

Quaderni di applicazione tecnica N.6

Quadri per bassa tensione a tenuta d'arco interno

Quadri per bassa tensione a tenuta d'arco interno

Indice

1 Generalità sui quadri elettrici in bassa tensione

1.1	Introduzione.....	2
1.2	Le norme relative ai quadri e applicabilità.....	3
1.3	Caratteristiche elettriche nominali di un quadro.....	4
1.4	Classificazione dei quadri elettrici	4
1.4.1	Tipologie costruttive.....	4
1.4.2	Quadri elettrici di distribuzione primaria (Power Center).....	4
1.4.3	Quadri secondari di distribuzione	5
1.4.4	Quadri di manovra motori (Motor Control Center MCC).....	5
1.4.5	Quadri di comando, misura, protezione.....	6
1.4.6	Quadri per cantiere.....	6
1.5	Grado di protezione IP.....	7
1.5.1	Grado di protezione nei quadri.....	8
1.6	Grado di protezione IK.....	9
1.7	Forme di segregazione	10
1.8	La sovratemperatura all'interno dei quadri	11
1.9	Quadri ad esecuzione speciale	12
1.9.1	Prova in condizioni d'arco dovuto a un guasto interno	12
1.9.2	Prova di qualifica sismica.....	12
1.9.3	Prova per esecuzione antishock	12

2 L'arco elettrico

2.1	Il fenomeno dell'arco elettrico	13
2.2	Effetti dell'arco elettrico all'interno di un quadro.....	13
2.3	Effetti dell'arco elettrico sulle persone.....	14

3 Quadri a tenuta d'arco interno

3.1	Generalità.....	15
3.2	Caratteristiche del quadro a tenuta d'arco interno.....	16
3.2.1	Quadri meccanicamente resistenti all'arco interno.....	16
3.2.2	Quadri con dispositivi che limitano gli effetti dell'arco interno	16
3.2.3	Quadri con interruttori limitatori	18

4 Il quadro a tenuta d'arco interno ABB SACE

4.1	Caratteristiche costruttive e funzionali del quadro PC3.0/MNS R.....	19
4.2	Esecuzioni del quadro PC3.0/MNS R	25

Appendice A:	prova su un quadro ad arco interno	28
---------------------	--	----

1 Generalità sui quadri elettrici in bassa tensione

1.1 Introduzione

La sicurezza degli impianti elettrici di bassa tensione ha assunto negli ultimi anni un ruolo sempre più predominante.

Anche dal punto di vista normativo il panorama si è fatto più completo e sono numerosi gli utilizzatori che pongono la sicurezza al primo posto tra i requisiti del proprio impianto elettrico.

I quadri elettrici per bassa tensione sono senz'altro gli elementi dell'impianto elettrico maggiormente soggetti agli interventi diretti del personale (manovre, manutenzioni etc.) e per questo i loro utilizzatori richiedono requisiti di sicurezza sempre più elevati.

Negli ultimi anni molti utilizzatori hanno posto l'accento sulla sicurezza dei quadri elettrici nei confronti di uno dei fenomeni elettrofisici più intensi e distruttivi: **l'arco elettrico**.

A differenza di quanto accade per i dispositivi di interruzione in cui il fenomeno d'arco è una delle normali condizioni di funzionamento, per i quadri di bassa tensione l'arco elettrico è un evento assolutamente anomalo e di rara frequenza.

Tuttavia, qualora si manifesti, l'arco elettrico all'interno dei quadri per bassa tensione causa sovrapressioni interne

e sovrariscaldamenti locali che possono provocare sollecitazioni meccaniche e termiche nell'apparecchiatura di notevole intensità.

Inoltre, i materiali interessati possono generare prodotti di decomposizione caldi, gas o vapori, che a causa della sovrapressione vengono quasi sempre espulsi all'esterno dell'involucro mettendo a forte rischio la sicurezza dell'operatore.

