



## Il quadro bordo macchina

Una macchina automatica è composta da una parte meccanica e da un cablaggio elettrico di sensori e attuatori che fa capo ad un insieme di quadri (fig. 1), detti appunto di bordo macchina.

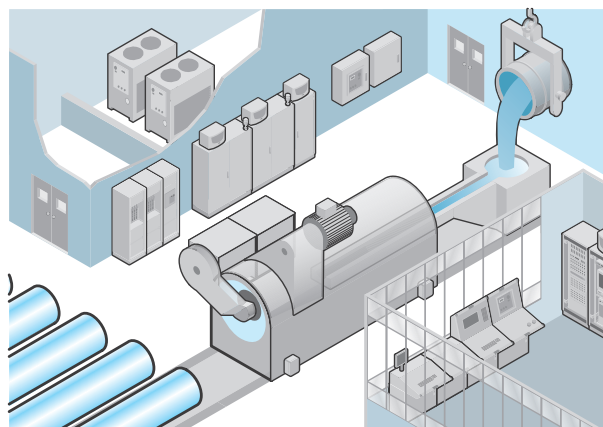


Fig. 1. Quadri bordo macchina (ANIE).

Il quadro è normalmente realizzato in materiale metallico, con forma ad armadio a pavimento (fig. 2), cassa o consolle di comando ed è installato in prossimità della macchina; talvolta però, per ottimizzare gli ingombri, viene realizzato con una forma adeguata ad essere incassato in spazi liberi nel telaio stesso della macchina (bordo macchina).

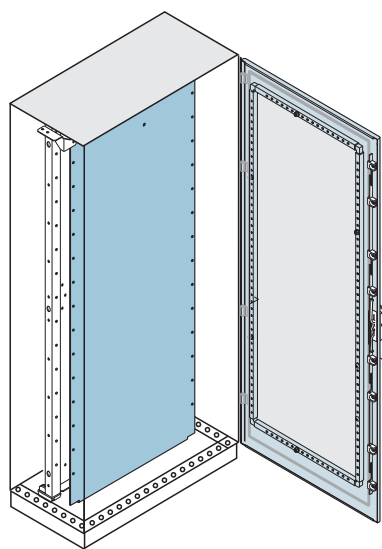


Fig. 2. Quadro ad armadio con porta frontale.

Il grado di protezione fornito dall'involucro del quadro sia contro l'impatto meccanico (grado IK, CEI EN

50102), sia contro i contatti con parti in tensione e l'ingresso di corpi solidi o liquidi (grado IP, CEI EN 60529), deve risultare adeguato all'ambiente in cui la macchina andrà ad operare (polvere, liquidi refrigeranti, trucioli, danni meccanici, ecc.).

Sulla portella del quadro sono presenti gli organi di comando (selettori, pulsanti), di segnalazione (lampade spia) e di controllo (strumenti di misura), utilizzati dall'operatore durante il funzionamento normale della macchina.

Poiché il quadro è una parte della macchina, non necessita di una propria marcatura CE separata.

### Dispositivo di sezionamento

Il quadro contiene un dispositivo di sezionamento generale, necessario per poter operare in sicurezza sulle parti elettriche della macchina, che separa l'alimentazione elettrica della macchina dall'impianto elettrico di distribuzione dell'energia (fig. 3).

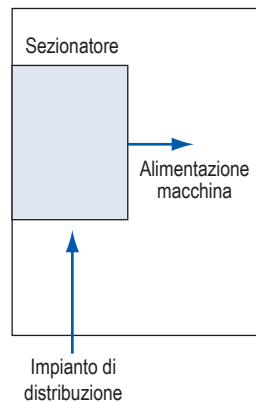


Fig. 3. Sezionamento generale.

Il dispositivo di sezionamento, oltre a fornire la separazione galvanica tra i due circuiti, garantendo una distanza adeguata tra i contatti aperti (EN 60947-3), deve possedere anche le caratteristiche di un interruttore sotto carico, poiché deve essere in grado di interrompere con una sola manovra tutti i conduttori per una corrente pari alla corrente a rotore bloccato del motore di maggiore potenza, sommata alla corrente nominale degli altri motori e apparecchi presenti sulla macchina. Deve essere inoltre dotato di un attuatore manuale (per esempio una maniglia o un circuito di comando a distanza) bloccabile nella posizione di aperto (non richiudibile da distanza) e ben segnalato.

