispositivo si riflettono sul corpo che entra nella zona protetta e vengono rilevate dal ricevitore. In questo modo lo scanner è in grado di determinare la posizione e la distanza dell'oggetto e generare un segnale di uscita per l'innescare delle funzioni di sicurezza.

Generalmente, questi dispositivi permettono la distinzione tra una zona di avvertimento e una zona di sicurezza (Figura 1-2). Così facendo si possono avvertire gli operatori prima che possano entrare nella zona pericolosa.

Per avvisare dell'intrusione questo rilevamento può essere associato all'attivazione di un allarme udibile o di una spia mentre, se l'intrusione è nel campo di sicurezza, si procede all'arresto del movimento pericoloso della macchina.



Figura 1-2: Laser scanner e sua applicazione, con zona di avvertimento e zona di protezione. [3]

### 1.1.3. Sistemi visione sicura

I sistemi di visione sicura sono dispositivi elettrosensibili per applicazioni speciali (Figura 1-3). Il sistema, composto da un emettitore e un ricevitore, genera una zona di sicurezza solidale alla parte mobile della macchina; qualsiasi intrusione in questa zona determina l'arresto della macchina.



Figura 1-3: Sistema visione sicura per pressa piegatrice. [9]

## 1.2. Utilizzo e funzioni dei dispositivi

Se l'operatore deve accedere frequentemente a zone pericolose in prossimità o all'interno dei macchinari, si raccomanda l'utilizzo di dispositivi optoelettronici di protezione invece di protezioni meccaniche (ripari fissi o mobili interbloccati, recinzioni ecc.).

Utilizzare i dispositivi elettrosensibili permette infatti di ottenere numerosi vantaggi: riduzione del tempo di accesso (l'operatore non dovrà attendere l'apertura del dispositivo di protezione), aumento della produttività (risparmio di tempo durante le fasi di carico/scarico e manutenzione) e miglioramento dell'ergonomia del luogo del lavoro. Inoltre tali dispositivi assicurano lo stesso livello di protezione dei ripari meccanici.

E' possibile utilizzare un simile dispositivo solo se l'operatore non è esposto ad alcun rischio di ferita dovuto all'espulsione di parti (per esempio espulsione di spruzzi di materiale fuso). [3],[8],[9]

### 1.2.1. Funzioni di sicurezza<sup>2</sup>

Le funzioni di sicurezza che devono essere eseguite da un dispositivo elettrosensibile sono:

- Innesco dell'arresto;
- Impedimento dell'avvio;
- Distinzione uomo/materiale;
- Blanking e muting;
- Modalità PSDI.

<sup>2</sup> CEI EN 61496-1: Sicurezza del macchinario - Apparecchi elettrosensibili di protezione - Prescrizioni generali e prove;

CEI EN 62046: Applicazione di sistemi di protezione per rilevare la presenza di persone.

#### *1.2.1.1 Innesco dell'arresto*

Quando un corpo attraversa il campo di protezione di sicurezza di un dispositivo optoelettronico, i movimenti pericolosi della macchina devono essere arrestati e quest'ultima deve stazionare in una posizione sicura. Barriere e interruttori fotoelettrici, scanner laser e sistemi di visione sicura, se correttamente dimensionati e posizionati, garantiscono questa funzione. [9]

#### *1.2.1.2 Impedimento dell'avvio*

Oltre ad arrestare i movimenti pericolosi della macchina, i dispositivi elettrosensibili devono garantire che questa non possa avviarsi se persiste la condizione di pericolo o se l'operatore si trova all'interno dell'area pericolosa. Un'opportuna disposizione di barriere fotoelettriche e scanner laser o una combinazione di essi (vedi paragrafo 1.3) impedisce che l'operatore si trovi dietro l'area protetta dai dispositivi senza essere rilevato. [9]

#### *1.2.1.3 Distinzione uomo/materiale*

Un'applicazione speciale di un dispositivo optoelettronico consiste nella distinzione tra uomo e materiale. Questa funzione di sicurezza è utile su tutte le macchine in cui le operazioni di carico su pallet sono automatizzate (macchine da imballaggio, pallettizzatori, depallettizzatori ecc). Consiste nel permettere il passaggio di materiale autorizzato quando questo attraversa il varco protetto e bloccare il processo quando una persona tenta lo stesso.

Ci sono due tipologie possibili: l'utilizzo della funzione di muting (paragrafo 1.2.1.5) o l'utilizzo di sensori con algoritmo di valutazione integrata, in grado di valutare automaticamente la forma del corpo che attraversa il campo di protezione e innescare se necessario la funzione di arresto del macchinario. [9]

#### *1.2.1.4 Blanking*

Con questa funzione, gli oggetti che si trovano nel campo di protezione del dispositivo optoelettronico relativi al processo possono essere oscurati in modo da non innescare un arresto. Nel caso di barriere fotoelettriche, il blanking può essere fisso, con l'oggetto da oscurare immobile, o può essere flottante, nel caso di oggetti che si muovono durante il normale funzionamento della macchina (Figura 1-4). Un esempio

di blanking fisso può essere un nastro trasportatore che muove dei semilavorati o un piano di appoggio: nastro e piano d'appoggio vengono esclusi dall'azione di sicurezza della barriera immateriale per non innescare arresti inutili. [2],[9]

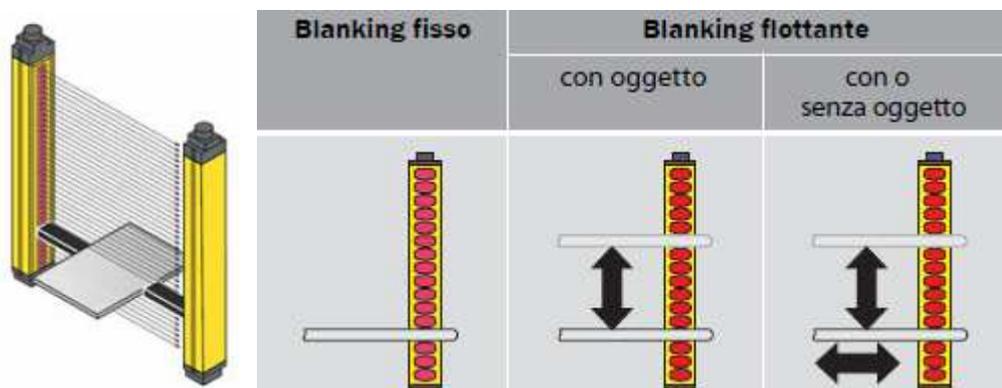


Figura 1-4: Funzione di blanking: fisso o flottante [9]

### 1.2.1.5 Muting

La funzione di muting è l'esclusione temporanea, automatica ed effettuata in condizioni di sicurezza della barriera di protezione in relazione al ciclo macchina. Esistono due tipologie di applicazioni del muting (Figura 1-5):

- Permettere l'accesso degli operatori all'interno dell'area pericolosa durante la parte non pericolosa del ciclo macchina;
- Distinguere l'uomo dal materiale in processi automatici di carico e movimento.

[4],[9]

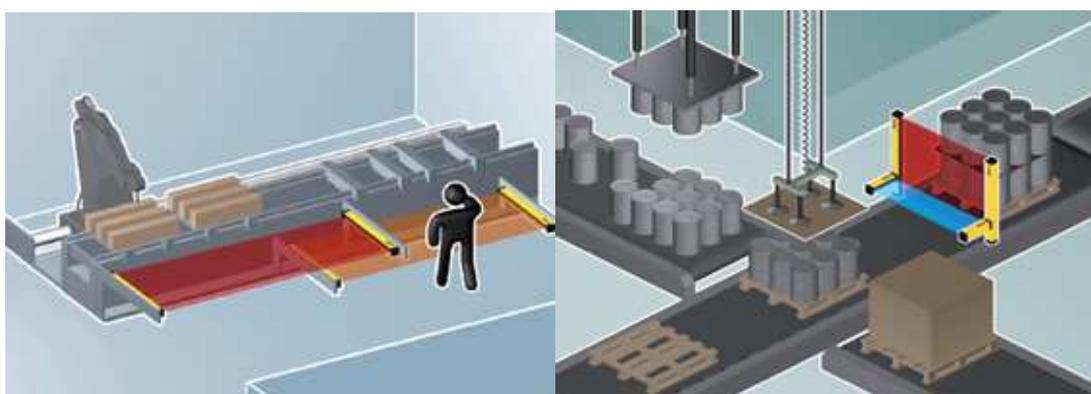


Figura 1-5: Muting per: consentire l'accesso all'operatore durante una fase non pericolosa della macchina (sinistra); permettere il transito del pallet e impedire l'accesso di una persona (destra) [4]

### 1.2.1.6 Modalità PSDI

Conosciuta anche come modalità operativa a singola interruzione, doppia interruzione o graduale, la PSDI (presence-sensing device initiation) implica l'uso di una barriera fotoelettrica per il controllo del funzionamento della macchina, oltre che come dispositivo di sicurezza. La PSDI attiva il ciclo di una macchina in base al numero di volte in cui viene interrotto il campo di rilevamento. Per esempio, quando un operatore si avvicina al pericolo per inserire un pezzo in lavorazione, l'interruzione dei raggi ferma immediatamente la macchina o previene il riavviamento della macchina fino a quando l'operatore toglie la mano dalla zona, momento in cui la macchina inizia automaticamente il suo ciclo successivo. Questo processo può essere compiuto da dispositivi logici programmabili di sicurezza o da relè di monitoraggio appositamente concepiti per questa funzione.

In Figura 1-6 è illustrato il funzionamento della modalità PSDI a doppia interruzione: la macchina rimane in stato di fermo quando l'operatore rimuove il pezzo lavorato (prima interruzione) e quando carica il nuovo materiale (seconda interruzione), per poi avviarsi quando il campo di protezione della barriera viene liberato la seconda volta.

[2],[9]

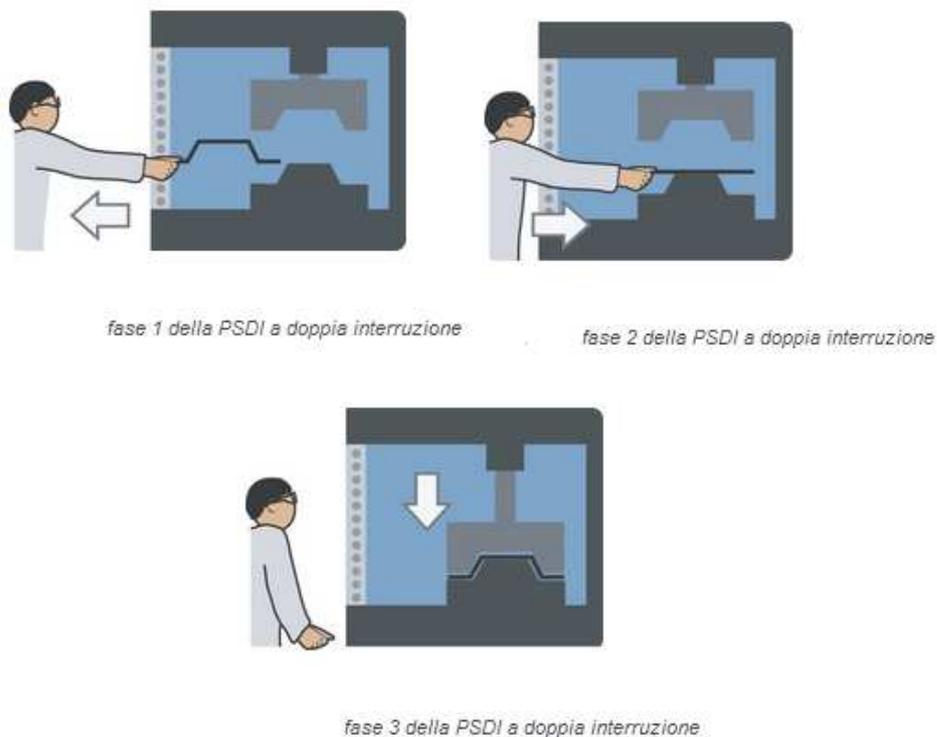


Figura 1-6: tre fasi della PSDI a doppia interruzione. [2]

## 1.2.2. Utilizzo dei dispositivi

### 1.2.2.1. *Barriere ed interruttori fotoelettrici*

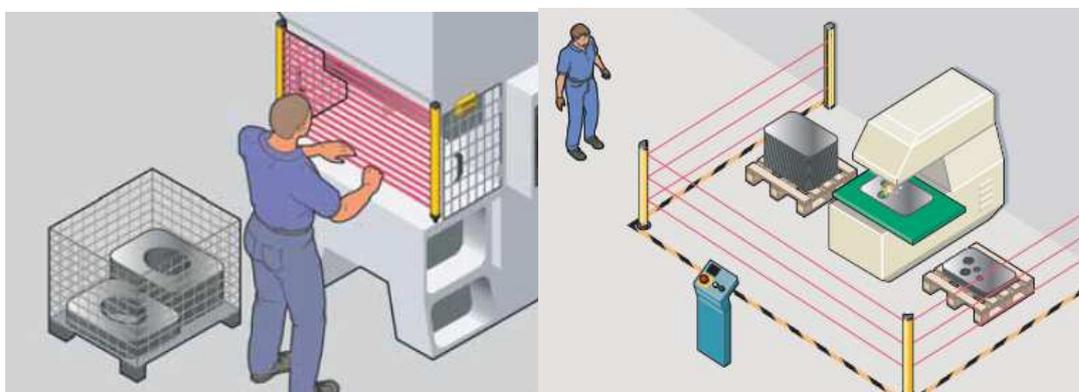
Le barriere fotoelettriche sono ideali per tutte le applicazioni industriali nelle quali l'operatore accede frequentemente al macchinario e si trova in prossimità di una zona pericolosa. Possono essere posizionate in modo da coprire zone verticali, orizzontali e oblique: il corretto utilizzo di diverse configurazioni spaziali permette di garantire le funzioni di sicurezza in modo semplice ed efficace.

Parametro importante da considerare per la scelta delle barriere è la risoluzione, ovvero la massima dimensione teorica che deve avere un oggetto per sganciare sempre la barriera fotoelettrica. La risoluzione del dispositivo scelto deve soddisfare le specifiche di protezione in relazione alla parte del corpo che può entrare nell'area protetta. La Tabella 1-1 riassume la risoluzione che il dispositivo deve avere per rilevare le diverse parti del corpo dell'operatore.

*Tabella 1-1: Accesso parziale e totale del corpo e risoluzione del dispositivo di protezione. [2]*

Oggetto da rilevare/proteggere	Risoluzione
Dito (campo verticale)	14 mm
Mano (campo verticale)	30 mm
Arto (campo orizzontale per rilevamento gamba)	50 mm, 70 mm
Corpo completo (campi orizzontali)	150 mm

Le barriere fotoelettriche sono ottimali sia per la rilevazione dell'accesso parziale (dita, mani e arti) sia di quello completo, in quanto possono essere facilmente dimensionate come descritto nel paragrafo 1.3 (Figura 1-7).



*Figura 1-7: Protezione dall'accesso parziale (a sinistra) e completo (a destra) con barriere fotoelettriche.*

[9]

### 1.2.2.2. Scanner laser

Lo scanner laser è ideale per utilizzi in ambito industriale e può essere utilizzato in applicazioni sia verticali che orizzontali, per rilevare l'intrusione di persone o oggetti nei campi di rilevamento configurati. Il suo campo di scansione può essere facilmente programmato, rendendolo una scelta ottimale per copertura di zone di forme irregolari e in presenza di ostacoli, casi in cui le barriere fotoelettriche non possono coprire efficacemente o interamente la zona. In tali situazioni, la scelta ricade sugli scanner laser e sulle pedane di sicurezza (capitolo 2 paragrafo 2.2.1).

Lo scanner laser può essere montato anche sui carrelli di magazzini automatici e su veicoli mobili a guida automatica (AGV): quando un corpo viene rilevato dallo scanner, un segnale può far rallentare o fermare il veicolo. Quando il campo di rilevazione è di nuovo libero, lo scanner riattiva la funzione di movimento (Figura 1-8).

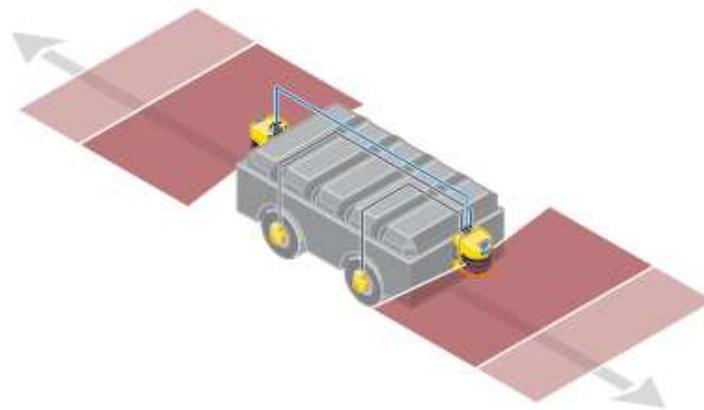


Figura 1-8: Sistema AGV con laser scanner anteriore e posteriore. [9]

### 1.2.2.3. Sistemi visione sicura

Su alcune macchine, gli operatori si trovano molto vicini all'area pericolosa per ragioni relative al funzionamento. Sulle presse piegatrici ad esempio, dei piccoli pezzi da lavorare devono essere tenuti manualmente molto vicini al bordo di curvatura. I dispositivi mobili di visione sicura basati su sistemi laser focalizzati, formano un campo di protezione attorno alle aperture dello strumento. Nell'esempio della pressa piegatrice vengono chiamati Press Brake Protection e devono soddisfare in particolare la norma EN 692<sup>3</sup>.

I requisiti relativi alla risoluzione sono molto elevati e i dispositivi devono essere immuni agli errori dovuti alle vibrazioni e ai riflessi su superfici metalliche.

## 1.3. Dimensionamento e posizionamento

### 1.3.1. Distanza di sicurezza

Fase essenziale della progettazione di un sistema di protezione elettrosensibile è la valutazione della distanza di sicurezza.

In generale, si distingue tra tre diversi tipi di avvicinamento all'area protetta:

- Avvicinamento perpendicolare;
- Avvicinamento parallelo;
- Avvicinamento angolare.

I tre casi sono mostrati nella Figura 1-9.

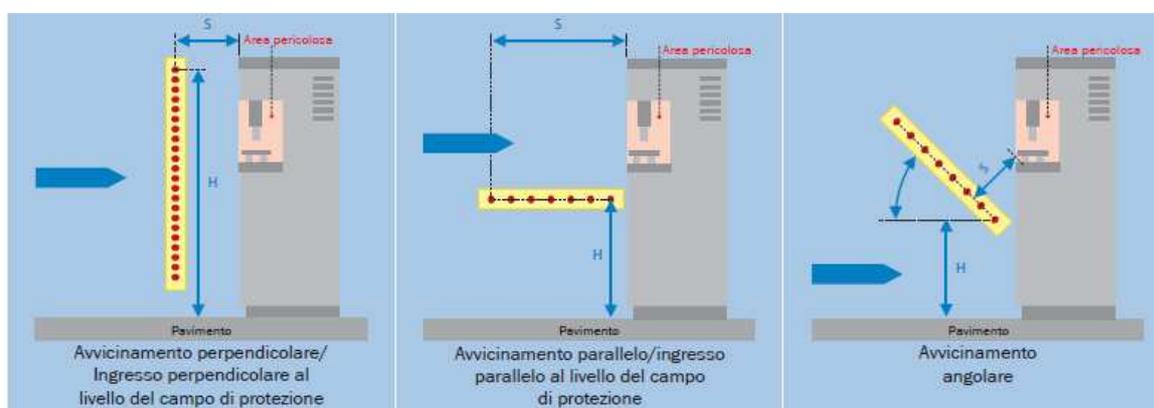


Figura 1-9: Avvicinamento perpendicolare (sinistra), parallelo (centro) e angolare (destra) all'area protetta dall'ESPE. [9]

Dopo aver selezionato il dispositivo di innesco dell'arresto, deve essere calcolata la necessaria distanza di sicurezza tra il campo di protezione del dispositivo e il punto pericoloso più vicino. La formula che si utilizza è mostrata in Figura 1-10.

**Formula generale di calcolo**

$$S = (K \times T) + C$$

Figura 1-10: Formula generale della distanza di sicurezza. [9]

<sup>3</sup> UNI EN 692: Macchine utensili – Presse meccaniche - Sicurezza

Nella formula:

- S è la distanza minima in millimetri dal punto pericoloso più vicino al punto di rilevamento del dispositivo;
- K è un parametro in millimetri al secondo, ricavato dai dati sulle velocità di avvicinamento del corpo;
- T è il tempo di arresto/diseccitazione dell'intero sistema in secondi;
- C è una distanza aggiuntiva in millimetri che definisce l'ingresso nell'area pericolosa prima che venga attivato il dispositivo di protezione.

Nella UNI EN ISO 13855<sup>4</sup> è descritta la formula per il calcolo della distanza di sicurezza S come funzione dell'avvicinamento al campo di protezione, riassunta nella Tabella 1-2.