La direttiva della Comunità Europea 2006/95/CE stabilisce gli essenziali requisiti di sicurezza che deve possedere il materiale elettrico di bassa tensione (tra 50 V e 1000 V in corrente alternata, tra 75 V e 1500 V in corrente continua) perché possa essere posto in commercio all'interno dell'Unione Europea.

Tra gli essenziali requisiti di sicurezza descritti nella direttiva vi è la necessità di prevedere misure di carattere tecnico affinché "non possano prodursi sovratemperature, archi elettrici o radiazioni che possano causare un pericolo".

Quest'aspetto, da sempre tenuto in forte considerazione per gli apparecchi, è stato in passato erroneamente trascurato a livello di quadri elettrici e solo negli ultimi 10-15 anni ha preso piede sia a livello italiano che internazionale.



1.2 Le norme relative ai quadri e applicabilità

I quadri elettrici per bassa tensione sono denominati dalla norma CEI EN 60439-1 “apparecchiature assiemate di protezione e di manovra”, in breve: apparecchiature (Assembly).

La norma dà la seguente definizione: “combinazione di uno o più apparecchi di protezione e manovra, con gli eventuali dispositivi di comando, misura, protezione, regolazione, ecc., completamente montati sotto la responsabilità del costruttore, con tutte le interconnessioni elettriche e meccaniche interne, compresi gli elementi strutturali di supporto”.

La conformità di un quadro alla regola dell’arte e quindi, presuntivamente, alla norma tecnica non può essere fondata solo sul fatto che i componenti che lo costituiscono sono conformi alla regola dell’arte e, quindi, almeno presuntivamente, alle rispettive norme tecniche: ciò è necessario, ma non sufficiente.

Occorre che i componenti siano assiemati secondo determinate regole che assicurano la tenuta al cortocircuito, il rispetto dei limiti di sovratemperatura, la tenuta dell’isolamento, ecc.

In altre parole, l’intero quadro deve essere progettato, costruito e provato in conformità alla regola dell’arte.

La tensione nominale non deve superare 1000 V in corrente alternata o 1500V in corrente continua, trattandosi di apparecchiature di bassa tensione. Per quanto riguarda la corrente, nel campo di applicazione di tale norma non c’è alcuna limitazione, né superiore né inferiore.

La norma CEI EN 60439-1 stabilisce i requisiti relativi alla costruzione, sicurezza e manutenibilità dei quadri elettrici, senza trattare gli aspetti funzionali del quadro che restano di competenza del progettista dell’impianto in cui il quadro va inserito.

QUADRI AS E ANS

La norma CEI EN 60439-1 distingue fra due categorie di quadri:

- AS (Apparecchi di Serie) o TTA (Type-Tested Assembly)
- ANS (Apparecchiature Non di Serie) o PTTA (Partially Type-Tested Assembly)

Con il termine Apparecchiatura costruita in Serie (AS) si intende un’apparecchiatura “conforme ad un tipo o ad un sistema costruttivo prestabilito senza scostamenti tali da modificarne in modo determinante le prestazioni rispetto all’apparecchiatura tipo provata secondo quanto prescritto nella presente norma”.

Affinché un quadro possa essere dichiarato AS, deve essere soddisfatta almeno una della tre condizioni di seguito riportate:

1. il quadro viene costruito in un unico esemplare e sottoposto a tutte le prove di tipo richieste dalla norma;
2. il quadro è simile ad un altro quadro sottoposto a tutte le prove di tipo; cioè: differisce da quello provato per particolari ritenuti ininfluenti sull’esito delle prove stesse e, quindi, sulle sue prestazioni, cioè sulle caratteristiche nominali;
3. l’esemplare fa parte di un sistema costruttivo prestabilito, sottoposto alle prove di tipo in alcune delle molteplici configurazioni, scelte fra le più significative che si possono ottenere combinando gli elementi del sistema. È il caso tipico dei quadri commercializzati sotto forma di componenti sciolti.