Dispositivi adatti per il sezionamento generale della

macchina possono quindi essere un interruttore di manovra-sezionatore (sezionatore sotto carico, **fig. 4**), un interruttore automatico adatto al sezionamento, un sezionatore interbloccato con un dispositivo di manovra sotto carico (in modo che possa aprire solo a circuito aperto), una presa a spina interbloccata con un dispositivo di manovra con potere di interruzione adeguato, o semplicemente una presa a spina con adeguato potere di interruzione (per le macchine di bassa potenza alimentate tramite cavo flessibile, quale per esempio una betoniera).

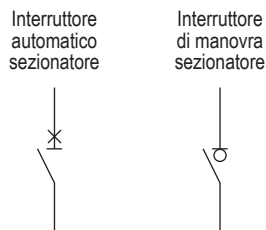


Fig. 4. Simboli grafici.

Utilizzando prese a spina con potere di interruzione inadeguato non c'è pericolo per le persone, ma l'arco elettrico può produrre punti di fusione sugli elementi di contatto (spinotti e alveoli), la cui consistenza dipende dal valore della corrente interrotta e dalla velocità di apertura della spina stessa.

#### ESEMPIO 1

Dimensionare la presa a spina adeguata a sezionare una macchina contenente un motore trifase da 1,5 kW, 400 V,  $\eta = 0,84$ ,  $\cos \varphi = 0,85$  e altri carichi per complessivi 2 A.

#### SOLUZIONE

Corrente nominale del motore:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1500}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,85 \cdot 0,84} = 3 \text{ A}$$

La corrente a rotore bloccato si può sopportare  $6 \cdot 3 = 18$  A e sommando la corrente dei carichi rimanenti si hanno in totale  $18 + 2 = 20$  A.

Una presa a spina conforme alle relative norme ad uso domestico o similare o ad uso industriale ha un potere di interruzione pari a 1,25 volte la sua corrente nominale.

Si può quindi utilizzare come dispositivo di sezionamento generale una presa a spina da 16 A, la quale ha un potere di interruzione  $1,25 \cdot 16 \text{ A} = 20 \text{ A}$ .

Per prese a spina di corrente uguale o superiore a 30 A è comunque richiesto l'interblocco con un dispositivo

di manovra, mentre gli interruttori per impianti domestici e similari con corrente nominale fino a 125 A sono considerati adatti al sezionamento.

Sono esclusi dal sezionamento generale della macchina i circuiti che servono per la manutenzione, o che devono restare in tensione per la funzione svolta, quali le prese di alimentazione degli strumenti necessari per la manutenzione, l'illuminazione interna, il circuito di pre-riscaldamento e il controllo della temperatura interna, il circuito di comando e controllo dell'interblocco, ecc.

La presenza di circuiti non sezionati va segnalata con targhette di avvertimento (**fig. 5**), e richiamata sul manuale d'uso e di manutenzione; la loro localizzazione deve risultare facilmente identificabile, realizzandoli per esempio con cavi di colore arancio (tranne il PE).

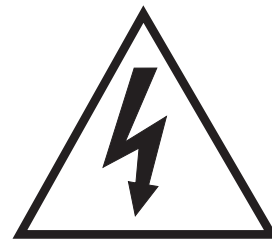


Fig. 5. Segnale di presenza di parti elettriche in tensione.



#### ESERCIZIO A

Dimensionare la presa a spina adeguata a sezionare una macchina contenente due motori trifase rispettivamente da 1,1 kW, e 0,55 kW, entrambi da 400 V,  $\eta = 0,88$ ,  $\cos \varphi = 0,87$  e altri carichi da 7 A.

#### SOLUZIONE

Corrente nominale del motore di maggior potenza:

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot V_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{1.100}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,87 \cdot 0,88} = 2,08 \text{ A}$$

La corrente nominale del motore da 0,55 kW vale quindi 1 A.

Sommando la corrente a rotore bloccato relativa al motore di maggior potenza:

$$6 \cdot 2,08 \text{ A} = 12,5 \text{ A}$$

con le correnti dei carichi rimanenti si hanno in totale  $12,5 + 1 + 7 = 20,5 \text{ A}$ .