Tabella 1-2: Calcolo della distanza di sicurezza in relazione al tipo di avvicinamento del corpo all'area protetta. [9]

Avvicinamento perpendicolare			
$\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$ $d \leq 40 \text{ mm}$	$S = 2000 \times T + 8 \times (d - 14)$ Se $S > 500 \text{ mm}$ , usare: $S = 1600 \times T + 8 \times (d - 14)$ . In questo caso S non può essere < 500 mm.	La distanza di sicurezza S non dovrà essere < 100 mm.	
$40 < d \leq 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \times T + 850$	Altezza del raggio inferiore $\leq 300 \text{ mm}$ Alt. del raggio superiore > 900 mm	
$d > 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \times T + 850$	<b>Numero di raggi</b>	<b>Altezze consigliate</b>
Multiraggio		4	300, 600, 900, 1200 mm
		3	300, 700, 1100 mm
		2	400, 900 mm
Raggio singolo	$S = 1600 \times T + 1200$ La protezione a raggio singolo è consentita solamente se è permessa dalla valutazione dei rischi o dalla norma di tipo C.	1	750 mm
Approccio parallelo			
$\beta = 0^\circ (\pm 5^\circ)$	$S = 1600 \times T + (1200 - 0.4 \times H)$ in cui $(1200 - 0.4 \times H) > 850 \text{ mm}$		
Approccio angolare			
$5^\circ < \beta < 85^\circ$	A $\beta > 30^\circ$ cfr. avvicinamento perpendicolare A $\beta < 30^\circ$ cfr. avvicinamento parallelo S si applica al raggio più lontano con un'altezza $\leq 1000 \text{ mm}$ .	$d \leq \frac{rH}{15} + 50$ rispetto al raggio inferiore.	

S: Distanza minima  
H: Altezza campo di protezione (piano di rilevamento)  
d: Risoluzione di ESPE

$\beta$ : Angolo tra il piano di rilevamento e la direzione di ingresso  
T: Tempo di arresto /diseccitazione dell'intero sistema

<sup>4</sup> UNI EN ISO 13855: Sicurezza del macchinario - Posizionamento dei mezzi di protezione in funzione delle velocità di avvicinamento di parti del corpo umano

La precedente tabella mostra come uno dei più importanti criteri di selezione della barriera fotoelettrica sia la sua risoluzione. Le risoluzioni più utilizzate sono di 14 mm, 30 mm e 50 mm, rispettivamente usate per il rilevamento delle dita, delle mani e delle caviglie. Valori superiori vengono utilizzati per il rilevamento dell'intero corpo.

Tornando al caso specifico delle presse piegatrici la Tabella 1-3, ricavata dalla EN 692, mostra i supplementi da considerare per soddisfare i requisiti di sicurezza.

Tabella 1-3: Calcolo del supplemento per presse. [9]

Calcolo del supplemento per presse	
Risoluzione d (mm) dell'ESPE	Supplemento C (mm)
$d \leq 14$	0
$14 < d \leq 20$	80
$20 < d \leq 30$	130
$30 < d \leq 40$	240
$> 40$	850

Si considerino ora alcuni esempi esplicativi del corretto dimensionamento e posizionamento dei dispositivi elettrosensibili, in ordine crescente di efficacia e sicurezza. [9]

Esempio 1: (Figura 1-11) La protezione dell'accesso con 3 raggi ad altezza compresa tra 300 mm e 1100 mm consente l'avvicinamento perpendicolare. Questa soluzione tuttavia permette all'operatore di sostare tra la barriera e la zona pericolosa senza essere rilevati e necessita dunque di misure di sicurezza supplementari per poter essere implementato, come un pulsante di ripristino esterno all'area protetta, non accessibile dall'area pericolosa e posizionato in modo tale da rendere possibile la visione dell'area di lavoro.

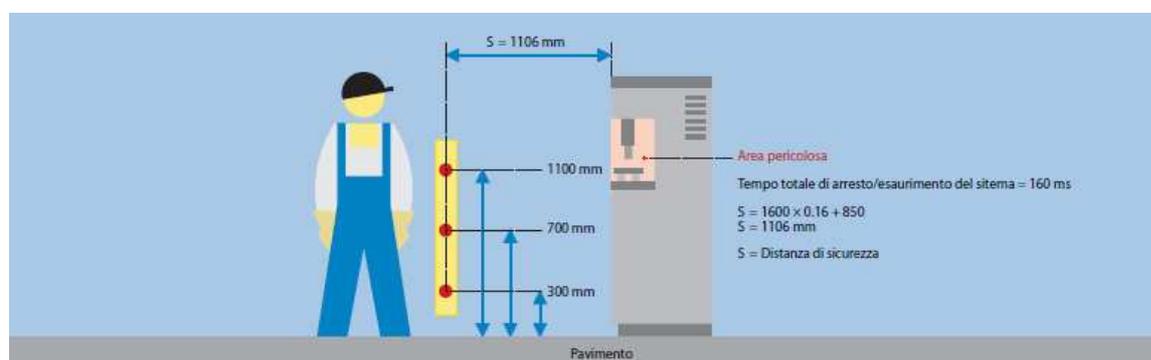


Figura 1-11: Distanza di sicurezza con protezione di barriera verticale a tre raggi. [9]

Esempio 2: (Figura 1-12) Protezione con una barriera multiraggio e accesso parallelo. Con un'altezza H dal terreno uguale a 500 mm possiamo utilizzare un dispositivo con risoluzione minore o uguale a 80 mm, inoltre non sarà possibile accedere all'area pericolosa al di sotto della barriera. Questo tipo di protezione viene spesso implementata con uno scanner laser, tuttavia si dovrà tener conto dei supplementi relativi a questi dispositivi.

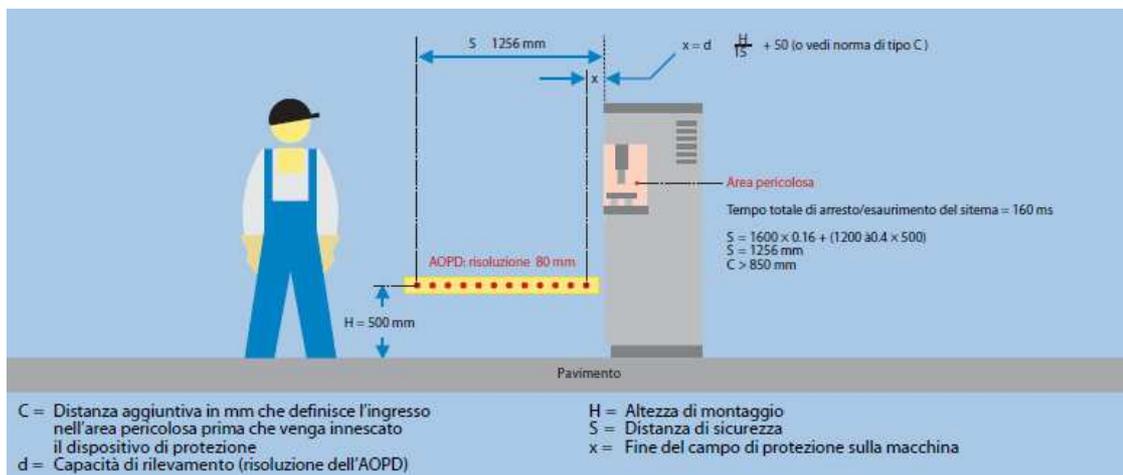


Figura 1-12: Distanza di sicurezza con protezione di barriera orizzontale. [9]

Esempio 3: (Figura 1-13) Utilizzando una barriera verticale e una orizzontale ad alta risoluzione si riduce la distanza di sicurezza e si elimina il pericolo che l'operatore si trovi a stazionare nella zona pericolosa. A causa dell'elevata risoluzione però il costo dei dispositivi aumenta.

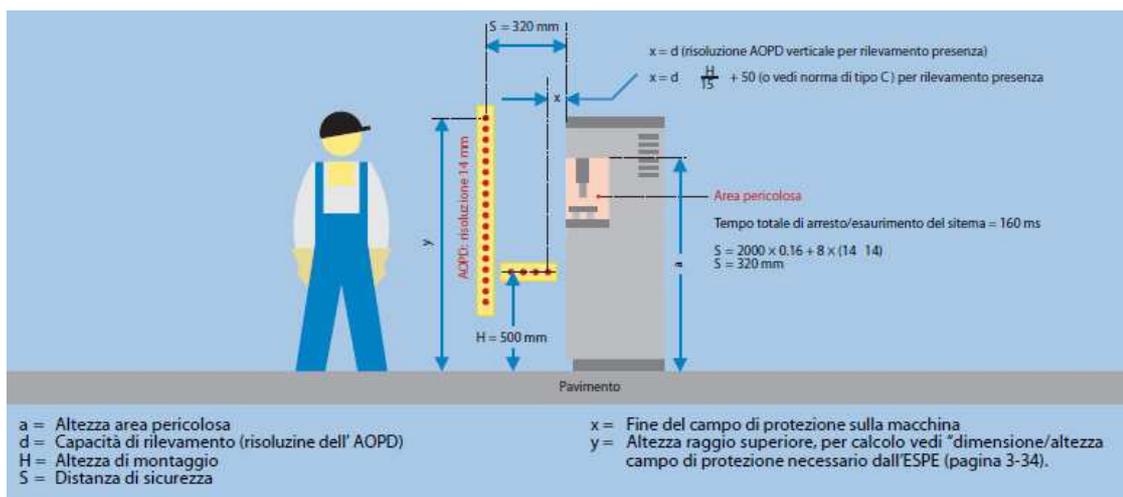


Figura 1-13: Distanza di sicurezza con protezione di barriera verticale e orizzontale. [9]

Se la distanza minima è eccessiva e inaccettabile da un punto di vista ergonomico, si dovrà ridurre il tempo complessivo di arresto macchina o si dovranno utilizzare dispositivi con risoluzione maggiore.

### 1.3.2. Dimensionamento del campo di protezione

Altra fase essenziale nella progettazione di un sistema optoelettronico è il dimensionamento del campo di protezione del dispositivo. La seguente tabella è ricavata dalla UNI EN ISO 13855.

Tabella 1-4: Altezza del campo di protezione di un dispositivo ESPE in relazione ad altezza e distanza dall'area pericolosa. [9]

Altezza <i>a</i> dell'area pericolosa (mm)	Distanza orizzontale <i>c</i> all'area pericolosa												
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2500	400	400	350	300	300	300	300	300	250	150	100	0	0
2400	550	550	550	500	450	450	400	400	300	250	100	0	0
2200	800	750	750	700	650	650	600	55	400	250	0	0	0
2000	950	950	850	850	800	750	700	550	400	0	0	0	0
1800	1100	1100	950	950	850	800	750	550	0	0	0	0	0
1600	1150	1150	1100	1000	900	850	650	450	0	0	0	0	0
1400	1200	1200	1100	1000	900	850	650	0	0	0	0	0	0
1200	1200	1200	1100	1000	850	800	0	0	0	0	0	0	0
1000	1200	1150	1050	950	750	700	0	0	0	0	0	0	0
800	1150	1050	950	800	500	450	0	0	0	0	0	0	0
600	1050	950	750	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0
400	900	700	7550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	600	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Altezza <i>b</i> risultante dal limite superiore del campo di protezione (mm)													
900	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600		

I parametri definiti in tabella sono illustrati nella Figura 1-14.



Figura 1-14: Altezza campo protettivo(*b*), altezza area pericolosa (*a*) e distanza area pericolosa (*c*). [9]

Per determinare l'altezza necessaria per il limite superiore del campo di protezione si deve:

1. Stabilire l'altezza dell'area pericolosa da proteggere (parametro a);
2. Scegliere la colonna con valore di distanza orizzontale (parametro c) inferiore a quella calcolata;
3. Leggere l'altezza risultante del punto più alto del campo di protezione (parametro b).

In Tabella 1-4 è evidenziato un esempio. Con altezza a pari a 1000 mm e distanza c inferiore a 700 mm si dovrà progettare un dispositivo con limite superiore a 1600 mm da terra.

Una volta determinati distanza minima di sicurezza e altezza del campo di protezione, si dovranno montare i dispositivi in posizione in modo da garantire il perfetto funzionamento del sistema. In particolare l'operatore dovrà poter accedere all'area pericolosa solo attraverso il dispositivo di protezione e dovrà essere rilevato quando si trova in prossimità di tale area. La Figura 1-15 mostra alcuni esempi di montaggio scorretto del dispositivo.

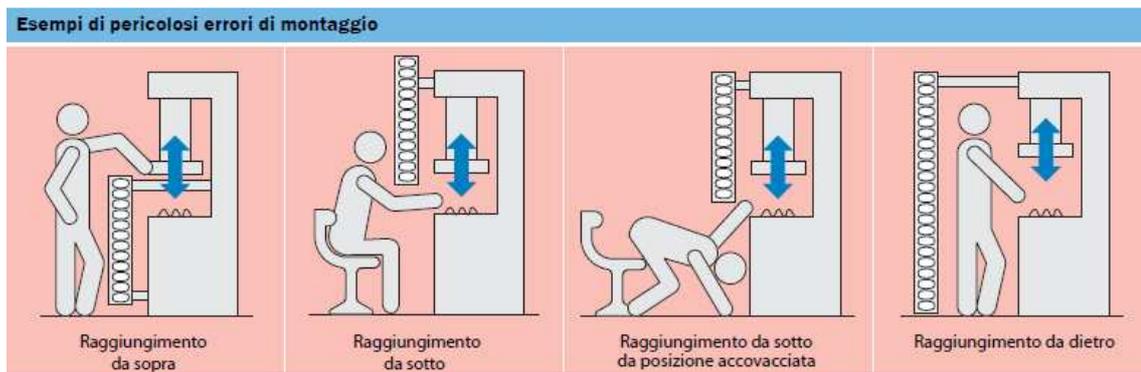


Figura 1-15: Esempi di montaggio scorretto dell'ESPE. [9]

## 1.4. Controllo

Quando un dispositivo elettrosensibile rileva una condizione di pericolo, il circuito di controllo del dispositivo disattiva i suoi segnali di uscita e innesca le funzioni di sicurezza per l'eliminazione di tale pericolo. Un esempio del funzionamento di una barriera fotoelettrica è illustrato nella Figura 1-16.

Quando uno dei raggi della barriera viene interrotto da un'intrusione nel campo di rilevamento, le uscite OSSD 1 e 2 comandano i relè K1 e K2 che aprono i relativi contattori e arrestano il movimento pericoloso della macchina.

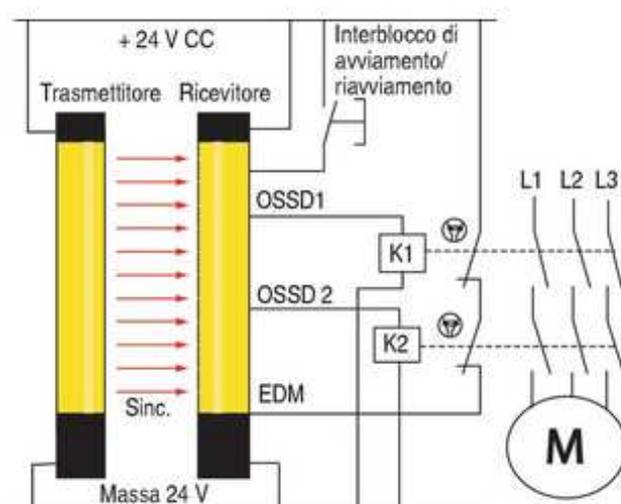


Figura 1-16: Circuito di controllo di una barriera fotoelettrica. [2]

Le uscite OSSD (Output Signal Switching Devices) sono a monitoraggio incrociato. Se una delle uscite non funziona, l'altra risponde ed invia un segnale di arresto alla macchina controllata e, come parte di un sistema a monitoraggio incrociato, rileva che l'altra uscita non ha cambiato stato o non risponde. A questo punto, la barriera fotoelettrica entra in una condizione di blocco che impedisce l'azionamento della macchina fino alla avvenuta riparazione della barriera fotoelettrica di sicurezza. La condizione di blocco non può essere risolta resettando le barriere fotoelettriche di sicurezza o spegnendo/riaccendendo l'alimentazione.

I dispositivi optoelettronici vengono spesso integrati nel sistema di sicurezza collegandoli ad un relè di monitoraggio di sicurezza (MSR) o ad un PLC di sicurezza<sup>5</sup>, come illustrato nella Figura 1-17.

<sup>5</sup> Vedasi appendice B: Relè e PLC di sicurezza

In questo caso, il relè MSR o il PLC di sicurezza controlla la commutazione dei carichi, l'interblocco di avviamento/riavviamento ed il monitoraggio dei dispositivi esterni. [2]

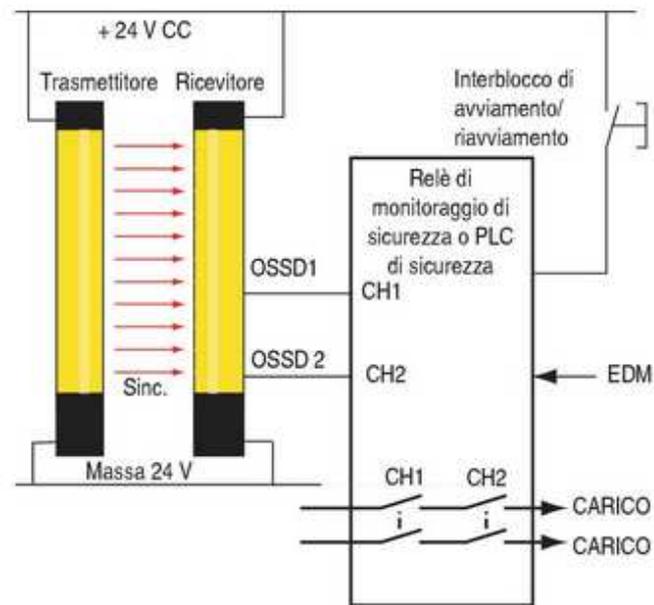


Figura 1-17: Barriera fotoelettrica collegata a relè MSR o PLC di sicurezza. [2]



# CAPITOLO 2

## Bordi e pedane di sicurezza

Bordi e pedane di sicurezza sono dispositivi sensibili alla pressione largamente utilizzati in ambito industriale. Le pedane di sicurezza, come i dispositivi optoelettronici (descritti nel capitolo 1), rilevano l'accesso e la presenza di operatori in aree potenzialmente pericolose; i bordi (o barre) di sicurezza invece vengono usati per la protezione in zone di schiacciamento o taglio.

In questo capitolo si analizzeranno questi due dispositivi basati sul medesimo principio: la pressione esercitata su di essi innesca le funzioni di sicurezza. In particolare si approfondiranno le specifiche di posizionamento e dimensionamento delle pedane sensibili, come definito dalle normative attualmente in uso, e si descriveranno i criteri di scelta di questi dispositivi.

### 2.1. Descrizione e principi di funzionamento

Pur essendo ideati per applicazioni diverse, bordi e pedane di sicurezza hanno lo stesso principio di funzionamento. Questo si basa, nella maggioranza dei casi, sulla deformazione elastica di un corpo cavo che garantisce l'esecuzione di una funzione di sicurezza da parte del generatore di segnali interno.

I dispositivi trattati possono essere realizzati secondo due diversi principi, illustrati in Figura 2-1: formazione di cortocircuito (2 o 4 cavi) o utilizzo di contatti ad apertura positiva.

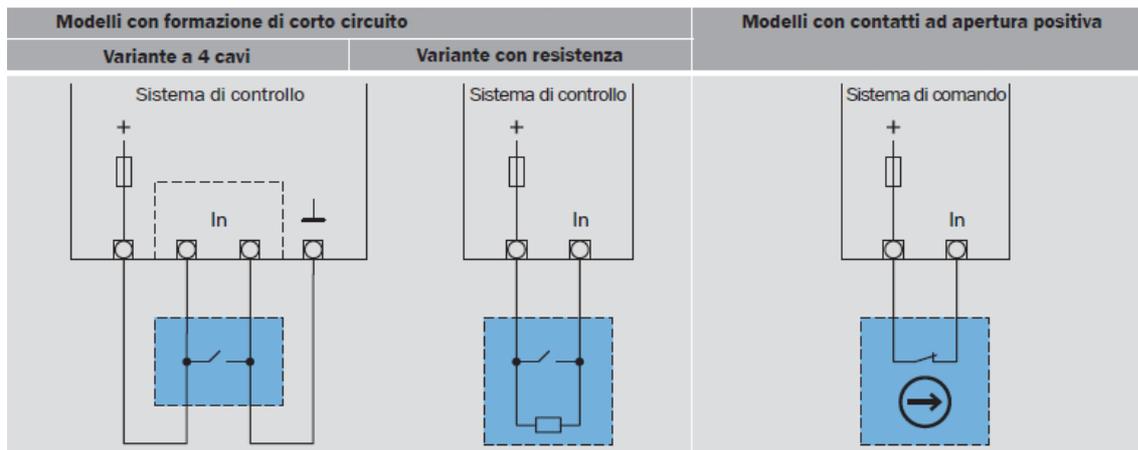


Figura 2-1: Modelli con formazione di cortocircuito (sinistra) e con contatti ad apertura positiva (destra). [9]

Nei modelli con formazione di cortocircuito, al momento dell'attivazione del dispositivo di protezione tramite pressione, si forma un cortocircuito tra i vari conduttori. Nella versione a 4 cavi, il sistema di controllo rileva che i conduttori appartenenti a canali diversi sono stati cortocircuitati. Nella versione a 2 cavi, i due conduttori sono separati da una resistenza di terminazione: quando una pressione agisce sul dispositivo cortocircuitando il sistema, il sistema di controllo percepisce la variazione di resistenza e innesca le funzioni di sicurezza.

I modelli con contatti ad apertura positiva sono più semplici: la pressione esercitata sul dispositivo sensibile apre i contatti normalmente chiusi e attiva direttamente la funzione di sicurezza.

Dei vari metodi di realizzazione finora descritti, nei prossimi paragrafi si analizzeranno quelli più diffusi per bordi e per pedane sensibili.

### 2.1.1. Pedane di sicurezza

La tecnologia più diffusa per creare pedane di sicurezza consiste nell'uso di due piastre di metallo parallele separate da distanziatori, come illustrato in Figura 2-2. Piastre e distanziatori sono incapsulati in un materiale non conduttivo con superficie antiscivolo e sono collegati all'alimentazione tramite 4 cavi.