Con il termine Apparecchiatura costruita Non in Serie (ANS), si intende un’apparecchiatura “contenente sia sistemazioni verificate con prove di tipo, sia sistemazioni non verificate con prove di tipo, purché queste ultime siano derivate da sistemazioni verificate che abbiano superato le prove previste”.

Un quadro è ANS se è sottoposto solo ad una parte delle prove di tipo, sostituendo le altre con delle estrapolazioni (calcoli) basate sui risultati sperimentali ottenuti sui quadri che hanno superato le prove di tipo.

La distinzione tra quadri AS e ANS non ha alcun peso sulla dichiarazione di conformità alla norma CEI EN 60439-1, in quanto il quadro deve essere semplicemente conforme ad essa, a prescindere che sia stato sottoposto, totalmente (AS) o parzialmente (ANS), alle prove di tipo.

1.3 Caratteristiche elettriche nominali di un quadro

La norma CEI EN 60439-1 identifica le caratteristiche nominali da assegnare a ciascun quadro, definisce le condizioni ambientali di servizio, stabilisce i requisiti meccanici e dà prescrizioni in merito a:

- isolamento
- comportamento termico
- tenuta al cortocircuito
- protezione contro lo shock elettrico
- grado di protezione dell'involucro
- componenti installati, le suddivisioni e le connessioni all'interno del quadro
- alimentazione di apparecchi elettronici

Le informazioni specificate ai punti a) e b) seguenti devono essere, in base alla norma, riportate sulla targa.

Le informazioni specificate ai punti da c) a t) devono essere riportate, se possibile, sulle targhe o nella documentazione tecnica del costruttore:

- a) nome o marchio di fabbrica del costruttore¹;
- b) l'indicazione del tipo o un numero di identificazione o un altro mezzo di identificazione che permetta di ottenere dal costruttore tutte le informazioni indispensabili;
- c) IEC 60439-1;
- d) la natura della corrente (e la frequenza in caso di corrente alternata);
- e) le tensioni nominali di impiego;
- f) le tensioni nominali di isolamento (la tensione nominale di tenuta a impulso quando dichiarata dal costruttore);
- g) le tensioni nominali dei circuiti ausiliari (se del caso);
- h) i limiti di funzionamento;
- j) la corrente nominale di ogni circuito, se del caso;
- k) la tenuta al cortocircuito;
- l) il grado di protezione;
- m) le misure di protezione delle persone;
- n) le condizioni di servizio per installazioni all'interno, per installazioni all'esterno e per usi speciali, se diverse dalle normali condizioni di servizio. Il grado di inquinamento, quando indicato dal costruttore;
- o) i tipi di messa a terra dei sistemi (regimi di neutro) ai quali l'apparecchiatura è destinata;
- p) le dimensioni date preferibilmente nel seguente ordine: altezza, larghezza (o lunghezza), profondità;
- q) il peso;
- r) la forma di segregazione interna;
- s) i tipi di connessioni elettriche delle unità funzionali;
- t) ambiente 1 o 2.

¹ Come costruttore viene considerata quella organizzazione che si assume la responsabilità dell'APPARECCHIATURA finita.

1.4 Classificazione dei quadri elettrici

1.4.1 Tipologie costruttive

I quadri hanno spesso forma di armadi, che poggiano generalmente a pavimento e possono essere suddivisi in scomparti e celle. Lo scomparto è un'unità costruttiva compresa fra due piani di delimitazione verticali successivi mentre per cella si intende una frazione di scomparto completamente chiusa, ad eccezione delle aperture necessarie per l'interconnessione, il comando e la ventilazione (Figura 1).

Figura 1 – Quadro chiuso, costituito da tre scomparti; ogni scomparto è a sua volta suddiviso in più celle



1.4.2 Quadri elettrici di distribuzione primaria (Power Center)

Sono in genere installati subito a valle dei trasformatori MT/BT o dei generatori. Tali quadri comprendono una o più unità d'ingresso, eventuali congiuntori di sbarra ed un numero relativamente ridotto di unità di uscita.