Si può quindi utilizzare come dispositivo di sezionamento generale una presa a spina da 20 A (potere di interruzione  $1,25 \cdot 20 \text{ A} = 25 \text{ A}$ ).

**ESERCIZIO 1**

Verificare se una presa a spina trifase da 16 A può essere utilizzata come dispositivo di sezionamento generale per una macchina contenente un motore trifase da 1,2 kW, 400 V,  $\eta = 0,88$ ,  $\cos \varphi = 0,86$  e altri carichi da 5 A.

[Ris.: sì, 18,8 A < 20 A]



**ESERCIZIO B**

Un inverter per motori asincroni da 1,25 kW, che dissipa il 4%, è chiuso in un quadro in lamiera di acciaio (coefficiente di trasmissione del calore  $\alpha = 5 \text{ W/}^\circ\text{C m}^2$ ) senza aperture, internamente ventilato (fig. 6), con superficie totale di scambio termico  $S = 1 \text{ m}^2$ .

Determinare la massima temperatura interna al quadro ( $T_i$ ) sapendo che la temperatura ambiente esterna ( $T_a$ ) può raggiungere i  $40^\circ\text{C}$ .

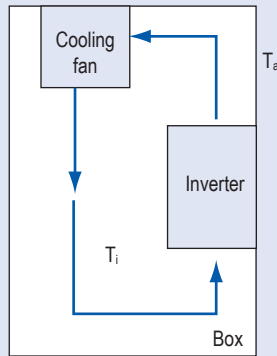


Fig. 6. Quadro chiuso, internamente ventilato.

**SOLUZIONE**

La presenza del ventilatore interno, posizionato nella zona più calda del quadro, rende uniforme la temperatura in ogni punto della superficie del quadro; perciò all'equilibrio termico la potenza sviluppata all'interno ( $P_d$ ) uguaglia la potenza scambiata con l'esterno:

$$P_d = 0,04 \cdot 1250 \text{ W} = 50 \text{ W}$$

$$P_d = \alpha \cdot S \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = \frac{P_d}{\alpha \cdot S} = \frac{50 \text{ W}}{5 \frac{\text{W}}{^\circ\text{C m}^2} \cdot 1 \text{ m}^2} = 10^\circ\text{C}$$

$$T_{i \text{ max}} = T_{a \text{ max}} + \Delta T = 40 + 10 = 50^\circ\text{C}$$

**ESERCIZIO 2**

Verificare se una presa a spina trifase da 20 A può essere utilizzata come dispositivo di sezionamento generale per una macchina contenente un motore

trifase da 2,2 kW, 400 V,  $\eta = 0,88$ ,  $\cos \varphi = 0,87$  e altri carichi da 5 A.

[Ris.: no, 30 A > 25 A]

**ESERCIZIO 3**

Un inverter per motori asincroni da 2 kW, che dissipa il 5%, va chiuso in un quadro in lamiera di acciaio (coefficiente di trasmissione del calore  $\alpha = 5 \text{ W/}^\circ\text{C m}^2$ ) senza aperture, internamente ventilato.

Determinare la superficie totale di scambio termico del quadro in modo che la massima temperatura interna ( $T_i$ ) non superi i  $50^\circ\text{C}$  in corrispondenza di una temperatura ambiente esterna  $T_a = 40^\circ\text{C}$ .

[Ris.:  $S = 2 \text{ m}^2$ ]



**ESERCIZIO C**

Un quadro con ventilazione forzata su aperture esterne (fig. 7) contiene dispositivi elettrici ed elettronici che dissipano complessivamente 1 kW. Considerando una temperatura ambiente esterna massima di  $40^\circ\text{C}$ , determinare la portata del ventilatore in modo che la temperatura dell'aria di raffreddamento in uscita non sia mai superiore a  $50^\circ\text{C}$ , trascurando la dissipazione sulla superficie del contenitore.

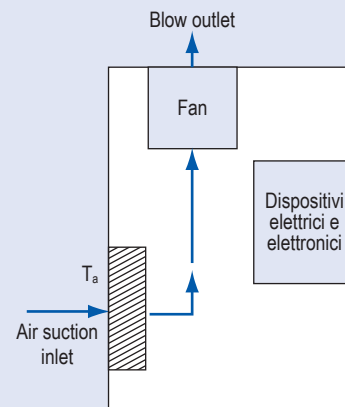


Fig. 7. Quadro ventilato aperto.