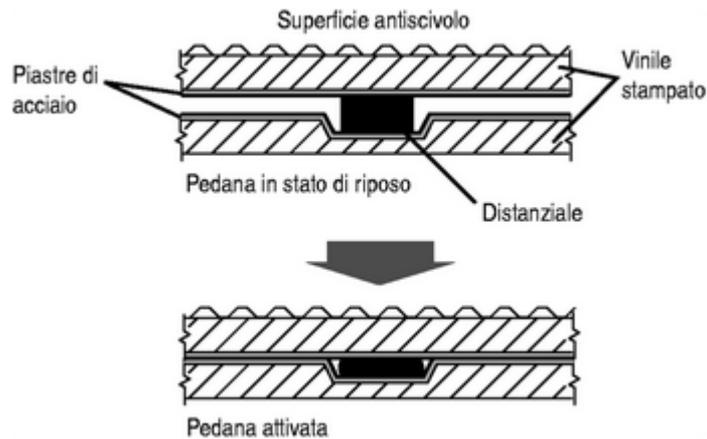


Figura 2-2: Modelli con formazione di cortocircuito (sinistra) e con contatti ad apertura positiva (destra). [2]

I due conduttori collegati alla piastra superiore sono assegnati al primo canale, i due della seconda piastra al secondo canale. Quando una persona calpesta la pedana, le due piastre creano un cortocircuito tra il Canale 1 e il Canale 2, e il dispositivo logico di controllo sensibile al cortocircuito innesca le funzioni di sicurezza.

In Figura 2-3 si può trovare un esempio di pedana sensibile.



Figura 2-3: Pedana di sicurezza. [2]

### 2.1.2. Bordi di sicurezza

Per quanto riguarda i bordi (o barre) sensibili alla pressione, sono diffuse due tecnologie di realizzazione.

La prima consiste nell'utilizzare una gomma conduttiva, con due fili che corrono per tutta la lunghezza del bordo, secondo il modello a cortocircuito a 2 cavi. Alla fine del bordo, per completare il circuito, viene utilizzata una resistenza di terminazione. La pressione sulla parte superiore del bordo, come illustrato in Figura 2-4, collega i due conduttori e riduce la resistenza del circuito. Il principale vantaggio di questa struttura è che anche gli angoli del dispositivo sono sensibili alla pressione.

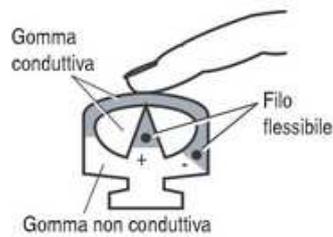


Figura 2-4: Bordo di sicurezza in gomma conduttiva. [2]

Il secondo metodo di costruzione di un bordo di sicurezza consiste nel realizzare una catena di contatti a riposo normalmente chiusi ad apertura obbligata. I rulli di contatto conduttori e gli elementi isolanti intermedi a cuneo sono disposti in serie ed alternati su un elemento elastico (Figura 2-5).

In caso di urto, gli elementi isolanti a cuneo si interpongono tra gli elementi conduttori, aprendo il circuito. Questa tecnologia realizzativa è semplice ed efficace, e assicura i seguenti vantaggi:

- Non è necessario alcun modulo di sicurezza, in quanto il segnale d'uscita è convertito direttamente in segnale d'apertura.
- L'azionamento è a 360°, a differenza dei bordi a gomma conduttiva.

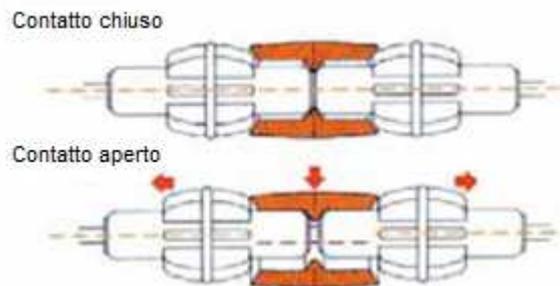


Figura 2-5: Bordo di sicurezza con contatti ad apertura positiva. [3]

In Figura 2-6 si può trovare un esempio di bordo sensibile con contatti ad apertura positiva, con particolare sulla struttura interna.

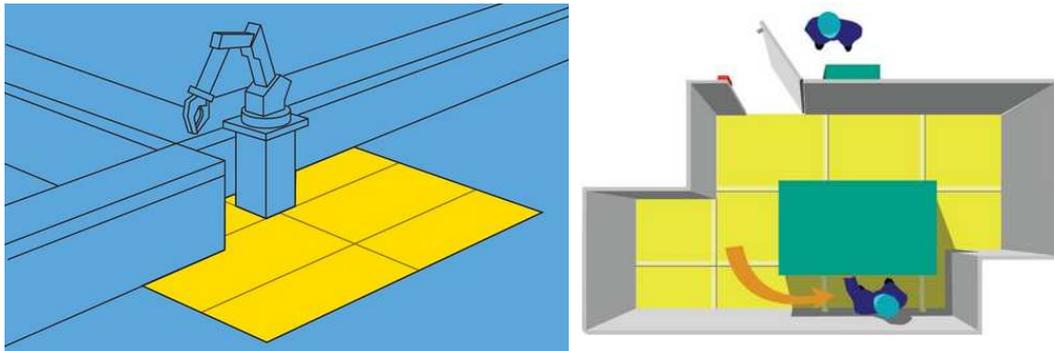


Figura 2-6: Bordo di sicurezza. [3]

## 2.2. Utilizzo dei dispositivi

### 2.2.1. Pedane di sicurezza

Le pedane sensibili di sicurezza vengono utilizzate per proteggere un'area di pavimento attorno ad una macchina, come illustrato in Figura 2-7.



*Figura 2-7: Protezione di macchinari con pedane di sicurezza. A destra il dispositivo previene l'avvio del macchinario in presenza, nella zona pericolosa, di una persona non visibile dall'operatore. [2]*

Una matrice di pedane interconnesse viene posata attorno alla zona pericolosa e l'applicazione della pressione su una pedana (ad es. il passo di un operatore) provoca l'interruzione dell'alimentazione al pericolo, garantendo quindi le funzioni di innesco dell'arresto e dell'impedimento dell'avvio. Le pedane sensibili vengono spesso utilizzate in un'area chiusa contenente diverse macchine, ad esempio celle robotizzate. Quando è necessario accedere alla cella, le pedane prevengono il movimento pericoloso se l'operatore si allontana dalla zona di sicurezza o deve arrivare dietro ad una apparecchiatura, come mostrato in Figura 2-7.

Le pedane di sicurezza sono spesso associate a barriere fotoelettriche per consentire il libero accesso per operazioni di carico e scarico macchine.

E' utile a questo punto confrontare le pedane sensibili agli scanner laser<sup>6</sup>: entrambi controllano l'accesso in aree pericolose, ma per scegliere il dispositivo migliore si devono fare delle considerazioni sulla forma della zona di sicurezza da coprire. Se la zona pericolosa da monitorare è un rettangolo (o una forma costituita da rettangoli contigui), l'accesso alla zona può essere facilmente ed economicamente controllato con una pedana sensibile standard.

<sup>6</sup> Vedasi capitolo 1 paragrafo 1.2.2.2

Quando la zona pericolosa è di forma irregolare è possibile ricorrere ad una pedana personalizzata che non è però necessariamente la scelta più economica e prontamente disponibile. In tal caso, la soluzione migliore è uno scanner di sicurezza perchè il suo campo di scansione può essere facilmente programmato per scandire zone irregolari ed ignorare gli ostacoli. Esistono altri parametri che differenziano scanner laser e pedane sensibili, alcuni dei quali sono riassunti nella tabella seguente. [2],[3],[8],[9]

Tabella 2-1: Utilizzo di scanner laser e pedane di sicurezza. [2]

	Pedane di sicurezza	Scanner di sicurezza
Rilevamento completo del corpo	✓	✓
Pavimento irregolare		✓
Prodotti chimici corrosivi		✓
Lavaggi ad alta pressione	✓	
Ambiente con vapori, polveri	✓	
Riflessi, forte luce ambientale	✓	

### 2.2.2. Bordi di sicurezza

I bordi di sicurezza sono profili flessibili che possono essere montati sul bordo di parti mobili (come porte elettriche, tavoli elevatori, cancelli scorrevoli) che presentano un rischio di schiacciamento o di taglio (Figura 2-8).



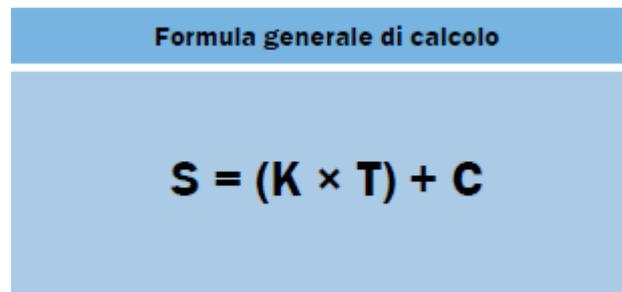
Figura 2-8: Un bordo di sicurezza impedisce lo schiacciamento della mano dell'operatore. [2]

Se la parte mobile colpisce l'operatore, o viceversa, il bordo sensibile viene premuto ed attiva un comando per disattivare la fonte di alimentazione del pericolo. I bordi sensibili possono essere usati anche per proteggere macchine dove esiste un rischio di aggrovigliamento per una persona. Se l'operatore rimane impigliato nella macchina, il contatto con la barra sensibile interrompe il movimento pericoloso. [2],[3]

### 2.3. Dimensionamento e posizionamento

Per le pedane sensibili, come per i dispositivi di protezione elettrosensibili, di fondamentale importanza è il calcolo della distanza di sicurezza.

Si riprenda la norma UNI EN ISO 13855 e in particolare la formula generale di calcolo, illustrata in Figura 2-9.



The image shows a blue rectangular box with a white header containing the text "Formula generale di calcolo". Below the header, the formula  $S = (K \times T) + C$  is displayed in bold black text.

Figura 2-9: Formula generale della distanza di sicurezza. [9]

Nella formula:

- S è la distanza minima in millimetri dal punto pericoloso più vicino al punto di rilevamento del dispositivo;
- K è un parametro in millimetri al secondo, ricavato dai dati sulle velocità di avvicinamento del corpo;
- T è il tempo di arresto/diseccitazione dell'intero sistema in secondi;
- C è una distanza aggiuntiva in millimetri che definisce l'ingresso nell'area pericolosa prima che venga attivato il dispositivo di protezione.

La Tabella 2-2 illustra il calcolo della distanza di sicurezza per un dispositivo di rilevamento di accesso e presenza generico.

Nel caso delle pedane sensibili si consideri la sola riga centrale, relativa all'avvicinamento parallelo (per una descrizione dettagliata dei vari tipi di avvicinamento all'area protetta si rimanda al capitolo 1 paragrafo 1.3.1).

Tabella 2-2: Calcolo della distanza di sicurezza in relazione al tipo di avvicinamento del corpo all'area protetta. [9]

Avvicinamento perpendicolare			
$\beta = 90^\circ (\pm 5^\circ)$ $d \leq 40 \text{ mm}$	$S = 2000 \times T + 8 \times (d - 14)$ Se $S > 500 \text{ mm}$ , usare: $S = 1600 \times T + 8 \times (d - 14)$ . In questo caso $S$ non può essere $< 500 \text{ mm}$ .	La distanza di sicurezza $S$ non dovrà essere $< 100 \text{ mm}$ .	
$40 < d \leq 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \times T + 850$	Altezza del raggio inferiore $\leq 300 \text{ mm}$ Alt. del raggio superiore $> 900 \text{ mm}$	
$d > 70 \text{ mm}$	$S = 1600 \times T + 850$	<b>Numero di raggi</b>	<b>Altezze consigliate</b>
Multiraggio		4	300, 600, 900, 1200 mm
		3	300, 700, 1100 mm
		2	400, 900 mm
Raggio singolo	$S = 1600 \times T + 1200$ La protezione a raggio singolo è consentita solamente se è permessa dalla valutazione dei rischi o dalla norma di tipo C.	1	750 mm
Approccio parallelo			
$\beta = 0^\circ (\pm 5^\circ)$	$S = 1600 \times T + (1200 - 0.4 \times H)$ in cui $(1200 - 0.4 \times H) > 850 \text{ mm}$		
Approccio angolare			
$5^\circ < \beta < 85^\circ$	A $\beta > 30^\circ$ cfr. avvicinamento perpendicolare A $\beta < 30^\circ$ cfr. avvicinamento parallelo $S$ si applica al raggio più lontano con un'altezza $\leq 1000 \text{ mm}$ .		$d \leq \frac{H}{15} + 50$ rispetto al raggio inferiore.

S: Distanza minima

H: Altezza campo di protezione (piano di rilevamento)

d: Risoluzione di ESPE

$\beta$ : Angolo tra il piano di rilevamento e la direzione di ingresso

T: Tempo di arresto /diseccitazione dell'intero sistema

La distanza di sicurezza deve considerare il ritmo ed il passo degli operatori. Presumendo che l'operatore cammini e che le pedane di sicurezza siano montate sul pavimento (Figura 2-10) il primo passo dell'operatore sulla pedana è un fattore di penetrazione C di 1200 mm. [2]

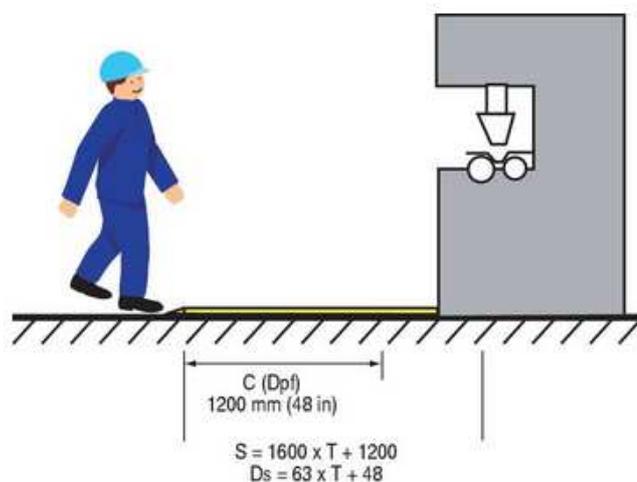


Figura 2-10: Distanza di sicurezza con pedana montata su pavimento. [2]

Se la pedana è montata su una piattaforma, il fattore di penetrazione cala secondo la formula descritta in Tabella 2-2, permettendo di ridurre la distanza di sicurezza complessiva (Figura 2-11).

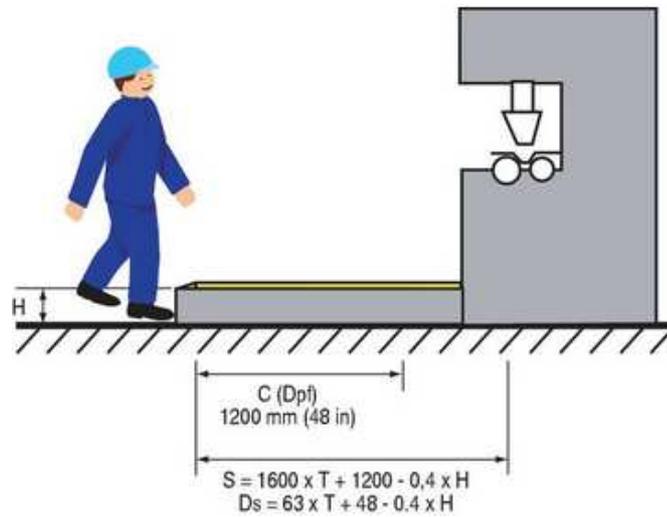


Figura 2-11: Distanza di sicurezza con pedana rialzata. [2]

## 2.4. Controllo

Il controllo delle pedane e dei bordi di sicurezza si può effettuare con un relè MSR o un PLC di sicurezza.

In Figura 2-12 è illustrato l'interfacciamento tra una matrice di pedane interconnesse e il sistema di controllo. La pedana rileva l'intrusione in zona di pericolo grazie alla pressione esercitata su di essa e trasmette l'informazione al relè MSR o al PLC di sicurezza, che controllano i carichi, gli interblocchi di avviamento/riavviamento e i dispositivi esterni. [2]

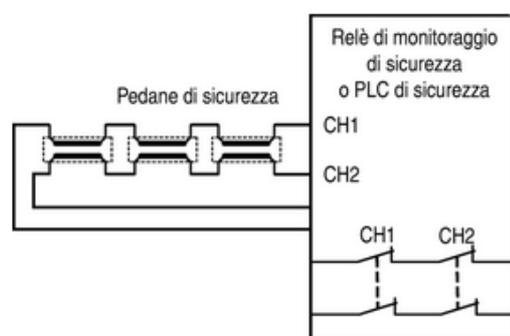


Figura 2-12: Pedane sensibili collegate a relè MSR o PLC di sicurezza. [2]

In Figura 2-13 è mostrato il sistema di controllo del bordo di sicurezza con relè MSR o PLC di sicurezza, simile a quello utilizzato per le pedane sensibili. Se il bordo è realizzato con tecnologia a 2 cavi con resistenza di terminazione, il dispositivo di controllo deve essere appositamente concepito. Se invece il dispositivo è realizzato con contatti ad apertura positiva non è necessario alcun modulo di sicurezza, in quanto il segnale d'uscita è convertito direttamente in segnale d'apertura. [2]

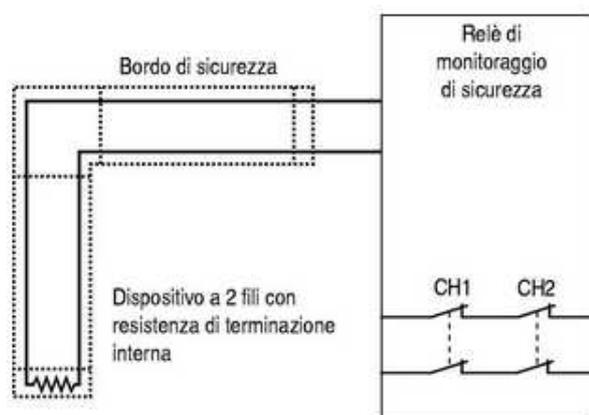


Figura 2-13: Bordo di sicurezza a 2 fili collegato a relè MSR o PLC di sicurezza. [2]

# CAPITOLO 3

## Interruttori di sicurezza

Gli interruttori di sicurezza sono dispositivi che rilevano e controllano la posizione dei ripari mobili: i ripari protetti da un interruttore di sicurezza vengono detti interbloccati. L'interblocco assicura che l'apertura del riparo fisico venga convertita in un segnale elettrico capace di arrestare il movimento pericoloso della macchina. Alcuni interruttori incorporano anche un dispositivo di bloccaggio che mantiene la chiusura del riparo fino a quando la macchina non giunge in condizioni di sicurezza.

In questo capitolo si analizzeranno le tipologie più diffuse di interruttori di sicurezza, si evidenzieranno le loro proprietà e i criteri di scelta di questi dispositivi; si studieranno inoltre i sistemi di controllo degli interruttori per un'efficace integrazione con i macchinari da proteggere.

### 3.1. Descrizione e principi di funzionamento

Gli interruttori di sicurezza più diffusi sono:

- Interruttori di interblocco con attuatore;
- Interruttori di interblocco con blocco della protezione;
- Interruttori di interblocco senza contatto;
- Interruttori di interblocco a cerniera;
- Interruttori di interblocco di posizione (finecorsa);
- Interruttori di interblocco a chiave bloccata.

#### 3.1.1. Interruttori di interblocco con attuatore

Gli interblocchi con attuatore richiedono che un attuatore venga inserito e rimosso dall'interruttore (Figura 3-1).

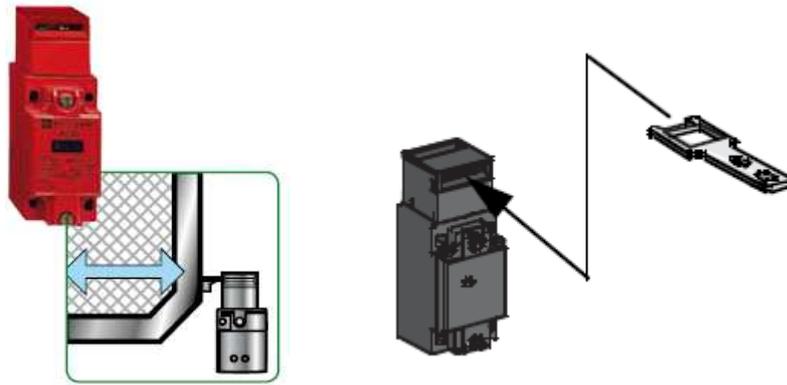


Figura 3-1: Interblocchi con attuttore. [8], [5]

Quando l'attuatore viene inserito, i contatti di sicurezza interni si chiudono e permettono il funzionamento della macchina; quando l'attuatore viene rimosso, i contatti interni si aprono e inviano un comando d'arresto dei movimenti pericolosi tramite il sistema di controllo.

### 3.1.2. Interruttori di interblocco con blocco della protezione

Gli interblocchi con blocco della protezione hanno un'elettroserratura per prevenire l'apertura delle protezioni mobili (Figura 3-2).

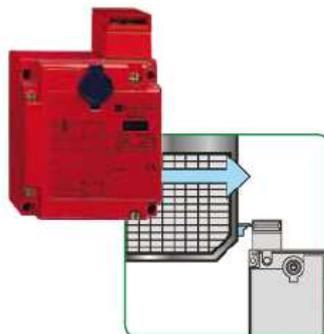


Figura 3-2: Interruttore con blocco della protezione. [8]

Uno schema della bobina dell'elettroserratura è illustrato in Figura 3-3: in assenza di corrente nella bobina, una molla tiene bloccato (o sbloccato) il riparo; quando la bobina è alimentata, l'elettroserratura apre (o chiude) il riparo. La maggior parte degli interruttori di blocco della protezione sono un adattamento degli interblocchi con attuttore: all'interblocco viene aggiunto un solenoide (bobina) che può bloccare l'attuatore in posizione quando eccitato.