Sono presenti anche strumenti di misura e altri apparecchi di comando e controllo (Figura 2).

Figura 2 – Vista d'insieme di un quadro di distribuzione primaria



Questi quadri hanno struttura meccanicamente robusta per sopportare le sollecitazioni elettrodinamiche ed il peso di apparecchi di grossa taglia. Caratteristiche peculiari dei power center sono, infatti, elevati valori delle correnti nominali e di cortocircuito.

Il tipo costruttivo è quello ad armadio, con involucro metallico e scomparti divisi in più celle ad accesso selettivo.

1.4.3 Quadri secondari di distribuzione

Questi quadri sono dotati solitamente di un'unità di ingresso e di numerose unità di uscita (figura 3).

Gli apparecchi alloggiati nel quadro sono principalmente interruttori automatici di tipo scatolato e/o modulare.

Figura 3 – Quadri di distribuzione secondaria



Le correnti nominali e di cortocircuito dei quadri di distribuzione secondari sono minori di quelle dei quadri principali.

I modelli costruttivi prevedono l'impiego di involucri metallici oppure in materiale isolante e possono essere installati a pavimento o a parete, in funzione delle dimensioni e del peso. Nel caso in cui i quadri sono utilizzati da personale non addestrato, si applica la norma CEI EN 60439-3. I quadri di distribuzione (ASD) sono oggetto delle prescrizioni supplementari della norma CEI EN 60439-3 (CEI 17-13/3).

Essi sono destinati ad essere installati in luoghi dove personale non addestrato ha accesso al loro uso, altrimenti valgono le regole generali della norma CEI EN 60439-1.

La norma CEI EN 60439-3 considera solo quadri di tipo AS. Ciò significa che ogni esemplare prodotto deve essere conforme ad un prototipo o ad un sistema costruttivo prestabilito, ovvero non deve presentare scostamenti tali da modificarne in modo determinante le prestazioni rispetto all'apparecchiatura tipo provata.

1.4.4 Quadri di manovra motori (Motor Control Center MCC)

I quadri di manovra motori sono destinati al comando ed alla protezione centralizzata dei motori: comprendono le relative apparecchiature di manovra e protezione (unità funzionali autonome) e quelle ausiliarie di comando e segnalazione.

Sono caratterizzati da unità di uscita a cassette estraibili, a ciascuno dei quali fa capo un motore in modo da poter intervenire in sicurezza su una singola unità d'uscita senza dover togliere tensione alle utenze (figura 4).

Figura 4 – Vista d'insieme di un quadro di manovra motori (MCC)



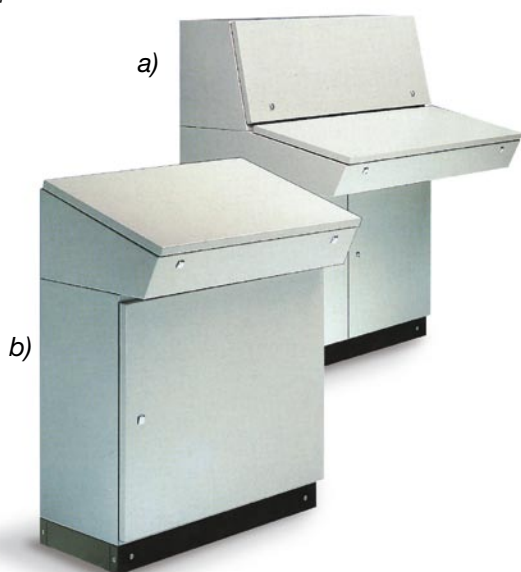
1.4.5 Quadri di comando, misura, protezione

Sono in genere costituiti da banchi che contengono prevalentemente apparecchiature destinate al comando, controllo e misura di impianti e processi industriali.