**SOLUZIONE**

Considerando unitari i valori sia della densità dell'aria ( $\rho = 1,057 \div 1,251 \text{ kg/m}^3$  tra  $50 \div 0^\circ\text{C}$ ), sia del suo calore specifico ( $c = 1 \text{ kJ/kg }^\circ\text{C}$ ), all'equilibrio termico deve essere

$$P_d = \rho \cdot c \cdot Q \cdot \Delta T$$

dove Q rappresenta la portata del fluido [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

$$Q = \frac{P_d}{\rho \cdot c \cdot \Delta T} = \frac{1000 \text{ W}}{1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg }^\circ\text{C}} \cdot (50 - 40)^\circ\text{C}} = 0,1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 6000 \frac{\text{l}}{\text{min}}$$

Serve quindi un ventilatore con portata  $6 \text{ m}^3/\text{min}$ .



### ESERCIZIO D

Un quadro con grado di protezione IP 65 presenta sulla porta un interruttore di manovra-sezionatore con IP55 e fori anticondensa nella parte sottostante. Determinare il grado di protezione complessivo del quadro.

#### SOLUZIONE

Poiché l'interruttore di manovra-sezionatore da montare sulla porta del quadro ha un grado di protezione inferiore a quello dell'involucro, tutto il quadro subisce un declassamento al grado inferiore, ossia passa da IP65 a IP55. I fori anticondensa praticati nella parte sottostante l'involucro non compromettono il grado di protezione.



### ESERCIZIO E

La serratura a chiave di uno sportello di protezione si chiude a scatto senza l'uso della chiave ed è possibile estrarre la chiave dalla serratura con la porta aperta. Indicare se tale situazione può essere considerata a norma.

#### SOLUZIONE

Anche se non è richiesto dalla norma, il fatto che la serratura scatti alla chiusura della porta senza l'uso della chiave aumenta il grado di sicurezza per il manutentore, in quanto non è più necessario che questi si ricordi di chiudere la porta a chiave. Ma il fatto che sia possibile estrarre la chiave dalla serratura con la porta aperta, la rende inadatta perché contraria alla norma.

La norma richiede difatti che non sia possibile estrarre la chiave dalla serratura con la porta aperta. Solo in questo modo difatti, se il manutentore ha la chiave in mano, vuol dire che la porta è sicuramente chiusa.

### ESERCIZIO 4

Un quadro con ventilazione forzata su aperture esterne contiene dispositivi elettrici ed elettronici che dissipano complessivamente 300 W. Considerando una temperatura ambiente esterna massima di 35 °C, determinare la portata del ventilatore in modo che la temperatura dell'aria di raffreddamento in uscita non sia mai superiore a 50 °C, trascurando la dissipazione tramite la superficie del quadro.

[Ris.: Q = 1200 l/min]

### Sicurezza intrinseca

In luoghi e locali dove possono avvenire scoppi ed esplosioni vanno utilizzati contenitori (e macchine) appositamente protetti e siglati rispettivamente "Sch" e "Ex" (fig. 8), progettati per impedire il rilascio di energia sufficiente a causare l'accensione del materiale infiammabile.



Fig. 8. Marchio di controllo ATEX.

La normativa di riferimento è la direttiva 94/9/CE, denominata ATEX (dal francese *Atmospheres Explosibles*, atmosfere esplosive). L'aggiunta di alcune lettere alfabetiche minuscole indica una protezione particolare (tab. 1).

Tab. 1 – Protezioni particolari	
Lettera	Significato
d	Custodia a prova di esplosione
p	Custodia con sovrappressione interna
o	Immersione in olio
q	Immersione sotto sabbia
m	Incapsulamento in resina
f	Ventilazione separata
e	Sicurezza aumentata
s	Tipo di protezione speciale
i	Sicurezza intrinseca

Tutti gli apparecchi e i componenti elettrici installati all'interno di una zona Ex devono essere a sicurezza intrinseca.

La **sicurezza intrinseca**, indicata con la lettera "i" dall'inglese *intrinsic safety*, è distinta in due categorie (ib, ia) in base al numero di guasti entro i quali i circuiti elettrici non provocano l'innesco di una miscela esplosiva in condizioni normali di esercizio (tab. 2).