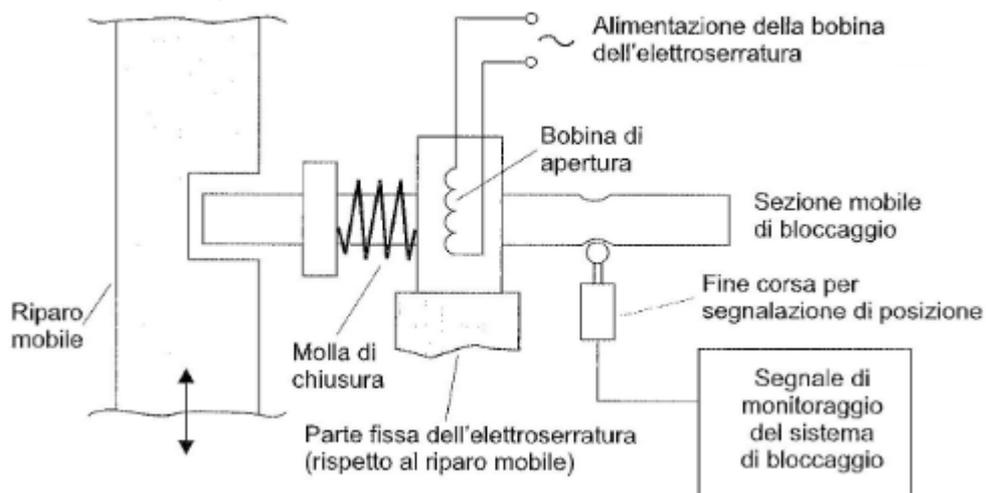


Figura 3-3: Schema della bobina dell'elettroserratura di un'interruttore con bloccaggio. [1]

Il funzionamento dell'interruttore con blocco può essere di 3 tipologie (Figura 3-4):

- Blocco tramite molla e sblocco tramite azionamento;
- Blocco tramite azionamento e sblocco tramite molla;
- Blocco e sblocco tramite azionamento.

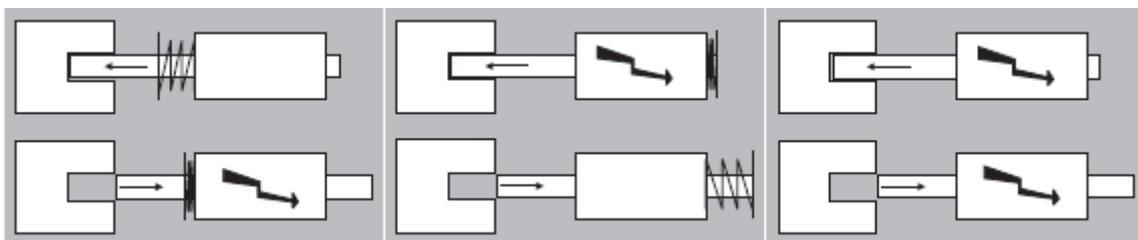


Figura 3-4: 3 tipologie dell'interruttore con blocco della protezione: sblocco con azionamento, blocco con azionamento e blocco/sblocco con azionamento. [9]

Nel primo caso, con blocco tramite molla, anche in mancanza di alimentazione il riparo rimane bloccato: ciò va a favore della sicurezza degli operatori in quanto il riparo mantiene la sua funzione di sicurezza. Per evitare che una persona possa rimanere bloccata oltre il riparo devono essere installati dei dispositivi che permettano la fuga, come pulsanti o leve meccaniche.

Nel secondo e nel terzo caso, con blocco tramite azionamento, devono essere accuratamente valutati i rischi in cui l'alimentazione venisse interrotta e il gate si sbloccasse in situazioni di pericolo per gli utenti.

### 3.1.3. Interruttori di interblocco senza contatto

Gli interblocchi senza contatto sono dispositivi nei quali non c'è contatto fisico (in condizioni normali) tra l'interruttore e l'attuatore (Figura 3-5).

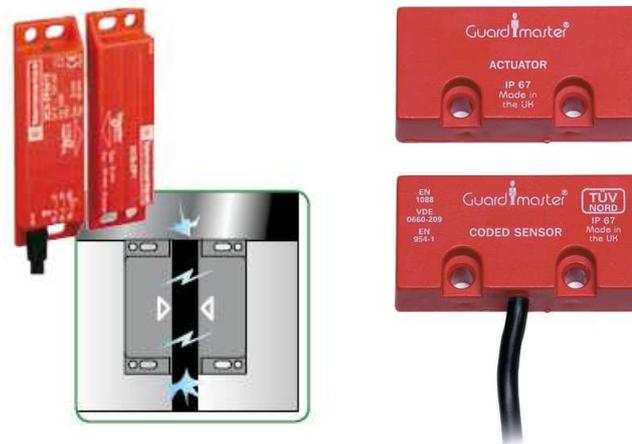


Figura 3-5: Interblocchi senza contatto. [8],[2]

Gran parte di questi interblocchi sono dei sensori magnetici di prossimità, in grado rilevare la presenza dell'attuatore nelle immediate vicinanze dell'interruttore; la distanza entro la quale i sensori rilevano i rispettivi attuatori è detta portata nominale o campo sensibile. Un altro parametro importante per gli interruttori senza contatto è la tolleranza al disallineamento: più bassa è la tolleranza più devono essere allineati attuatore e interruttore per garantire il corretto funzionamento del sistema.

Dato lo sviluppo di applicazioni con velocità e complessità sempre maggiori, un semplice interruttore magnetico può essere insufficiente: gli interruttori senza contatto più recenti incorporano diversi elementi magneticamente sensibili che devono attivarsi in una particolare sequenza per funzionare correttamente.

Una categoria particolare di interblocchi senza contatto sono gli interruttori a tecnologia RFID (Radio Frequency Identification), basati su particolari dispositivi elettronici chiamati transponder<sup>7</sup>, che garantiscono grande portata nominale e alta tolleranza al disallineamento.

<sup>7</sup> Per una descrizione approfondita si rimanda a testi specifici sull'argomento.

### 3.1.4. Interruttori di interblocco a cerniera

Gli interblocchi a cerniera sono montati sul perno della cerniera di una protezione incernierata, come illustrato in Figura 3-6.

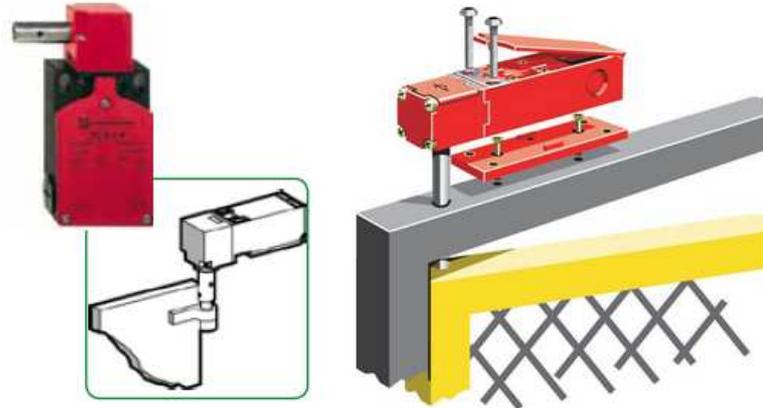


Figura 3-6: Interruttori a cerniera. [8],[2]

L'apertura della protezione fa ruotare il meccanismo a modalità positiva nell'interruttore, trasmettendo il segnale ai contatti del circuito di controllo.

### 3.1.5. Interruttori di interblocco di posizione (finecorsa)

L'interblocco di posizione è costituito da un interruttore di finecorsa a modalità positiva e da una camma lineare o rotativa (Figura 3-7).

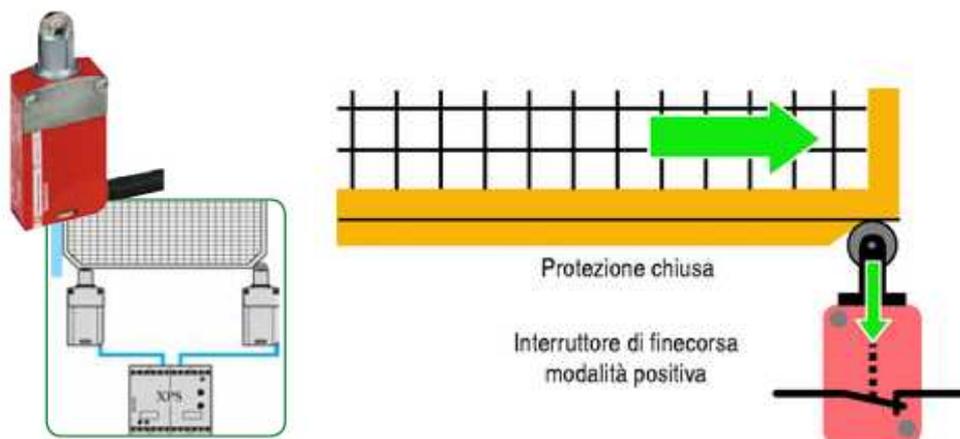


Figura 3-7: Interruttori di finecorsa. [8],[2]

Quando la protezione viene aperta, la camma spinge in basso il pistoncino dell'interruttore che apre i contatti del circuito di controllo.

### 3.1.6. Interruttori di interblocco a chiave bloccata

L'interblocco a chiave bloccata è un sistema di interblocco dell'alimentazione. L'interruttore è munito di una chiave bloccata: quando questa è inserita nell'interruttore la macchina è alimentata, quando viene estratta invece i contatti dell'interruttore vengono aperti isolando l'alimentazione. Il funzionamento di base è descritto nella Figura 3-8.

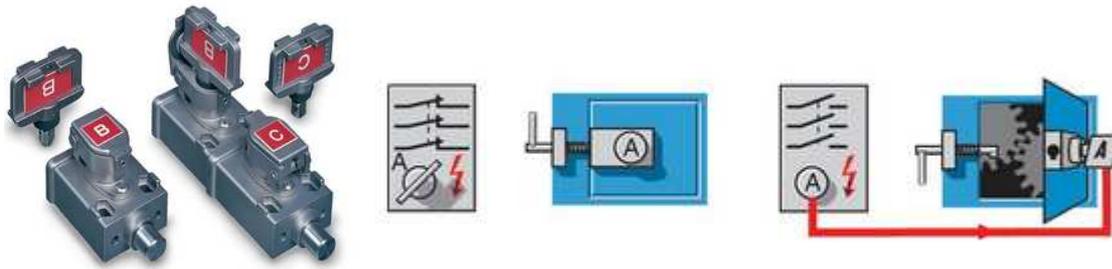


Figura 3-8: Interblocchi con chiave bloccata e loro funzionamento. [2]

Ogni interruttore può essere attivato solo con la propria chiave codificata e la stessa chiave deve essere utilizzata per rimuovere la protezione. La porta di protezione (in figura sportello blu) è bloccata in chiusura ed il solo modo per sbloccarla è usare la chiave dell'isolatore. Quando girata per sbloccare l'unità di bloccaggio della protezione, la chiave viene bloccata in posizione e non può essere estratta fino a che la protezione viene nuovamente chiusa e bloccata. Quindi è impossibile aprire la protezione senza prima isolare la fonte di alimentazione ed è impossibile anche attivare l'alimentazione senza chiudere e bloccare la protezione.

## 3.2. Utilizzo e funzioni dei dispositivi

Quando l'accesso alla macchina non è frequente, è preferibile adottare come sistema di protezione ripari mobili interbloccati. Per la maggior parte delle applicazioni, la combinazione di una protezione mobile e di un interruttore di interblocco, con o senza blocco della protezione, è la soluzione più affidabile e più conveniente. [2]

### 3.2.1. Funzioni di sicurezza<sup>8</sup>

Gli interruttori di interblocco devono soddisfare alcune funzioni primarie che garantiscono la sicurezza dell'applicazione: impedimento delle manomissioni, azione ad apertura diretta, ridondanza, arresto meccanico, modalità di guasto orientata.

#### 3.2.1.1. *Impedimento delle manomissioni*

La protezione di un interruttore di interblocco dipende dalla sua capacità di sopportare i tentativi di "ingannare" o mettere fuori uso il meccanismo. Un interruttore di interblocco dovrebbe essere concepito in modo da non poter essere messo fuori uso con semplici attrezzi o materiali facilmente disponibili (ad es. cacciaviti, monete, nastro o filo). Gli interruttori sono disponibili con vari livelli di protezione che vanno dalla resistenza alla manomissione impulsiva alla virtuale impossibilità di essere messi fuori uso. E' importante che l'interruttore possa essere azionato solo dal proprio attuatore (anche nel caso degli interruttori senza contatto).

Va sottolineato che se è necessario un alto livello di protezione, può essere più pratico ottenerlo mediante il modo di montaggio. Per esempio, se l'interruttore è coperto come nella Figura 3-9, non è possibile accedervi con la porta di protezione aperta. [2],[8],[9]

<sup>8</sup> UNI EN 1088: Sicurezza del macchinario – Dispositivi di interblocco associati ai ripari – Principi di progettazione e di scelta

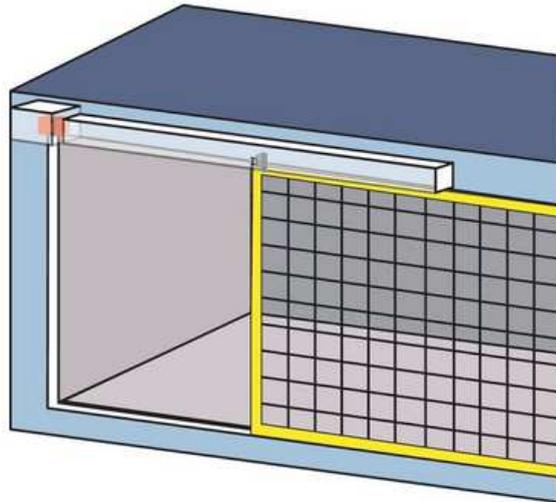


Figura 3-9: Interruttore con attuatore nascosti. [2]

### 3.2.1.2. Azione ad apertura diretta (apertura positiva)

Gli interruttori devono essere realizzati secondo la cosiddetta “modalità positiva” o “apertura diretta”. Questi termini si usano per definire l’ottenimento della separazione dei contatti per effetto diretto di un determinato movimento dell’attuatore attraverso membri non resilienti. Il simbolo con cui devono essere marcati gli interruttori con azione ad apertura diretta ai sensi della EN 60947-5-1 è illustrato in Figura 3-10. [2],[8],[9]

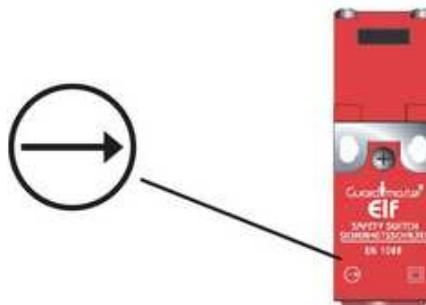


Figura 3-10: Marcatura di azione ad apertura diretta. [2]

Un esempio di funzionamento in modalità positiva per un interruttore con attuatore è mostrato in Figura 3-11. I contatti, normalmente chiusi quando l’attuatore è inserito, sono aperti per azione diretta quando questo viene rimosso, provocando la rotazione della camma con conseguente spostamento del pistoncino fissato ai contatti inferiori.

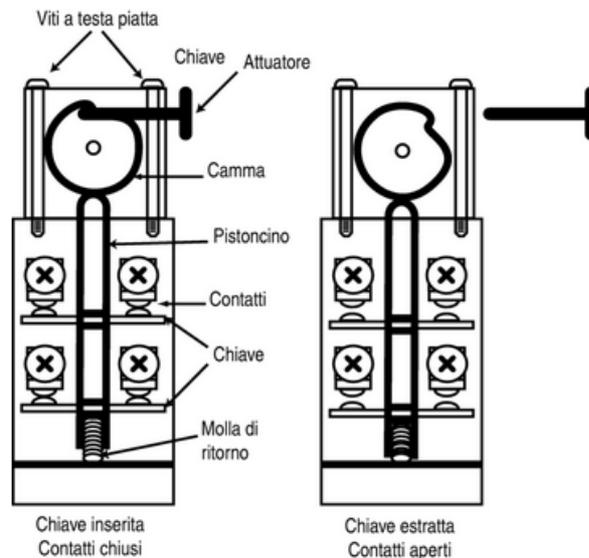


Figura 3-11: Apertura diretta di due contatti in un interruttore con attuttore. [2]

Il funzionamento in modalità positiva non può essere utilizzato negli interblocchi senza contatto, in quanto non c'è alcun contatto fisico (in condizioni normali) tra l'interruttore e l'attuatore.

### 3.2.1.3. Ridondanza

Un guasto critico di un singolo interruttore di sicurezza può essere causato da manomissione, da un guasto meccanico, dall'invecchiamento dell'interblocco o da condizioni ambientali estreme. Per mantenere livelli di sicurezza elevati è necessaria la duplicazione di tali componenti o sistemi: in caso di guasto al primo componente, l'altro può continuare ad assolvere la sua funzione. Generalmente è necessario un monitoraggio del primo guasto in modo da assicurare gli effetti positivi della ridondanza dei componenti. [2],[9]

### 3.2.1.4. Arresto meccanico

Gli interruttori di interblocco non sono concepiti per arrestare la corsa di un gate. Il progettista del sistema deve prevedere un adeguato arresto e lasciare una corsa sufficiente affinché l'attuatore si inserisca completamente nell'interruttore (Figura 3-12). [2],[9]



Figura 3-12: Arresto meccanico di un interruttore con attuatore. [2]

### 3.2.1.5. Modalità di guasto orientata

Negli interruttori senza contatto la modalità positiva non può essere utilizzata per assicurare l'azione di commutazione e, per ottenere prestazioni equivalenti, abbiamo bisogno di usare un metodo alternativo: la modalità di guasto orientata.

Con questa modalità si utilizzano componenti in cui la modalità di guasto predominante è conosciuta in anticipo ed è sempre la stessa. Il dispositivo è concepito in modo che qualunque cosa possa causare un guasto causerà anche lo spegnimento del dispositivo. Nel caso di un interblocco senza contatto ad azionamento magnetico, i contatti dell'interruttore sono collegati ad un dispositivo interno di protezione da sovracorrente non ripristinabile: qualunque situazione di sovracorrente nel circuito provocherà l'apertura dello stesso circuito in prossimità del dispositivo di protezione, progettato per funzionare ad una corrente molto inferiore a quella che potrebbe danneggiare i contatti di sicurezza. [2]

### 3.2.2. Utilizzo dei dispositivi

Ogni interruttore di interblocco può essere utilizzato solo in determinate applicazioni. La tabella seguente presenta alcuni parametri che verranno discussi in seguito per la scelta del dispositivo più adatto ad ogni applicazione.

Tabella 3-1: Caratteristiche degli interruttori di interblocco. [2]

	Interruttori senza contatto	Interruttori a cerniera	Interruttori con attuatore	Interruttori di finecorsa
Porta grande	✓		✓	✓
Vibrazioni	✓		✓	
Disallineamento	✓	✓		
Detriti	✓	✓		
Lavaggio	✓			✓

### 3.2.2.1. Interruttori di interblocco con attuatore

Gli interruttori di interblocco con attuatore sono particolarmente versatili e possono essere utilizzati su protezioni scorrevoli, incernierate o rimovibili, come illustrato in Figura 3-13. [2]

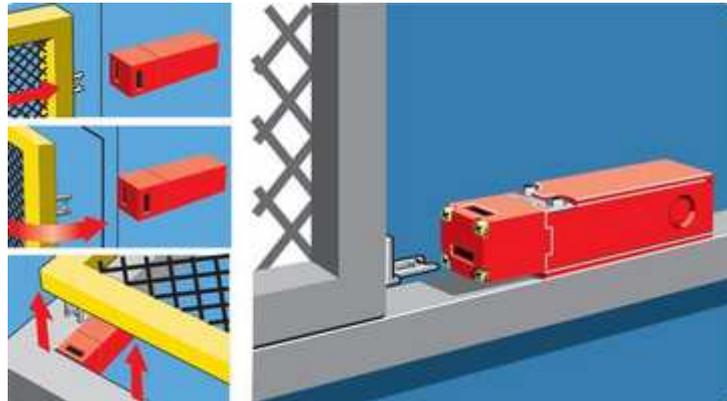


Figura 3-13: Interblocchi con attuatore utilizzati su protezioni scorrevoli, incernierate e rimovibili. [2]

### 3.2.2.2. Interruttori di interblocco con blocco della protezione

L'utilizzo di interruttori senza dispositivo di bloccaggio è limitato alle macchine con bassa inerzia o che abbiano comunque un tempo di arresto meccanico inferiore al tempo di apertura del riparo.

Un interruttore di interblocco con blocco della protezione è necessario nei seguenti casi:

- Protezione della macchina: In molte situazioni se una macchina viene fermata improvvisamente e nel punto sbagliato del ciclo, è possibile che alcune parti di essa subiscano danni o il processo venga disturbato in modo inaccettabile. L'interruttore con blocco mantiene il riparo bloccato mentre la macchina effettua tutte le procedure di arresto in sicurezza.
- Protezione delle persone: In molti casi, e in particolare per macchine con grande inerzia, la rimozione dell'alimentazione del motore o dell'attuatore non provoca necessariamente un arresto immediato del movimento pericoloso. L'interruttore con blocco impedisce all'operatore di avvicinarsi al macchinario mentre questo è in fase di decelerazione e lo lascia passare solo quando questo è in stato di sicurezza.

[2],[8],[9]

### *3.2.2.3. Interruttori di interblocco senza contatto*

Alcune delle più recenti norme di sicurezza funzionale (vedi appendice A) insistono sul bisogno di prevedere una completa tolleranza ai guasti tra i requisiti per i dispositivi che vengono utilizzati per alti livelli di rischio (es. SIL 3 o PLe). In questi casi è preferibile utilizzare interruttori senza contatto in quanto non hanno singoli punti di guasto come gli interruttori azionati meccanicamente.

Gli interblocchi senza contatto sono utilizzati in tutti gli ambienti che necessitano di elevati requisiti igienici e che sono sottoposti a frequenti operazioni di lavaggio (industrie farmaceutiche e alimentari) perchè a differenza degli altri interruttori non accumulano sporcizia e residui di lavorazione negli interstizi tra attuatore e interruttore e perchè sono incorporati in custodie sigillate (IP67/IP68/IP69K)<sup>9</sup> resistenti all'acqua e alla polvere. [2],[9]

### *3.2.2.4. Interruttori di interblocco a cerniera*

Quando correttamente installati, gli interruttori a cerniera sono ideali per la maggior parte delle porte di protezione incernierate. Possono isolare il circuito di controllo entro un angolo di 3° di apertura della protezione e sono praticamente impossibili da mettere fuori uso senza smontare la protezione. Bisogna comunque prestare particolare attenzione al fatto che un movimento di apertura di soli 3° in corrispondenza della cerniera può sportare ad una significativa apertura della protezione sul lato opposto, se le porte sono molto grandi. Inoltre, è importante verificare che una protezione pesante non sottoponga ad uno sforzo eccessivo l'albero dell'attuatore nell'interruttore. [2]

### *3.2.2.5. Interruttori di interblocco di posizione (finecorsa)*

La semplicità del sistema di interblocco di posizione permette all'interruttore di finecorsa di essere sia piccolo che affidabile.

Gli interblocchi di posizione non devono essere usati su protezioni sollevabili o incernierate. E' estremamente importante che il pistoncino dell'interruttore possa distendersi solo quando la protezione è completamente chiusa. Ciò significa che può essere necessario installare altri dispositivi di arresto per limitare il movimento della protezione in entrambe le direzioni.

<sup>9</sup> Per una descrizione approfondita si rimanda a testi specifici sull'argomento.

E' necessario che la camma sia appositamente profilata per funzionare entro determinate tolleranze. La camma montata sulla protezione non deve mai separarsi dall'interruttore perché ciò provocherebbe la chiusura dei contatti dell'interruttore. Tale sistema può essere soggetto a guasti dovuti ad usura, soprattutto se le camme non sono correttamente profilate o in presenza di materiali abrasivi. Spesso, è consigliabile usare due interruttori, come illustrato nella Figura 3-14.

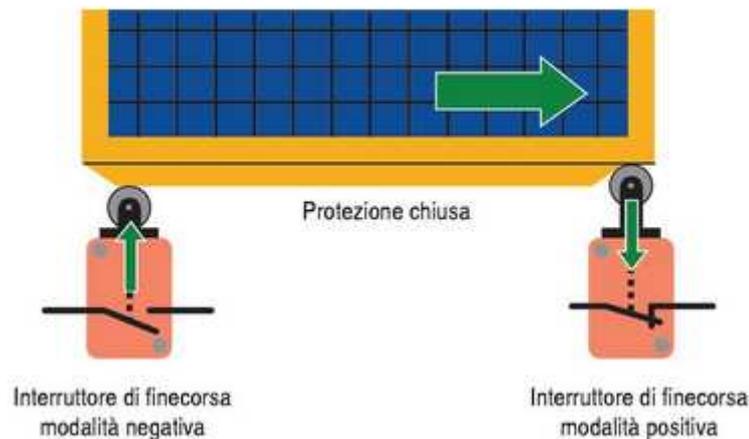


Figura 3-14: Interruttori di posizione ridondanti diversificati. [2]

Uno funziona in modalità positiva (azione diretta per aprire il contatto) e l'altro in modalità negativa (ritorno a molla). [2]

### 3.2.2.6. Interruttori di interblocco a chiave bloccata

Il sistema a chiave bloccata è estremamente affidabile. Il principale svantaggio è che, richiedendo ogni volta il trasferimento della chiave, non è adatto se l'accesso alla protezione deve essere frequente.

Quando è necessario l'accesso completo del corpo, si raccomanda l'uso di una chiave personale che viene portata dall'operatore nella zona di pericolo. L'uso di una chiave personale assicura che l'operatore non possa rimanere bloccato nella zona protetta.

La chiave può anche essere portata nella cella ed inserita in un altro interruttore per abilitare funzioni quali l'apprendimento del robot e la marcia ad impulsi. Nella Figura 3-15 è illustrato il meccanismo di un sistema di interblocco a chiave bloccata, con chiave che comanda altre funzioni interne alla cella.

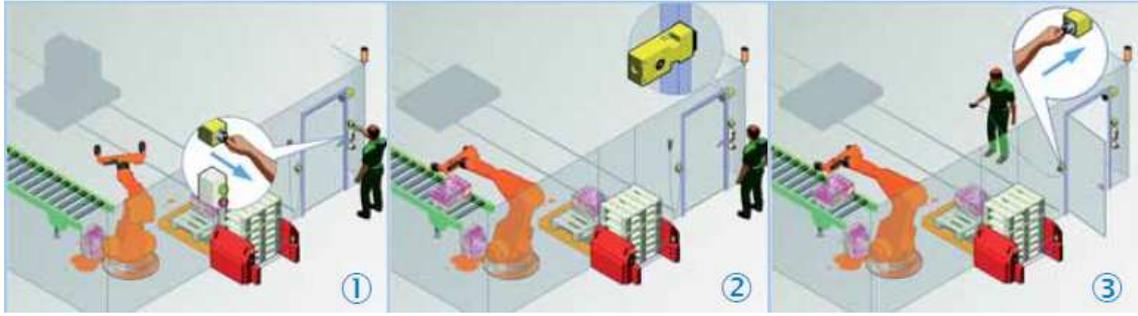


Figura 3-15: Sistema a chiave mobile in 3 fasi: utilizzo della chiave per togliere l'alimentazione, sblocco dell'apertura, utilizzo della chiave per funzioni interne. [9]

In figura l'operatore gira ed estrae la chiave dall'interruttore (1), togliendo quindi l'alimentazione alla macchina, disabilitando il funzionamento automatico e sbloccando la protezione (2). Entrato poi nella cella, utilizzando la stessa chiave può accedere a varie modalità di funzionamento per la messa a punto (3). Senza la chiave in possesso dell'operatore all'interno della cella, un secondo operatore non può riabilitare il funzionamento automatico della macchina dall'esterno chiudendo la protezione.

Le funzioni di base assicurate dagli interblocchi con chiave bloccata sono:

- Azionamento solo tramite chiave dedicata;
- Impossibilità di rimuovere la chiave mantenendo l'alimentazione: il tentativo di estrarre la chiave in modo forzato deve portare alla rottura della chiave prima di quella del blocco.

[2],[9]

### 3.3. Controllo

Di seguito sono illustrati i sistemi di controllo di un interblocco di finecorsa e di un interblocco con attuatore con dispositivo di bloccaggio, che presi come esempio permettono la comprensione della gestione del circuito di controllo di tutti gli interruttori di interblocco.

#### 3.3.1. Controllo interblocco di finecorsa

In Figura 3-16 è mostrato un semplice circuito di controllo di un interruttore di finecorsa, montato su una protezione mobile scorrevole munita di camma lineare.

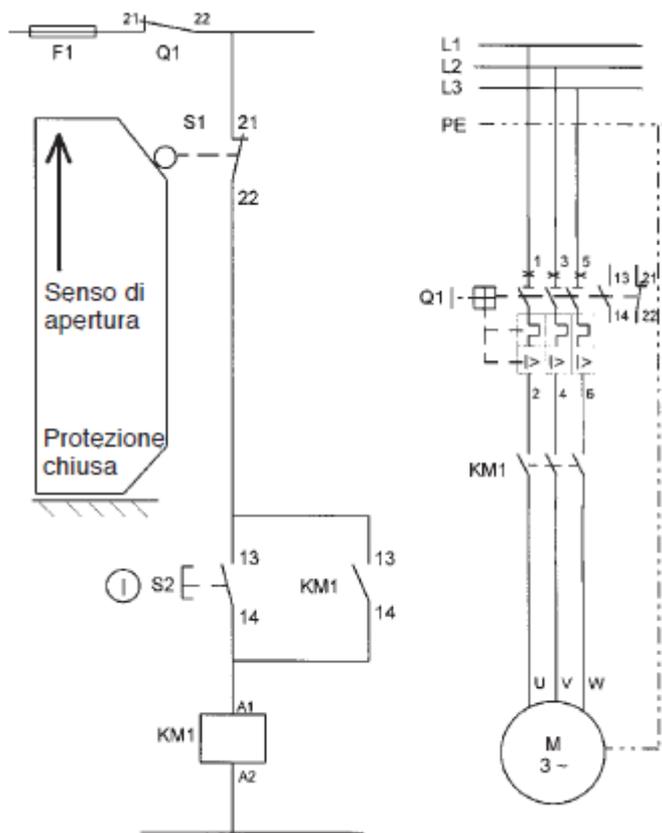


Figura 3-16: Controllo di un interruttore di interblocco di posizione. [5]

Il finecorsa S1 cui è affidato il controllo della protezione impiega un contatto ad apertura positiva e quindi garantisce l'interruzione del circuito anche nell'eventualità di una sua saldatura. Il relè KM1, quando il finecorsa apre il contatto, non viene più alimentato: questo porta quindi al diseccitamento del circuito di alimentazione del motore (sulla destra). Il pulsante S2 permette l'avvio e il riavvio del movimento

pericoloso tramite azione volontaria, ed è escluso quindi un avviamento intempestivo o automatico.

### 3.3.2. Controllo interblocco con attuatore con bloccaggio della protezione

La Figura 3-17 mostra uno schema del principio di funzionamento di un interruttore con blocco della protezione.

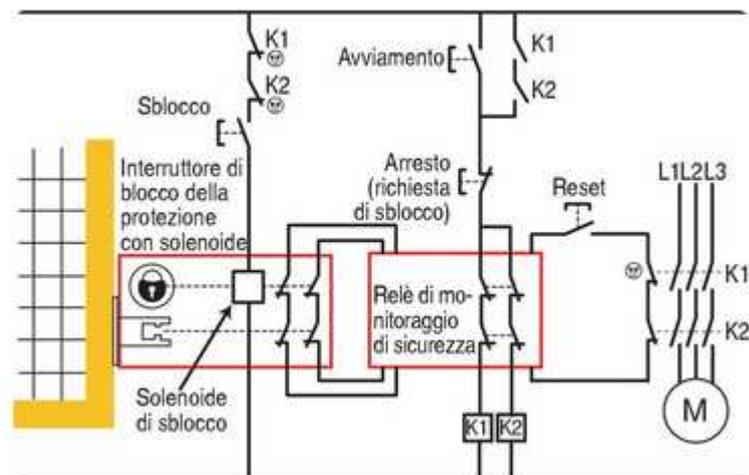


Figura 3-17: Controllo di un interruttore con blocco della protezione. [2]

Sulla sinistra, la protezione con l'attuatore dell'interruttore di interblocco munito di sistema di bloccaggio. In centro, il PLC o il relè di monitoraggio di sicurezza della macchina che gestisce le funzioni di avviamento, arresto e sblocco. Sulla destra, la macchina alimentata e controllata dai relè K1 e K2.

Quando l'operatore richiede uno sblocco della protezione chiusa (pulsante sblocco) il PLC accetta la richiesta in ingresso in qualunque punto del ciclo macchina ma invia un comando di sblocco solo alla fine di quel ciclo. Il comando di sblocco equivale a premere i pulsanti di arresto e sblocco, evento che nel circuito apre l'alimentazione al motore e attiva il solenoide di sblocco portando all'apertura della protezione (i contatti K1 e K2 nel ramo di alimentazione del solenoide vengono chiusi dal PLC al termine del ciclo macchina).

In Figura 3-18 è raffigurato il circuito di controllo dello stesso interblocco ma con funzione di temporizzazione, la quale assicura che prima dello sblocco della protezione tutti i movimenti si siano fermati.

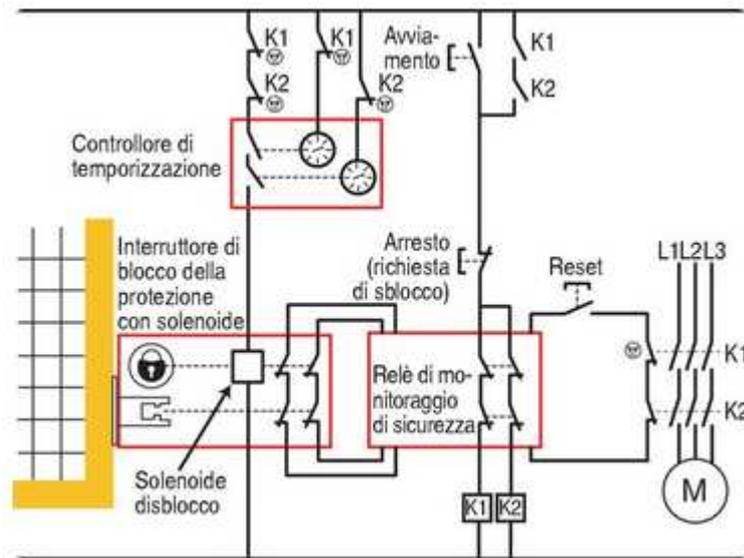


Figura 3-18: Controllo di un interruttore con blocco della protezione con solenoide temporizzato. [2]

La funzione di temporizzazione (tramite solenoide temporizzato) è configurata in modo che l'interruttore non sblocchi la protezione fino a quando sia trascorso un intervallo di tempo prestabilito. L'intervallo di temporizzazione dovrebbe essere impostato tenendo conto, almeno, del peggior tempo di arresto della macchina. Questo tempo di arresto deve essere prevedibile, affidabile e non dipendente dai metodi frenatura, che possono essere soggetti ad usura.

La Figura 3-19 mostra lo schema dell'interblocco precedente, ma questa volta munito di un sistema di monitoraggio che confermi l'arresto del movimento pericoloso.

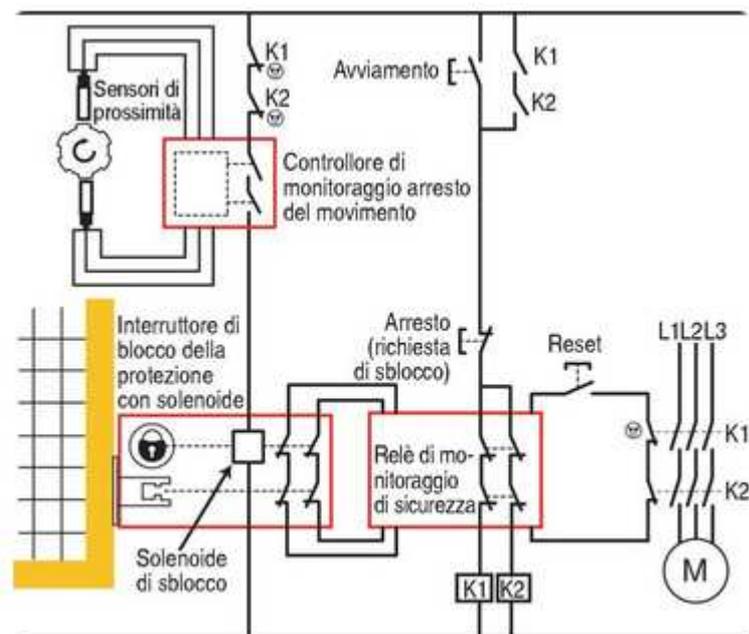


Figura 3-19: Controllo di un interruttore con blocco della protezione con solenoide vincolato all'arresto del movimento. [2]

I vantaggi di questo sistema rispetto quello di semplice temporizzazione sono che, anche se la macchina impiega più tempo del previsto a fermarsi, il blocco non verrà rilasciato troppo presto. Inoltre il blocco viene rilasciato non appena il movimento di arresta, senza dover necessariamente aspettare il peggior tempo di arresto (come nella temporizzazione). Questo porta all'aumento dell'efficienza del sistema.

Il monitoraggio dell'arresto può essere effettuato tramite sensori di prossimità combinati ad un PLC di sicurezza o tramite rilevamento della forza controelettrica mediante un'unità di controllo dedicata.

# CAPITOLO 4

## Comandi a due mani e dispositivi di abilitazione

Nei capitoli precedenti si sono studiati i sistemi di protezione che impediscono o rilevano automaticamente l'accesso di persone alle macchine, quando queste si trovano in condizioni pericolose, e innescano le funzioni di sicurezza. Esistono però alcune situazioni particolari in cui sono necessari dispositivi che richiedono un intervento diretto degli operatori per garantire la sicurezza: i comandi a due mani e i dispositivi di abilitazione.

I primi sono progettati per costringere l'utente del macchinario a trovarsi all'esterno dell'area pericolosa al momento dell'esecuzione dei movimenti potenzialmente nocivi, il secondo permette all'operatore di entrare nell'area pericolosa durante operazioni di ricerca guasti, manutenzione e messa a punto.

In questo capitolo si analizzeranno questi due dispositivi che si interfacciano direttamente con l'utente e si approfondiranno le tematiche di posizionamento e di controllo dei comandi a due mani.

### 4.1. Descrizione e principi di funzionamento

Comandi a due mani e dispositivi di abilitazione sono dispositivi ad azione mantenuta. Tali dispositivi consentono di avviare e di mantenere in funzione l'elemento pericoloso della macchina solo finché il comando (attuatore) è azionato manualmente dall'operatore. Quando l'operatore rilascia il dispositivo di comando, l'organo comandato si arresta.

#### 4.1.1. Comandi a due mani

Il comando a due mani è un dispositivo costituito da due pulsanti (attuatori) montati su una struttura fissa che si trova a distanza di sicurezza dall'area pericolosa. Un esempio di comando a due mani è illustrato in Figura 4-1.

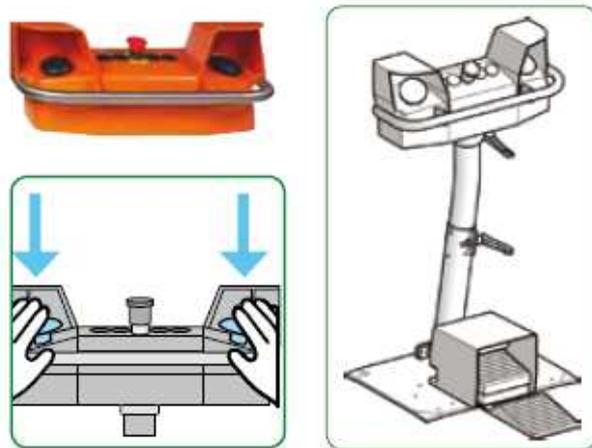


Figura 4-1: Comando a due mani con postazione fissa dedicata. [8]

Le tipologie di comandi a due mani sono tre:

- Il comando di “tipo I” richiede che entrambi i pulsanti vengano premuti per attivare il movimento pericoloso. Rappresenta il comando a due mani con caratteristiche più semplici.
- Il comando di “tipo II” richiede il rilascio di entrambi i pulsanti prima che il movimento della macchina possa ripartire.
- Il comando di “tipo III” è simile al tipo II, ma richiede la contemporaneità di intervento sui due pulsanti: la differenza di tempo tra l’azionamento di un comando e dell’altro non deve superare 0,5 s.

#### 4.1.2. Dispositivi di abilitazione

I dispositivi di abilitazione sono interruttori di controllo azionati fisicamente dall’operatore con cui questo ottiene l’autorizzazione per alcune funzioni macchina; tipici dispositivi di abilitazione possono essere pulsanti, interruttori a pedale e joystick (Figura 4-2).



Figura 4-2: Dispositivo di abilitazione joystick. [8]

Tali dispositivi utilizzano interruttori a tre posizioni: attivati in posizione centrale (posizione 2) e disattivati nelle altre due (posizioni 1 e 3). La posizione 1, con interruttore non azionato, corrisponde ad una funzione Off del dispositivo; la posizione 2, mantenuta con pressione leggera dell'interruttore, corrisponde al normale punto di funzionamento del dispositivo (On); la posizione 3, con forte pressione dell'interruttore, è associata ad uno stato di pericolo e quindi corrisponde alla funzione di arresto di emergenza del dispositivo. Con interruttore tornato dalla posizione 3 alla 2 infatti, sarà necessario sbloccare una protezione prima di poter riattivare il funzionamento normale del dispositivo.

## **4.2. Utilizzo dei dispositivi**

I dispositivi ad azione mantenuta sono efficaci solo se la zona di azione dell'elemento mobile è visibile all'operatore, in modo che possa cogliere la pericolosità della situazione ed individuare eventuali altre persone, e se l'elemento pericoloso è azionato per breve tempo dall'operatore.

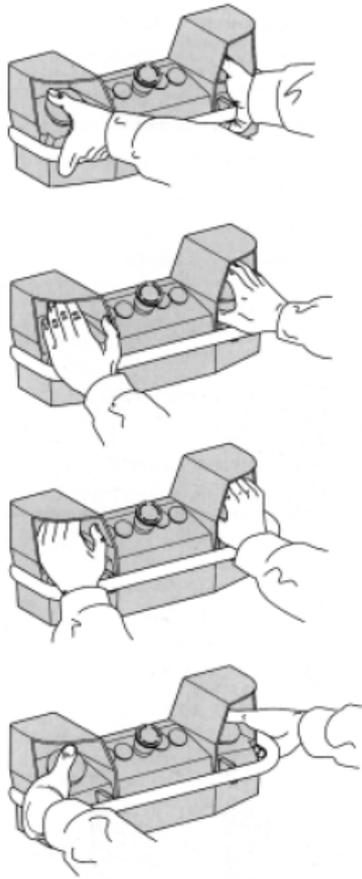
### **4.1.1. Comandi a due mani**

Il comando a due mani viene utilizzato quando il lavoro, ripetitivo e frequente, può indurre l'operatore ad introdurre le mani nella zona di lavoro. Un esempio può essere un pezzo mal messo o una cattiva sincronizzazione dei movimenti: in questi casi una mano libera è un rischio inaccettabile<sup>10</sup>.