Tab. 2 – Categorie ib, ia	
ib	1 guasto
ia	1 guasto o combinazione di 2 guasti

Le zone in cui può subentrare un'atmosfera potenzialmente esplosiva per la presenza di gas vengono classificate secondo la tab. 3.

**Tab. 3 – Classificazione delle zone con atmosfera esplosiva**

Zona	Presenza di gas
0	Gas costante o per lunghi periodi di tempo
1	Probabile presenza di gas
2	Scarsa probabilità di presenza di gas e solo per breve tempo

I gas (G) sono classificati per rischio d'esplosione crescente in IIA, IIB e IIC; il gruppo IIC comprende, per esempio, l'idrogeno e l'acetilene. In modo corrispondente si utilizzano i gruppi 20, 21 e 22 per le zone con presenza di polveri esplosive (D, silos, ecc.). Per le connessioni dirette verso i dispositivi in zona Ex vanno utilizzati cavi appositi e posti circuiti di limitazione dell'energia in gioco (barriere Zener, o a sicurezza intrinseca).

#### ESEMPIO 2

Decodificare l'indicazione "conforme alla normativa ATEX-II 2 G EExia IIC T6" presente sulla targhetta di un dispositivo.

#### SOLUZIONE

L'indicazione specifica che il dispositivo può essere utilizzato nelle zone classificate "II" (ovunque ad eccezione delle aree minerarie), è certificato per la seconda area tra le tre più a rischio (categoria del dispositivo "2"), in atmosfera con presenza di gas ("G"), è protetto dalle esplosioni secondo le normative europee (EEx) con livello di sicurezza "ia", compatibile con il gruppo dei gas più pericolosi (IIC) e temperatura massima di superficie "T6" (la più bassa, 85 °C).

#### Messa a terra

Nelle macchine dotate del solo isolamento principale (macchine di classe I), per la protezione contro i contatti indiretti, tutte le masse vanno riportate al morsetto di terra mediante collegamenti equipotenziali di protezione. Il morsetto di terra, posto in prossimità dei morsetti di fase, va contrassegnato con le lettere PE e con il segno grafico di **fig. 9**, e ad esso va collegato il conduttore di protezione dell'impianto (giallo verde se isolato).



**Fig. 9 Simbolo del morsetto di terra.**

Anche eventuali morsetti intermedi posti tra le masse e il morsetto di terra della macchina devono es-

sere individuati nel medesimo modo.

Il collegamento a terra può essere realizzato sia con il conduttore di protezione, sia tramite parti metalliche strutturali di sezione equivalente, sempre che la continuità elettrica non possa in alcun modo essere compromessa (per esempio a seguito di rimozione di barriere durante la manutenzione).

Tutti i morsetti di terra, principale e intermedi, non devono svolgere altre funzioni meccaniche.

#### Targa della macchina

Secondo la direttiva macchine, ogni macchina deve essere dotata sull'involucro di una targa facilmente visibile con impressi in modo leggibile: nome e indirizzo del fabbricante, marcatura CE, serie e tipo (con eventuale numero di serie), anno di costruzione e se è destinata all'impiego in zona con pericolo di esplosione va riportata l'apposita indicazione Ex. In prossimità di ogni alimentazione di ingresso la targa deve riportare la tensione nominale, il numero delle fasi e la frequenza (se in AC) e la corrente a pieno carico. Per i quadri va riportata anche la tenuta al cortocircuito.



#### ESERCIZIO F

Per la protezione contro i contatti indiretti, la massa di una macchina è stata riportata a terra utilizzando un bullone di fissaggio del motore al basamento. Indicare se può essere ritenuto a norma.

#### SOLUZIONE

No. Tutti i morsetti di terra, principale e intermedi, non devono svolgere altre funzioni meccaniche.

#### Il quadro bordo macchina

#### Test

Tra le seguenti affermazioni, individua quelle corrette (V) e quelle errate (F).

#### 1 Il dispositivo di sezionamento del quadro:

- rappresenta il punto di separazione tra l'impianto elettrico di distribuzione dell'energia e l'equipaggiamento elettrico della macchina  V  F
- deve possedere anche le caratteristiche di un interruttore sotto carico  V  F
- deve essere dotato di un attuatore bloccabile nella posizione di chiuso  V  F
- può essere un interruttore automatico adatto al sezionamento  V  F