La scelta e la progettazione del tipo di comando a due mani (I, II o III) dipende dalla valutazione dei rischi presenti, dall'esperienza nell'utilizzo tecnologico e da altri fattori che devono essere specificati per ciascuna applicazione (per es. prevenzione manovra accidentale e manomissione). Per le macchine con vari cicli di manovra, nella base è possibile montare uno o due interruttori a pedale supplementari, con relativo coperchio di protezione; in tal modo si assicura la sicurezza degli arti inferiori dell'operatore.

<sup>10</sup> UNI EN 574: Sicurezza del macchinario – Dispositivi di comando a due mani – Aspetti funzionali – Principi per la progettazione.

Un comando a due mani ben progettato deve assicurare una buona ergonomia, in quanto questa influenza molto l'affaticamento degli operatori e quindi la loro sicurezza. Un esempio di comando ergonomico che consente diverse modalità di pressione dei pulsanti è illustrato in Figura 4-3. [1],[6],[7]



*Figura 4-3: Comando a due mani ergonomico che consente modalità diverse di pressione degli attuatori.*

[6]

#### 4.1.2. Dispositivi di abilitazione

Il dispositivo di abilitazione è utilizzato per la manutenzione, la messa a punto e la ricerca di guasti nelle macchine.

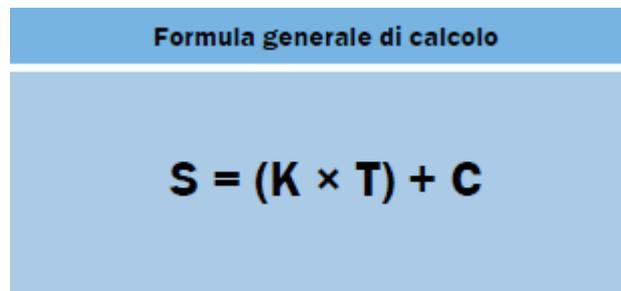
Tali dispositivi devono essere utilizzati in combinazione con un'altra funzione di sicurezza. Un tipico esempio è l'impostazione del movimento in modalità controllata a velocità lenta. Tale modalità corrisponde alla disattivazione di ogni procedura di movimentazione automatica della macchina, e i movimenti concessi vengono limitati in velocità. In questo modo, l'operatore può entrare nella zona pericolosa tenendo in mano un dispositivo di abilitazione joystick senza correre rischi. [9]

### 4.3. Dimensionamento e posizionamento

Il comando a due mani è utilizzato per impedire all'operatore di trovarsi entro i limiti dell'area pericolosa quando la macchina è in funzione. Per assicurare la sicurezza dell'applicazione però sono necessarie due condizioni: il comando a due mani deve essere posto ad una distanza di sicurezza dal pericolo e deve essere progettato in modo tale da impedire un suo uso scorretto da parte degli operatori.

#### 4.3.1. Distanza di sicurezza

Per il calcolo della distanza di sicurezza si riprenda la norma UNI EN ISO 13855 e in particolare la formula generale di calcolo, illustrata in Figura 4-4.



The image shows a blue rectangular box with a white header containing the text 'Formula generale di calcolo'. Below the header, the mathematical formula  $S = (K \times T) + C$  is displayed in a large, bold, black font.

Figura 4-4: Formula generale della distanza di sicurezza. [9]

Nella formula:

- S è la distanza minima in millimetri dal punto pericoloso più vicino al punto di rilevamento del dispositivo;
- K è un parametro in millimetri al secondo, ricavato dai dati sulle velocità di avvicinamento del corpo;
- T è il tempo di arresto/diseccitazione dell'intero sistema in secondi;
- C è una distanza aggiuntiva in millimetri che definisce l'ingresso nell'area pericolosa prima che venga attivato il dispositivo di protezione.

Nel caso dei comandi a due mani, la formula di calcolo diventa:

$$S = (1600 \cdot T) + 250 \text{ [mm]}$$

#### 4.3.2. Impedimento delle manomissioni

Il comando a due mani deve essere progettato e realizzato in modo tale da impedire ogni utilizzo improprio del dispositivo stesso. Un comando a due mani deve impedire, in base al livello di sicurezza richiesto dall'applicazione, che l'operatore azioni i due pulsanti con una sola mano, con una mano e il gomito, il ginocchio, l'anca, la coscia, il ventre o una combinazione di essi.

##### 4.3.2.1 *Prevenzione dalla manomissione con una sola mano*

Per prevenire la pressione di entrambi i pulsanti con una sola mano (Figura 4-5) si possono utilizzare diverse soluzioni:

- La distanza interna tra gli attuatori deve essere uguale o superiore a 260 mm (distanza massima delle dita di una mano);
- Gli attuatori devono essere separati con schermi, ghiera o sopraelevazioni, in modo tale che una cordicella di lunghezza inferiore a 260 mm non possa toccarli entrambi.

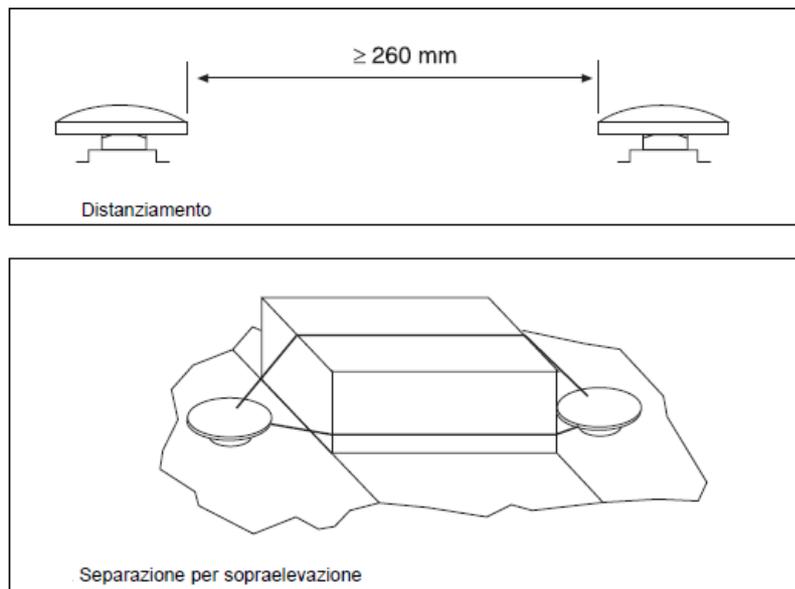


Figura 4-5: Distanziamento e separazione di comandi a due mani contro la manomissione con una sola mano [6]

#### 4.3.2.2 Prevenzione dalla manomissione con mano e gomito

Per prevenire la pressione di entrambi i pulsanti con una mano e il gomito dello stesso braccio (Figura 4-6) si possono utilizzare diverse soluzioni:

- La distanza interna tra gli attuatori deve essere uguale o superiore a 550 mm (distanza massima mano-gomito);
- Gli attuatori devono essere separati con schermi, ghiera o sopraelevazioni, in modo tale che una cordicella di lunghezza inferiore a 250 mm fissata a una barra rigida di 300 mm non possa toccarli entrambi (la barra rappresenta l'avambraccio, la corda la mano).

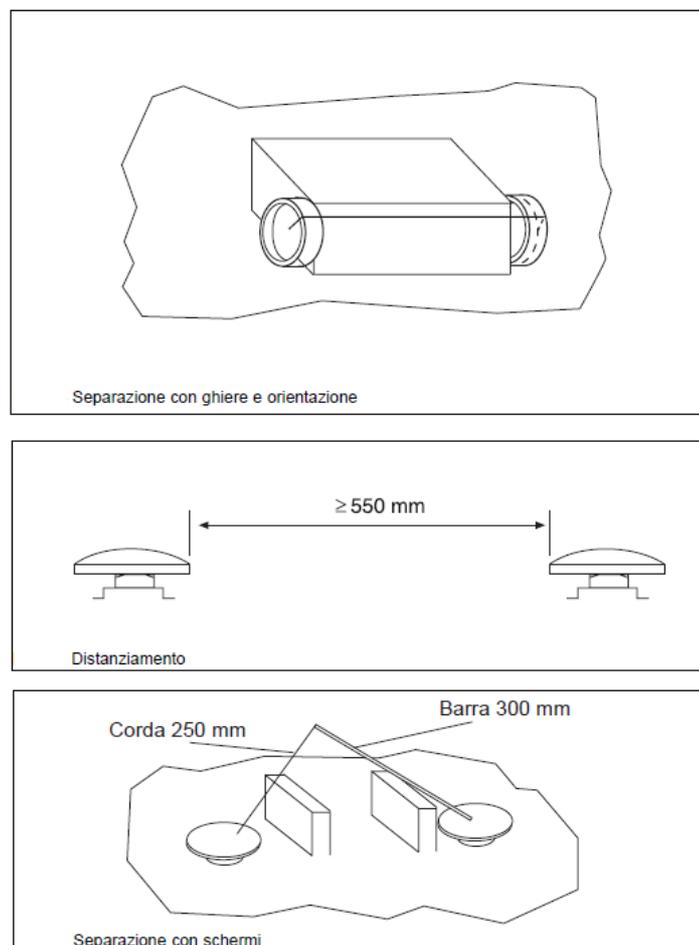


Figura 4-6: Distanziamento e separazione contro la manomissione con una sola mano [6]

#### 4.3.2.1. Prevenzione dalla manomissione con altre parti del corpo

Per prevenire la pressione di entrambi i pulsanti con mano e gomito, ginocchio, anca, coscia, ventre o una combinazione di essi si può utilizzare il progetto contro la manomissione di mano e gomito, ma il piano su cui sono disposti gli attuatori deve essere posto ad almeno 1100 mm al di sopra del suolo o della piattaforma d'accesso.

## 4.4. Controllo

Nella figura seguente è illustrato il controllo di un comando a due mani di tipo I.

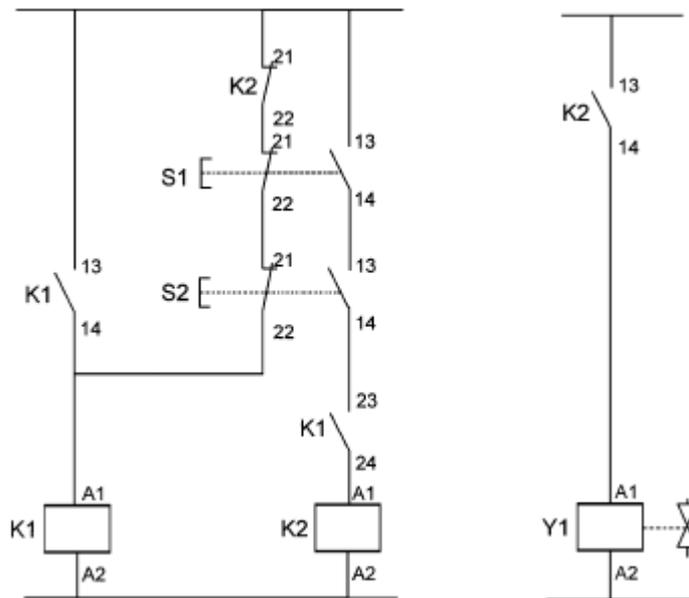


Figura 4-7: Controllo di un comando a due mani di tipo I. [6]

Questo sistema è realizzato in modo da rendere necessario il comando tramite due pulsanti separati (S1 e S2) senza limiti di tempo tra i due azionamenti. La pressione contemporanea degli attuatori S1 e S2 chiude i contatti nel ramo del relè K2 e lo attiva. Questo a sua volta chiude il circuito a destra e alimenta la macchina comandata. E' richiesto che il comando in uscita sia frutto di un'azione volontaria e non a seguito quindi di difetti. Per fare ciò lo schema proposto prevede il controllo automatico dei due pulsanti ad ogni messa sotto tensione del circuito: un malfunzionamento rende impossibile l'emissione del comando d'avvio (se nella fase di alimentazione uno dei due pulsanti risulta chiuso per malfunzionamento, K1 non si eccita e non chiude i contatti necessari all'attivazione di K2). Bisognerà curare al massimo la protezione contro le frodi o manomissioni tramite una corretta disposizione dei due pulsanti, come visto nel paragrafo precedente.

# CONCLUSIONI

## La scelta del dispositivo di sicurezza più adatto

I dispositivi di protezione illustrati nei capitoli precedenti sono tutti utilizzati attualmente in ambito industriale. La scelta del sistema di sicurezza più adatto ricade sul progettista, il quale deve valutare attentamente vantaggi e svantaggi di ogni dispositivo, compreso ovviamente il costo materiale non trattato in questo elaborato.

Lo schema nella pagina seguente può essere un valido, seppur semplificato, aiuto nella selezione dei dispositivi.

Macchinari completamente automatici o che richiedono l'intervento di un operatore necessitano di protezioni differenti. Per le macchine che necessitano di un intervento manuale, i dispositivi di abilitazione vengono usati per operazioni di manutenzione, messa a punto e controllo. Se l'operatore deve interagire con il macchinario nel normale ciclo produttivo invece, la scelta ricade su comandi a due mani e sistemi di visione sicura: in particolare i secondi sono specifici per applicazioni in cui l'operatore si trova molto vicino all'area pericolosa, come per esempio sulle presse piegatrici, nelle quali dei piccoli pezzi da lavorare devono essere tenuti manualmente molto vicini al bordo di curvatura.

Passando ai macchinari con funzionamento automatico, frequenza di accesso e vicinanza all'area pericolosa sono fondamentali per la scelta della categoria di sistemi di sicurezza che meglio si adatta all'applicazione industriale. Dispositivi optoelettronici, bordi e pedane di sicurezza sono preferibili quando l'area da proteggere è in prossimità o all'interno del macchinario e la frequenza di accesso è elevata; in combinazione con essi (o quando questi non sono necessari) si può scegliere una protezione dell'area pericolosa tramite ripari mobili interbloccati, che possono gestire un numero di accessi minori ma che garantiscono lo stesso livello di sicurezza. Determinata la categoria, si prosegue quindi con la selezione del dispositivo specifico che meglio si appresta a fornire la protezione necessaria nel modo più efficiente.

Si consideri il ramo a sinistra dello schema, relativo dispositivi elettrosensibili, ai bordi e alle pedane di sicurezza. Se l'applicazione è mobile la scelta ricade sui bordi di sicurezza quando l'arresto deve essere attivato per contatto (per esempio per la protezione di bordi taglienti o con rischio di schiacciamento) e sugli scanner laser per sistemi mobili a guida automatica (AGV).

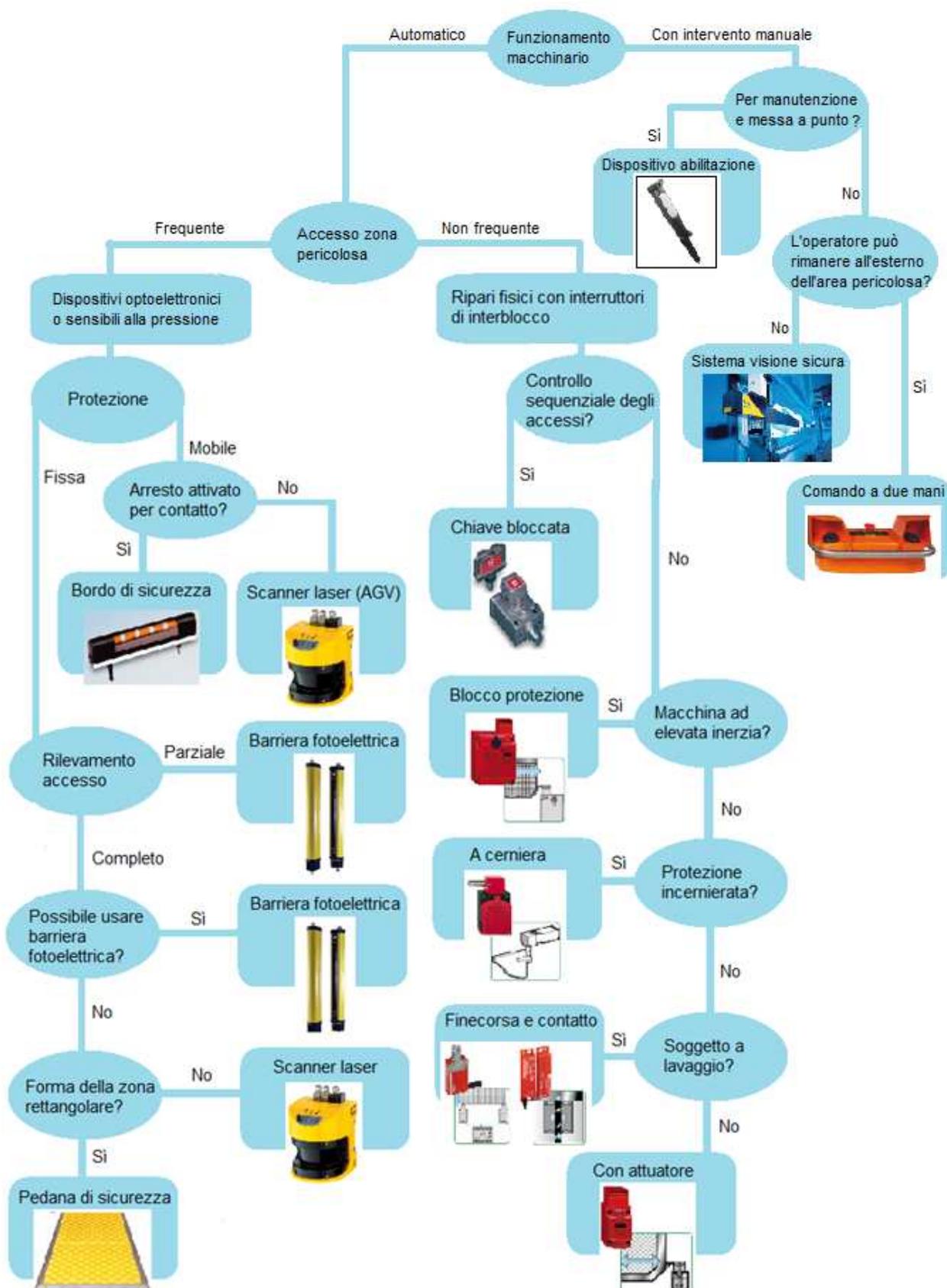


Figura c-1: Schema sulla scelta del dispositivo di protezione più adatto.

Per quanto riguarda la tipologia di rilevamento di accesso, le barriere fotoelettriche sono ottime sia per proteggere aree dall'accesso parziale sia da quello completo. Nel caso in cui queste non potessero essere utilizzate, per esempio a causa di irregolarità od ostacoli, la scelta ricade su pedane sensibili (aree rettangolari) e scanner laser (aree di forma irregolare).

Nel ramo centrale dello schema precedente sono trattati i sistemi di interblocco. Le tipologie di interruttori di interblocco sul mercato sono molte: gli interruttori a chiave bloccata sono utili in caso sia necessario un controllo sequenziale degli accessi, quelli con blocco della protezione sono obbligatori nel caso di macchine con elevata inerzia, quelli a cerniera sono specifici per le protezioni incernierate, quelli a contatto e di finecorsa sono resistenti ai lavaggi, quelli con attuatore sono semplici ed economici.

E' utile specificare a questo punto che anche macchinari con funzionamento automatico possono prevedere l'utilizzo di dispositivi di interfaccia utente per particolari condizioni di utilizzo, come per la modalità manuale a velocità lenta o quella di ispezione e controllo in cui risulta necessario un dispositivo di abilitazione.

#### Sicurezza funzionale e esempi di applicazione delle norme specifiche

Saper scegliere in modo qualitativo il dispositivo più adatto alle varie applicazioni industriali non è sufficiente per assicurare la sicurezza di operatori e delle macchine nel luogo di lavoro. I sistemi di sicurezza utilizzati devono infatti garantire un livello di sicurezza minimo, generalmente definito dalle norme di tipo C (norme specifiche della macchina). Il livello di sicurezza necessario deve essere definito separatamente per ogni funzione di sicurezza e quindi si applica a tutti i dispositivi coinvolti, come per esempio il dispositivo di protezione, l'unità di elaborazione e gli attuatori. Se non è disponibile una norma di tipo C per la macchina in questione o non vi sono requisiti per questo tipo di macchina e queste norme, è possibile determinare il livello di sicurezza necessario tramite una delle norme di sicurezza funzionale (appendice A: sicurezza funzionale).

Per fornire una completa panoramica di tutte le procedure che si effettuano per scegliere un dispositivo di protezione, si considererà un caso di applicazione delle norme IEC 62061 e ISO 13849-1.

Si prenda per esempio il caso di un'apertura di una protezione che deve essere efficacemente interbloccata per impedire la rottura di un braccio o l'amputamento di un dito dell'operatore. La macchina in questione non presenta una grande inerzia e si arresta immediatamente con l'apertura dell'interblocco, quindi non è necessario scegliere un dispositivo con sistema di bloccaggio. La protezione è un riparo mobile

scorrevole e non necessita di un controllo sequenziale degli accessi, quindi si escludono dalla scelta interruttori a chiave bloccata e interruttori a cerniera. Il luogo di lavoro è soggetto a lavaggi frequenti; tuttavia si esclude la possibilità che dei detriti possano raggiungere l'interruttore di interblocco e condizionarne il funzionamento. Esclusi gli interruttori con attuatore che non possono essere utilizzati in tale ambiente, rimangono quelli di posizione e di contatto. Per la semplicità dell'applicazione, si preferisce scegliere due interruttori di finecorsa, uno con funzionamento in modalità positiva e uno in negativa (cap. 3 par. 3.2.2.5).

A questo punto, applichiamo prima la procedura descritta dalla IEC 62061 e successivamente quella della ISO 13849-1 per determinare il livello di sicurezza dell'applicazione proposta e verificare che i componenti da noi scelti rispondano ai requisiti di sicurezza delle norme. Per una descrizione dei termini e dei calcoli utilizzati in seguito, si rimanda all'appendice A.

#### IEC 62061

Il procedimento parte con l'assegnazione di un livello di integrità di sicurezza (SIL) e l'identificazione della struttura dello SRECS (Sistema Elettrico di Controllo Relativo alla Sicurezza) per l'applicazione proposta. Vengono qui riportate le tabelle per il calcolo del SIL richiesto.

Frequenza <sup>1)</sup> dell'evento pericoloso		Probabilità che l'evento pericoloso si verifichi		Possibilità di evitare l'evento pericoloso	
<b>F</b>		<b>W</b>		<b>P</b>	
F ~ 1x per ora	5	Frequente	5		
1x per ora > F ~ 1x per giorno	5	Probabile	4		
1x per giorno > F ~ 1x in 2 settimane	4	Possibile	3	Impossibile	5
1x in 2 settimane > F ~ 1x per anno	3	Rara	2	Possibile	3
1x per anno > F	2	Trascurabile	1	Probabile	1

Figura c-2: F, W e P secondo IEC 62061. [9]

Tabella c-1: Valutazione del SIL. [9]

Effetti	Entità della ferita <b>S</b>	Classe <b>K = F + W + P</b>				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Esito mortale, perdita di occhio o braccio	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Permanente, perdita delle dita	3			SIL1	SIL2	SIL3
Reversibile, cure mediche	2				SIL1	SIL2
Reversibile, pronto soccorso	1					SIL1

Nel caso proposto, l'entità della ferita è permanente ( $S=3$ ), l'accesso viene effettuato più volte al giorno ( $F=5$ ), l'evento pericoloso è probabile ( $W=4$ ) e la possibilità di evitare il danno è possibile ( $P=3$ ). Di conseguenza  $K=5+4+3=12$ . Nella tabella precedente si individua il SIL richiesto, ovvero SIL2.

La struttura base dello SRECS è la seguente, costituita da tre sottosistemi: input, logica e output, ognuno dei quali deve raggiungere il SIL2 (Figura c-3).

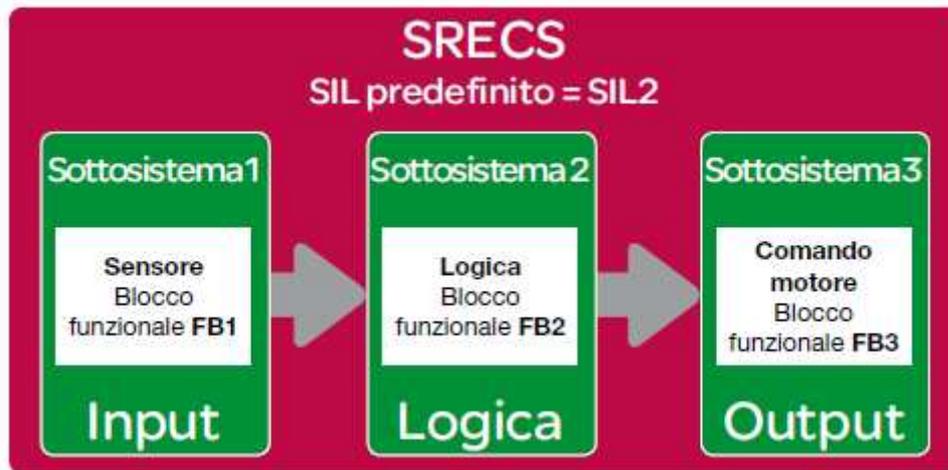


Figura c-3: SRECS e suoi sottosistemi.[8]

Come sensori si scelgono due interruttori di finecorsa, per la logica si sceglie un modulo di sicurezza, come attuatori che arrestino il movimento della macchina con l'apertura della protezione si scelgono due semplici contattori (Figura c-4-1 e c-4-2).



Figura c-4-1: SRECS e suoi componenti scelti.[8]

Componente	Numero di manovre (B10)	% guasti pericolosi	Durata
Finecorsa XCS	10.000.000	20%	10 anni
Moduli di sicurezza XPS AK	$PFH_D = 7.389 \times 10^{-9}$		
Contattore TeSys LC1	1 000 000	73%	20 anni

Figura c-4-2: SRECS e suoi componenti scelti.[8]

L'affidabilità dei dati è garantita dal costruttore. La durata del ciclo nel nostro esempio è di 450 secondi, il ciclo di azionamento C è di 8 manovre all'ora: la protezione verrà quindi aperta 8 volte all'ora.

Per quanto riguarda l'architettura dei sottosistemi (dal quale dipende il SIL da calcolare) si sceglie un'architettura D per i finecorsa e un'architettura B per i contattori. Si definiscono  $B_{10}$  il numero di cicli operativi dopo il quale il 10% dei componenti si sono guastati e  $B_{10D}$  lo stesso ma con guasti pericolosi, C il ciclo di azionamento (manovre all'ora),  $\lambda$  tasso di guasto,  $\lambda_D$  tasso di guasto pericoloso e  $\lambda_{DSS}$  tasso di guasto pericoloso di ciascun sottosistema,  $\beta$  fattore di causa comune, T1 intervallo di verifica periodica o tempo di vita (il minore dei due specificato dal costruttore), T2 intervallo di prove diagnostiche, DC copertura diagnostica. Si devono ricavare i PFHD dei tre sottosistemi SS1, SS2 e SS3 (per tutte le definizioni si veda l'appendice A) per poi poter calcolare il SIL del sistema.

- SS1 finecorsa:

$$\lambda = 0.1 \cdot C / B_{10} = 8 \cdot 10^{-8} \text{ guasti all'ora}$$

$$\lambda_D = \lambda \cdot \text{prob. guasti pericolosi} = \lambda \cdot 0.2 = 1.6 \cdot 10^{-8} \text{ guasti pericolosi all'ora}$$

$$DC = 99\% \text{ (alto in architettura D)}$$

$$\beta = 0.1 \text{ (caso peggiore del 10\%)}$$

$$B_{10D} = B_{10} / \text{prob. guasti pericolosi} = B_{10} / 0.2 = 50000000 \text{ cicli}$$

$$T1 = \min(B_{10D} / C, \text{tempo di vita}) = \min(6250000, 10 \cdot 365 \cdot 24) = 87600 \text{ ore}$$

$$T2 = 8 \text{ volte all'ora (ad ogni manovra)} = 0.125 \text{ ore}$$

La formula per architettura D è:

$$\lambda_{DSSD} = (1-\beta)^2 \cdot \{ [\lambda_{DE}^2 \cdot 2 \cdot DC] \cdot T_2 / 2 + [\lambda_{DE}^2 \cdot (1-DC)] \cdot T_1 \} + \beta \cdot \lambda_{DE}$$

$$PFH_{DSSD} = \lambda_{DSSD} \cdot 1h$$

Inserendo i dati otteniamo:

$$\lambda_{DSSD} = 1.63 \cdot 10^{-9} \text{ guasti pericolosi all'ora}$$

$$PFH_{DSS1} = \lambda_{DSSD} \cdot 1 \text{ ora} = 1,63 \cdot 10^{-9} \text{ guasti in un'ora.}$$

- SS2 modulo sicurezza:  
Il PFHd è già fornito dal costruttore.  
 $PFHd_{SS2} = 7,389 \cdot 10^{-9}$  guasti in un'ora.
- SS3 contattori:  
 $\lambda = 0.1 \cdot C / B_{10} = 8 \cdot 10^{-7}$  guasti all'ora  
 $\lambda_D = \lambda \cdot \text{prob. guasti pericolosi} = \lambda \cdot 0.73 = 5,84 \cdot 10^{-7}$  guasti pericolosi all'ora  
DC= 0% (architettura B)  
 $\beta = 0.1$  (caso peggiore del 10%)  
 $B_{10D} = B_{10} / \text{prob. guasti pericolosi} = B_{10} / 0.73 = 1369863$  cicli  
 $T_1 = \min(B_{10D} / C, \text{tempo di vita}) = \min(171232, 20 \cdot 365 \cdot 24) = 171232$  ore  
T2= no (architettura B)

La formula per architettura B è:

$$\lambda_{DSSB} = (1 - \beta)^2 \cdot \lambda_{DE1} \cdot \lambda_{DE2} \cdot T_1 + \beta \cdot (\lambda_{DE1} + \lambda_{DE2}) / 2$$

$$PFH_{DSSB} = \lambda_{DSSB} \cdot 1h$$

Inserendo i dati otteniamo:

$$\lambda_{DSSB} = 1.06 \cdot 10^{-7} \text{ guasti pericolosi all'ora}$$

$$PFH_{SS3} = \lambda_{DSSB} \cdot 1 \text{ora} = 1.06 \cdot 10^{-7} \text{ guasti in un'ora.}$$

Calcolando il PFHd totale si ottiene:

$PFHd = PFH_{SS1} + PFH_{SS2} + PFH_{SS3} = 1,15 \cdot 10^{-7}$  che come indicato nella tabella sottostante corrisponde a SIL2.

Tabella c-2: SIL e PFHd. [8]

Livello di integrità della sicurezza (SIL)	Probabilità di guasto pericoloso per ora $PFH_D$
3	da $>10^{-8}$ a $<10^{-7}$
2	da $>10^{-7}$ a $<10^{-6}$
1	da $>10^{-6}$ a $<10^{-5}$

Si può vedere facilmente che il sistema nella sua totalità potrebbe arrivare a SIL3 scegliendo dei contattori più affidabili. Tuttavia nel caso proposto questo intervento non è necessario.

Il procedimento parte con l'assegnazione di un PL richiesto. E' riportato qui sotto il diagramma utilizzato.

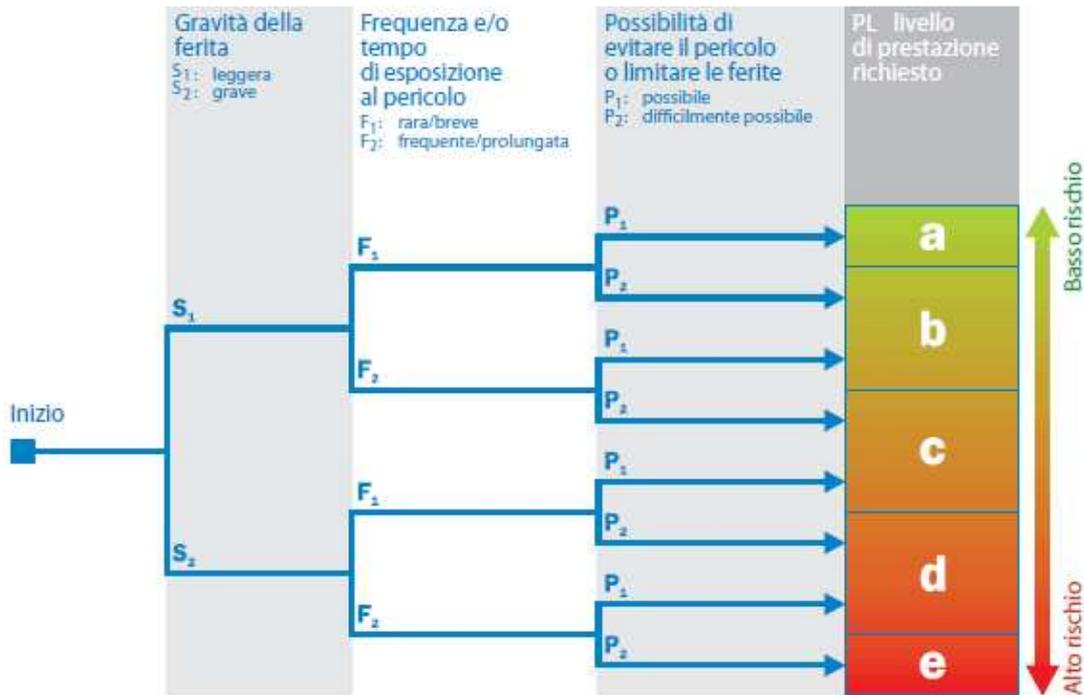


Figura c-5: Calcolo del PL secondo ISO 13849-1.[9]

Nel caso proposto, l'entità della ferita è grave (S=2) il tempo di esposizione è prolungato (F=2) e la possibilità di evitare il danno è possibile in alcune circostanze (P=1). Nel diagramma precedente si individua il PL richiesto, ovvero PLd (corrispondente al SIL2 della IEC 62061).

Si prendano in considerazione gli stessi dispositivi scelti per la IEC 62061 con le stesse architetture (Figura c-6).

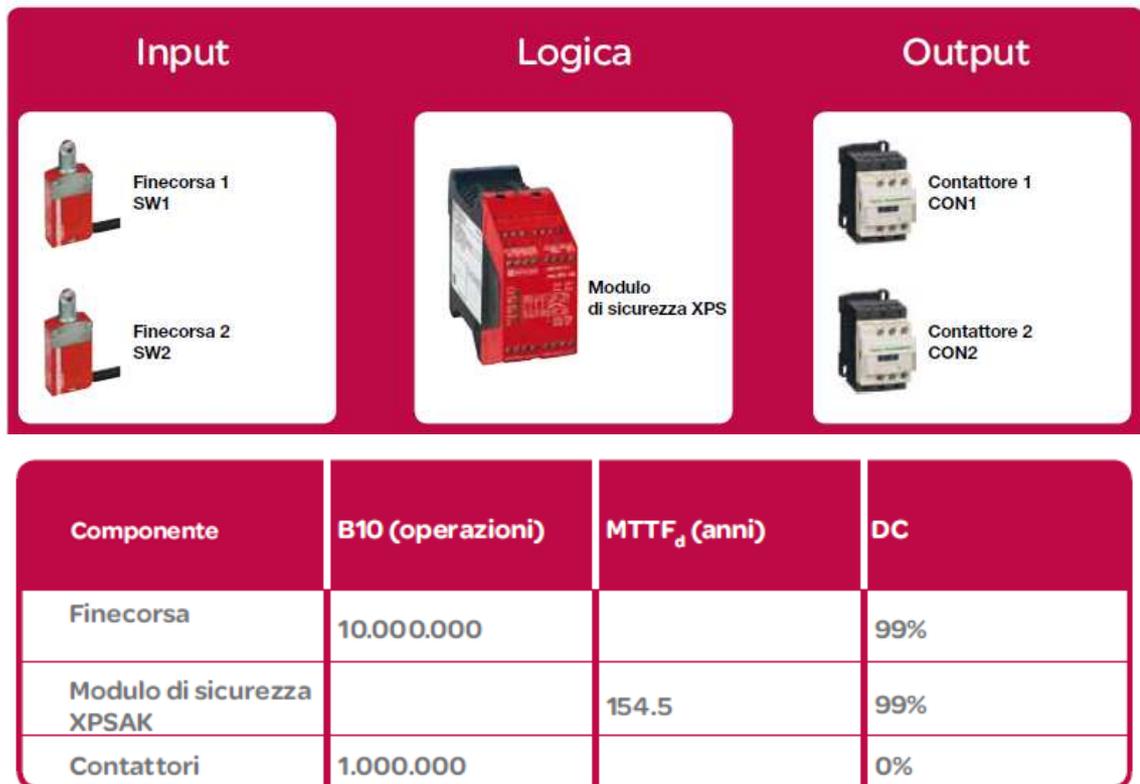


Figura c-6: Componenti scelti per ISO 13849-1.[8]

Dal momento che il costruttore non può conoscere i dettagli dell'applicazione e in modo specifico il ciclo di azionamento (numero di operazioni) dei dispositivi elettromeccanici, potrà fornire solo il valore B10 o B10d . Questo spiega il motivo per cui nessun costruttore è in grado di indicare un tempo medio prima di un guasto pericoloso (MTTFd) per un dispositivo elettromeccanico. Il MTTFd dei componenti può essere ricavato con la formula:

$$MTTFd = B_{10D} / (0.1 * n_{op})$$

Dove  $n_{op}$  rappresenta il numero medio di operazioni l'anno,  $B_{10}$  è il numero di cicli operativi dopo il quale il 10% dei componenti di sono guastati e  $B_{10D}$  lo stesso ma con guasti pericolosi. La percentuale di guasto di un finecorsa (vedi paragrafo IEC 62061) è del 20%, quindi:

$$B_{10D} = B_{10} / \text{prob. guasti pericolosi} = B_{10} / 0.2 = 50000000 \text{ cicli}$$

Ammettendo che la macchina sia utilizzata per 8 ore al giorno, 220 giorni all'anno, con un tempo di ciclo di 120 secondi:

$$n_{op} = 8 * 220 * 30 = 52800 \text{ operazioni/anno.}$$

Quindi per i finecorsa:

$$MTTFd = 50000000 / (0.1 * 52800) = 9469 \text{ anni}$$

Il MTTFd del modulo di sicurezza ci è fornito dal costruttore:

$$MTTFd = 154.5 \text{ anni}$$

Per i contattori, con una percentuale di guasto del 73%:

$$B_{10D} = B_{10} / \text{prob. guasti pericolosi} = B_{10} / 0.73 = 1369863 \text{ cicli}$$

$$n_{op} = 8 \cdot 220 \cdot 30 = 52800 \text{ operazioni/anno.}$$

$$MTTF_d = 1369863 / (0.1 \cdot 52800) = 259 \text{ anni}$$

Il MTTFd totale può essere calcolato nel seguente modo:

$$1/MTTF_d = 1/9469 + 1/154.5 + 1/259 = 1/95.85$$

$$MTTF_d = 95.85 \text{ anni}$$

Un tale MTTFd secondo la norma è considerato "alto".

Supponendo soddisfatti i requisiti minimi per guasti di cause comuni, con una DC complessiva bassa (i contattori hanno DC=0%), con un sistema complessivo di categoria 3 (vedi appendice) e con un MTTFd totale alto, possiamo ricavare il PL del sistema dalla tabella sottostante.

Tabella c-3: Valutazione del PL. [1]

CATEGORIA DI SICUREZZA	B	1	2		3		4
	DC NULLO	DC NULLO	DC BASSO	DC MEDIO	DC BASSO	DC MEDIO	DC ALTO
MTTF <sub>d</sub> basso	PL <sub>a</sub>	-	PL <sub>a</sub>	PL <sub>b</sub>	PL <sub>b</sub>	PL <sub>c</sub>	-
MTTF <sub>d</sub> medio	PL <sub>b</sub>	-	PL <sub>b</sub>	PL <sub>c</sub>	PL <sub>c</sub>	PL <sub>d</sub>	-
MTTF <sub>d</sub> alto	-	PL <sub>c</sub>	PL <sub>c</sub>	PL <sub>d</sub>	PL <sub>d</sub>	PL <sub>d</sub>	PL <sub>e</sub>

- non previsto.

Il PL del sistema è quindi PL<sub>d</sub>, il quale soddisfa il PL richiesto.

Come per l'esempio pratico di applicazione della norma IEC 62061, il passaggio dall'architettura 3 all'architettura 4 dipende soltanto dai contattori. Scegliendone di più affidabili, con una copertura diagnostica alta, il sistema complessivo potrebbe arrivare a PL<sub>e</sub>.

## La sicurezza prima di tutto

La scelta dei dispositivi di protezione è fondamentale per assicurare sul luogo di lavoro la sicurezza di persone e macchine richiesta dalle normative vigenti. Con il testo presente si sono illustrati caratteristiche, utilizzi e metodi di scelta dei dispositivi di sicurezza più usati. Per una descrizione dei ripari fisici (non presenti nel testo) si rimanda ai testi specifici forniti in bibliografia. La loro illustrazione esulava dallo scopo primario di questo testo, in quanto non sono definiti dispositivi di sicurezza (vedasi Introduzione o Direttiva Macchine). Questi temi si aprono a ulteriori sviluppi futuri, come la trattazione delle reti ethernet/fieldbus di sicurezza, sempre più importanti nelle aziende odierne, o la descrizione di sistemi di miglioramento dell'ergonomia sul luogo del lavoro, come i tappeti antiscivolo-antifatica.



# APPENDICE

## A. Sicurezza funzionale

La Sicurezza Funzionale viene definita come “parte della sicurezza della macchina e del suo sistema di controllo che dipende dal funzionamento corretto dello SRECS (Sistema Elettrico di Controllo Relativo alla Sicurezza), di altri sistemi con tecnologia relativa alla sicurezza e ad impianti esterni per la riduzione del rischio”.

Negli ultimi anni sono state pubblicate numerose norme che utilizzano il concetto di sicurezza funzionale. Tra queste ricordiamo le norme IEC 61508, IEC 62061, IEC 61511, ISO 13849-1 e la IEC 61800-5-2, tutte entrate in vigore in Europa e pubblicate come norme EN.

Le norme IEC 62061 e ISO 13849-1<sup>11</sup> in particolare permettono una valutazione precisa delle prestazioni di ogni singola funzione e degli elementi di rischio, anche se in modo diverso; esse sostituiscono la vecchia norma EN 954-1 in materia di sicurezza funzionale.

In base alla norma IEC 62061 si determina il Livello di Integrità della Sicurezza (SIL) mentre sulla base della ISO 13849-1 si calcola il Performance Level (PL).

[8],[9]

### A.1. PL secondo la ISO 13849-1

Questa norma utilizza un diagramma dei rischi per stabilire il necessario livello di sicurezza. I parametri S (gravità della ferita), F (frequenza/tempo di esposizione) e P (possibilità di evitare il pericolo) vengono utilizzati per stabilire l'entità del rischio; il risultato della procedura è il “PL richiesto”, da PLa a PLe (PLa rischio minimo, PLe rischio massimo). Il diagramma è illustrato in Figura a-1.

<sup>11</sup> IEC 62061: Sicurezza del macchinario – Sicurezza funzionale elettrica, elettronica ed elettronica programmabile;  
UNI EN ISO 13849-1: Sicurezza del macchinario – Parti dei sistemi di comando legate alla sicurezza – Principi generali per la progettazione.

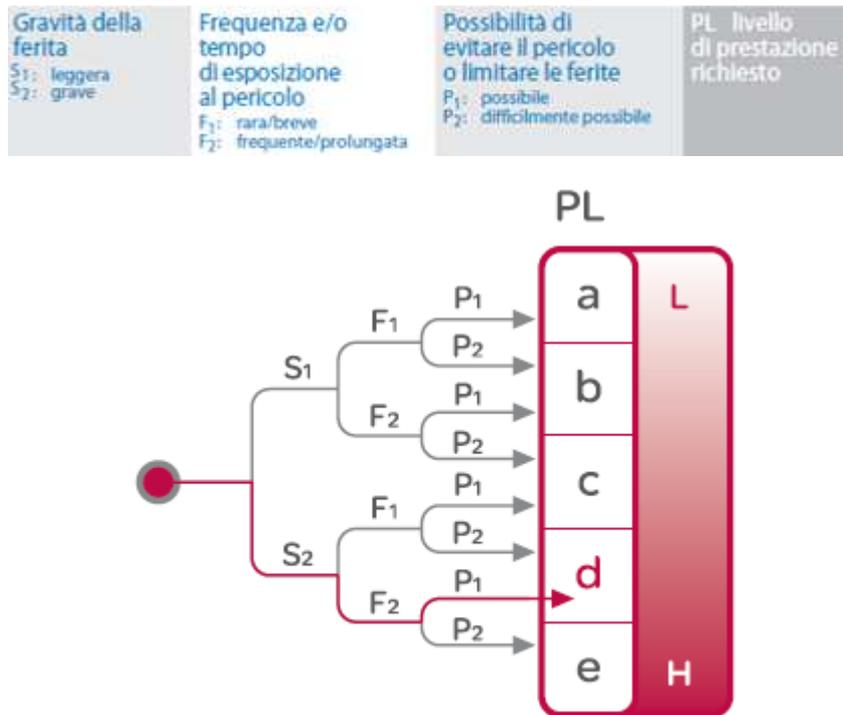


Figura a-1: Calcolo del PL secondo ISO 13849-1.[8]

Per determinare il PL del circuito di comando di cui si sta realizzando il progetto, si valutano i valori del tempo medio al guasto pericoloso, della copertura diagnostica, della resistenza ai guasti e della categoria di sicurezza del sistema.

Il tempo medio al guasto pericoloso (MTTFd: Mean Time To dangerous Failure) rappresenta il tempo medio di funzionamento di un componente o di un circuito di comando dall'istante in cui questo ha cominciato (o ripreso) a funzionare fino al guasto successivo. MTTFd è:

- Basso, se compreso tra 3 e 10 anni;
- Medio, se compreso tra 10 e 30 anni;
- Alto, se compreso tra 30 e 100 anni.

La copertura diagnostica (DC: Diagnostic Coverage) è definita come il rapporto tra il tasso di guasto pericoloso degli elementi monitorati e il tasso di guasto pericoloso di tutti gli elementi del circuito di sicurezza. Il livello di DC è:

- Nullo, se inferiore al 60%;
- Basso, se compreso tra 60% e 90% (escluso);
- Medio, se compreso tra 90% e 99% (escluso);
- Alto, se uguale o maggiore di 99%.

Le categorie di sicurezza del circuito di comando sono definite nella norma come:

- B: circuito realizzato in accordo con le relative norme;
- 1: circuito realizzato secondo la norma B e con componenti ben collaudati;

- 2: come categoria 1 ma sotto la supervisione di un sistema di controllo della macchina;
- 3: come categoria 2 ma realizzato in modo che un singolo guasto non provochi la perdita della funzione di sicurezza;
- 4: come categoria 3 ma con singolo guasto rilevato e accumulo di guasti che non porta alla perdita della funzione di sicurezza.

La resistenza ai guasti comuni è la capacità del sistema ad impedire che effetti esterni (ad esempio livello di tensione o sovratemperatura) possano improvvisamente rendere inutilizzabili i componenti dello stesso, indipendentemente dalla frequenza con cui si guastano o dalla qualità dei collaudi. La norma ISO 13849-1 verifica una serie di valutazioni e richiede un numero minimo di implementazioni positive (Figura a-2).

Requisito		Requisito Minimo	Requisito minimo  <b>Requisito minimo ≥ 65</b>
<b>Separazione</b>	Separazione dei circuiti di segnale, disposizione separata, isolamento, percorso aria, ecc.	15	
<b>Diversità</b>	Diverse tecnologie, componenti, principi di funzionamento, struttura	20	
<b>Struttura, applicazione, esperienza</b>	Protezione da sovraccarico, sovratensione, sovrappressione, ecc. (in base alla tecnologia)	15	
	Uso di componenti e procedure provate su un lungo periodo	5	
<b>Analisi, valutazione</b>	Uso dell'analisi dei guasti per prevenire i guasti per cause comuni	5	
<b>Competenza formazione</b>	Formazione dei progettisti per comprendere e prevenire le cause e le conseguenze di CCF	5	
<b>Effetti ambientali</b>	Verificare la sensibilità del sistema a EMC	25	
	Verificare la sensibilità del sistema a temperatura, scosse, vibrazioni, ecc.	10	

Figura a-2: Resistenza ai guasti per cause comuni. [9]

Altri parametri importanti sono  $\lambda$  (probabilità media di guasto pericoloso all'ora) e  $B_{10}$  (numero di cicli di manovra prima che il 10% dei componenti si sia guastato).

Nella Figura a-3 i PL sono messi in relazione con  $\lambda$ .

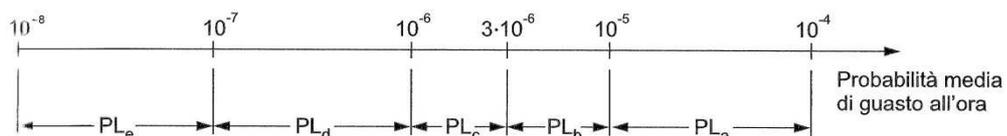


Figura a-3: PL e  $\lambda$ . [1]

Ottenuti i singoli parametri si procede con la valutazione del PL con la seguente tabella.

Tabella a-1: Valutazione del PL. [1]

CATEGORIA DI SICUREZZA	B	1	2		3		4
	DC NULLO	DC NULLO	DC BASSO	DC MEDIO	DC BASSO	DC MEDIO	DC ALTO
MTTF <sub>d</sub> basso	PL <sub>a</sub>	-	PL <sub>a</sub>	PL <sub>b</sub>	PL <sub>b</sub>	PL <sub>c</sub>	-
MTTF <sub>d</sub> medio	PL <sub>b</sub>	-	PL <sub>b</sub>	PL <sub>c</sub>	PL <sub>c</sub>	PL <sub>d</sub>	-
MTTF <sub>d</sub> alto	-	PL <sub>c</sub>	PL <sub>c</sub>	PL <sub>d</sub>	PL <sub>d</sub>	PL <sub>d</sub>	PL <sub>e</sub>

- non previsto.

Il PL del circuito deve essere uguale o superiore al PL richiesto dall'analisi del rischio.

#### A.2. SIL secondo la IEC 62061

La procedura utilizzata in questo caso è di tipo numerico. Vengono valutate l'entità della lesione (S), la frequenza di accesso all'area pericolosa (F), la probabilità che l'evento pericoloso si verifichi (W) e la possibilità di evitare il pericolo (P) (Figura a-4).

Frequenza <sup>1)</sup> dell'evento pericoloso <b>F</b>		Probabilità che l'evento pericoloso si verifichi <b>W</b>		Possibilità di evitare l'evento pericoloso <b>P</b>	
F ~ 1x per ora	5	Frequente	5		
1x per ora > F ~ 1x per giorno	5	Probabile	4		
1x per giorno > F ~ 1x in 2 settimane	4	Possibile	3	Impossibile	5
1x in 2 settimane > F ~ 1x per anno	3	Rara	2	Possibile	3
1x per anno > F	2	Trascurabile	1	Probabile	1

Figura a-4: F, W e P secondo IEC 62061.[ 9]

Il SIL (da SIL1 a SIL3) richiesto viene determinato come segue:

- Si definiscono F, W, P e S;
- Si calcola la "Classe K" corrispondente alla somma di F+W+P;
- Si determina il SIL con la tabella seguente.

Tabella a-2: Valutazione del SIL. [9]

Effetti	Entità della ferita S	Classe K = F + W + P				
		3-4	5-7	8-10	11-13	14-15
Esito mortale, perdita di occhio o braccio	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Permanente, perdita delle dita	3			SIL1	SIL2	SIL3
Reversibile, cure mediche	2				SIL1	SIL2
Reversibile, pronto soccorso	1					SIL1

Determinato il SIL richiesto dall'applicazione, si procede con la valutazione del sistema. I parametri da considerare sono: la probabilità di guasto pericoloso all'ora PFHd (Probability of dangerous Failure per Hour), il fattore cause comuni  $\beta$ , cause comuni che similmente alla ISO 13849-1 hanno una tabella di valutazione (Figura a-5 e Tabella a-3),  $\lambda$  (probabilità media di guasto pericoloso all'ora) e  $B_{10}$  (numero di cicli di manovra prima che il 10% dei componenti si sia guastato).

Requisito		Requisito Minimo	Requisito minimo  <b>Requisito minimo <math>\geq 65</math></b>
<b>Separazione</b>	Separazione dei circuiti di segnale, disposizione separata, isolamento, percorso aria, ecc.	<b>15</b>	
<b>Diversità</b>	Diverse tecnologie, componenti, principi di funzionamento, struttura	<b>20</b>	
<b>Struttura, applicazione, esperienza</b>	Protezione da sovraccarico, sovratensione, sovrappressione, ecc. (in base alla tecnologia)	<b>15</b>	
	Uso di componenti e procedure provate su un lungo periodo	<b>5</b>	
<b>Analisi, valutazione</b>	Uso dell'analisi dei guasti per prevenire i guasti per cause comuni	<b>5</b>	
<b>Competenza formazione</b>	Formazione dei progettisti per comprendere e prevenire le cause e le conseguenze di CCF	<b>5</b>	
<b>Effetti ambientali</b>	Verificare la sensibilità del sistema a EMC	<b>25</b>	
	Verificare la sensibilità del sistema a temperatura, scosse, vibrazioni, ecc.	<b>10</b>	

Figura a-5: Resistenza ai guasti per cause comuni. [9]

Tabella a-3: Valutazione  $\beta$ . [9]

Valore	Fattore CCF ( $\beta$ )
< 35	10%
35 a < 65	5%
65 a < 85	2%
$\geq 85$	1%

PFHd è ricavabile da  $\lambda$  e da  $\beta$  con una formula che varia in base all'architettura del sottosistema utilizzato. Tali architetture sono:

- Architettura A: zero tolleranza al guasto senza funzione diagnostica.  
Con  $\lambda_{DE}$  tasso di guasto pericoloso e  $\lambda_{DSSA}$  tasso di guasto dell'intero sottosistema:

$$\lambda_{DSSA} = \lambda_{DE1} + \dots + \lambda_{DEn}$$

$$PFH_{DSSA} = \lambda_{DSSA} * 1h$$

- Architettura B: singola tolleranza al guasto senza funzione diagnostica.  
Con  $T_1$  intervallo di verifica periodica o tempo di vita (il minore dei due) e  $\beta$  fattore di causa comune:

$$\lambda_{DSSB} = (1 - \beta)^2 * \lambda_{DE1} * \lambda_{DE2} * T_1 + \beta * (\lambda_{DE1} + \lambda_{DE2})/2$$

$$PFH_{DSSB} = \lambda_{DSSB} * 1h$$

- Architettura C: zero tolleranza al guasto con funzione diagnostica.  
Con DC copertura diagnostica:

$$\lambda_{DSSC} = \lambda_{DE1} * (1 - DC_1) + \dots + \lambda_{DEn} * (1 - DC_n)$$

$$PFH_{DSSC} = \lambda_{DSSC} * 1h$$

- Architettura D: singola tolleranza al guasto con funzione diagnostica.  
Con gli elementi del sottosistema di progettazione diversa:

$$\lambda_{DSSD} = (1-\beta)^2 * \{[\lambda_{DE1} * \lambda_{DE2} * (DC_1 + DC_2)] * T_2/2 + [\lambda_{DE1} * \lambda_{DE2} * (2 - DC_1 - DC_2)] * T_1/2\} + \beta * (\lambda_{DE1} + \lambda_{DE2})/2$$

$$PFH_{DSSD} = \lambda_{DSSD} * 1h$$

Con gli elementi del sottosistema di progettazione identica:

$$\lambda_{DSSD} = (1-\beta)^2 * \{[\lambda_{DE}^2 * 2 * DC] * T_2/2 + [\lambda_{DE}^2 * (1-DC)] * T_1\} + \beta * \lambda_{DE}$$

$$PFH_{DSSD} = \lambda_{DSSD} * 1h$$

Dal PFHd calcolato si può ricavare il SIL del sistema di sicurezza con la tabella seguente: il SIL del circuito dovrà essere maggiore o uguale a quello richiesto.

Tabella a-4: SIL e PFHd. [8]

Livello di integrità della sicurezza (SIL)	Probabilità di guasto pericoloso per ora PFH <sub>o</sub>
3	da $>10^{-8}$ a $<10^{-7}$
2	da $>10^{-7}$ a $<10^{-6}$
1	da $>10^{-6}$ a $<10^{-5}$

### A.3. Quale norma utilizzare?

A meno che una norma di tipo C specifichi un livello SIL o PL richiesto, il progettista è libero di utilizzare indifferentemente le specifiche della norma EN/IEC 62061 o della norma EN/ISO 13849-1, o anche di altre normative. Sia la norma EN/IEC 62061 che la EN/ISO 13849-1 sono norme armonizzate che assicurano un'automatica presunzione di conformità ai requisiti Essenziali della Direttiva Macchine. Tuttavia occorre ricordare che qualsiasi norma venga scelta questa dovrà essere utilizzata integralmente e che non è possibile mischiare i requisiti di più norme in un unico sistema.

Nella Tabella a-5 sono confrontati SIL con PL.

Tabella a-5: Confronto SIL/PL. [1]

PL (EN ISO 13849-1)	SIL (EN 62061)
PL <sub>a</sub>	Nessuna corrispondenza
PL <sub>b</sub>	1
PL <sub>c</sub>	1
PL <sub>d</sub>	2
PL <sub>e</sub>	3

## **B. Relè e PLC di sicurezza**

I dispositivi logici svolgono un ruolo centrale nella sicurezza del macchinario; essi eseguono il controllo ed il monitoraggio del sistema di sicurezza e permettono l'avviamento della macchina oppure eseguono i comandi per arrestarla. Per creare una architettura di sicurezza che risponda alla complessità ed alle funzionalità richieste dalla macchina, è disponibile una intera gamma di dispositivi logici. I piccoli relè di monitoraggio di sicurezza cablati sono i più economici, particolarmente adatti a macchine piccole in cui, per completare la funzione di sicurezza, è necessario un dispositivo logico dedicato. Dove serve un gran numero di diversi dispositivi di protezione ed un minimo controllo di zona, sono preferibili relè di monitoraggio di sicurezza modulari e configurabili. Per le macchine più complesse, di medie e grandi dimensioni, saranno invece più adeguati i sistemi programmabili come i PLC di sicurezza.

### **B.1. Relè di monitoraggio di sicurezza**

I moduli relè di monitoraggio di sicurezza (MSR) svolgono un ruolo chiave in molti sistemi di sicurezza. Generalmente sono costituiti da due o più relè a guida positiva, con una circuiteria aggiuntiva che assicura le prestazioni della funzione di sicurezza. I relè a guida positiva sono relè specializzati e devono rispondere ai requisiti prestazionali di EN50025. Fondamentalmente, sono progettati per impedire che i contatti normalmente chiusi e quelli normalmente aperti si chiudano simultaneamente. Nelle versioni più recenti, le uscite elettromeccaniche sono sostituite da uscite a stato solido di sicurezza.

I relè di monitoraggio di sicurezza effettuano diversi controlli sul sistema di sicurezza. All'accensione, eseguono la diagnostica dei propri componenti interni. Quando i dispositivi di ingresso sono attivati, il relè MSR confronta i risultati degli ingressi ridondanti. Se risultano accettabili, passa a controllare gli attuatori esterni. Se anche questi sono a posto, il relè MSR attende un segnale di reset per eccitare le sue uscite. La selezione dell'adeguato relè di sicurezza dipende da una serie di fattori: tipo di dispositivo da monitorare, tipo di reset e numero e tipo di uscite. Per quanto riguarda il tipo di dispositivo, si rimanda ai paragrafi inerenti al controllo dei dispositivi di sicurezza, nei quali sono evidenziate le caratteristiche che i sistemi di controllo devono avere per assicurare un funzionamento ottimale all'intero sistema: ogni dispositivo

deve avere un sistema di controllo che possa convertire i suoi segnali in funzioni di sicurezza. Per quanto riguarda i concetti di reset e uscite, si rimanda ai testi specifici elencati in bibliografia, in particolare [2].

## B.2. PLC di sicurezza

Il bisogno di applicazioni di sicurezza flessibili e scalabili ha portato allo sviluppo di PLC/controlleri di sicurezza. I controlleri di sicurezza programmabili forniscono agli utenti, in una applicazione di sicurezza, lo stesso livello di flessibilità del controllo a cui sono abituati con i controlleri programmabili standard. Tuttavia, ci sono molte differenze tra i PLC standard e quelli di sicurezza. I PLC di sicurezza sono disponibili in varie piattaforme per fornire i requisiti di scalabilità, funzionalità e di integrazione dei più complessi sistemi di sicurezza.

Ridondanza di CPU, memoria, circuiti I/O e diagnostica interna sono miglioramenti di cui i PLC di sicurezza sono dotati e che non sono richiesti in un PLC standard. Un PLC di sicurezza impiega molto più tempo per eseguire la diagnostica interna su memoria, comunicazioni e I/O. Queste operazioni aggiuntive sono necessarie per ottenere la richiesta certificazione di sicurezza. Queste funzioni aggiuntive di ridondanza e diagnostica vengono utilizzate dal sistema operativo del controllore, rendendolo trasparente al programmatore in modo che il programma dei PLC di sicurezza sia molto simile a quello dei PLC standard.

Tutte le funzioni aggiuntive di diagnostica e di controllo degli errori vengono eseguite dal sistema operativo. La maggior parte dei PLC di sicurezza prevede istruzioni speciali per la scrittura del programma per il sistema di sicurezza e queste istruzioni tendono a simulare la funzione dei relè di sicurezza.

Per una descrizione dettagliata dell'architettura hardware e software, si rimanda ai testi specifici elencati in bibliografia, in particolare [2].



# BIBLIOGRAFIA

- [1] TuttoNormel, *Equipaggiamento elettrico delle macchine*, Edizioni TNE, 2011.
- [2] Allen-Bradley Rockwell Automation,  
([www.ab.com/it/epub/catalogs/3377539/5866177/](http://www.ab.com/it/epub/catalogs/3377539/5866177/)), consultazione: maggio 2014.
- [3] Gruppo Sicura, *Catalogo protezioni macchine*, ([www.grupposicura.it](http://www.grupposicura.it)),  
consultazione: maggio 2014.
- [4] ReeR, ([www.reer.it/ita/safety](http://www.reer.it/ita/safety)), consultazione: maggio 2014.
- [5] Schneider Electric, *Dossier sicurezza macchine (1-2-3): "Le protezioni e i dispositivi di controllo"*, ([www2.schneiderelectric.it/www/internet/internet.nsf/pagine/COM85](http://www2.schneiderelectric.it/www/internet/internet.nsf/pagine/COM85)),  
consultazione: maggio 2014.
- [6] Schneider Electric, *Dossier sicurezza macchine (4): "Sistemi di comando a due mani. Requisiti generali e tipologie"*  
([www2.schneiderelectric.it/www/internet/internet.nsf/pagine/COM85](http://www2.schneiderelectric.it/www/internet/internet.nsf/pagine/COM85)), consultazione:  
maggio 2014.
- [7] Schneider Electric, *Dossier sicurezza macchine (5): "Sistemi di comando a due mani. Criteri di scelta. Precauzioni di montaggio"*  
([www2.schneiderelectric.it/www/internet/internet.nsf/pagine/COM85](http://www2.schneiderelectric.it/www/internet/internet.nsf/pagine/COM85)), consultazione:  
maggio 2014.
- [8] Schneider Electric, *Guida applicativa sicurezza macchine*, ([www.schneider-electric.it/sites/italy/it/solutions/oem/sicurezza-macchine/guida-sicurezza.page](http://www.schneider-electric.it/sites/italy/it/solutions/oem/sicurezza-macchine/guida-sicurezza.page)),  
consultazione: maggio 2014.
- [9] Sick, *Linee guida per la sicurezza dei macchinari*,  
([www.mysick.com/saggara/safetyguideprotetto.pdf](http://www.mysick.com/saggara/safetyguideprotetto.pdf)), consultazione: maggio 2014.