Di struttura normalmente metallica, la forma è a leggio e consente una pronta accessibilità ai comandi ed una facile leggibilità degli strumenti (figura 5).

Figura 5 – Quadri di comando.

- a) Banco
- b) Pulpito.



1.4.6 Quadri per cantiere

I quadri per cantiere hanno varie dimensioni, che vanno dalla semplice unità di prese a spina a veri e propri quadri di distribuzione in involucro metallico o in materiale isolante. Sono generalmente di tipo mobile (figura 6).

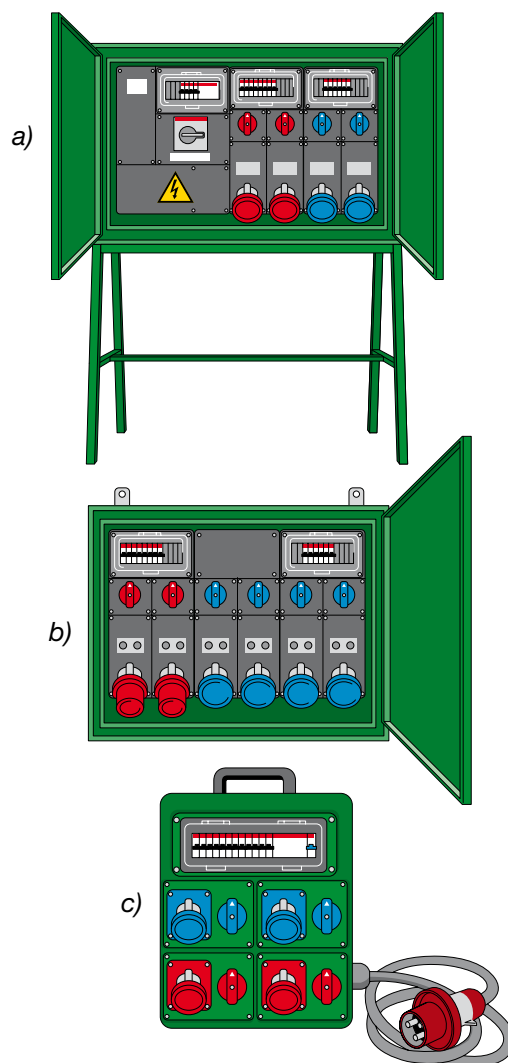
La norma CEI EN 60439-4 fornisce prescrizioni particolari per questa tipologia di quadri, con riferimento specifico alla resistenza agli urti ed alla corrosione.

Tale norma precisa che i quadri per cantiere devono essere conformi alle prescrizioni della norma CEI EN 60439-1 e che gli articoli della norma CEI EN 60439-4 completano, modificano o sostituiscono gli articoli della norma generale.

I quadri per cantiere devono essere esclusivamente di tipo AS e quindi ogni esemplare prodotto deve essere conforme ad un prototipo sottoposto a tutte le prove di tipo previste dalla norma CEI EN 60439-4.

Figura 6 – Quadri per cantiere (ASC).

- a) ASC su cavalletto
- b) ASC per montaggio su parete
- c) ASC mobile di prese a spina



1.5 Grado di protezione IP

Per grado di protezione IP di un involucro si intende il livello di protezione dell'involucro contro l'accesso a parti pericolose, contro la penetrazione di corpi solidi estranei e contro l'ingresso di acqua.

Il grado di protezione di un involucro è identificato, conformemente a quanto prescritto nella norma CEI EN 60529, dalle lettere IP (International Protection) seguite da due cifre ed eventualmente da due lettere.

La prima cifra caratteristica indica il grado di protezione contro la penetrazione all'interno dell'involucro di corpi solidi e contro il contatto delle persone con parti interne pericolose.

La seconda cifra caratteristica indica il grado di protezione dell'involucro contro l'ingresso dannoso dell'acqua. È facile comprendere che le due cifre caratteristiche si influenzano a vicenda.

La lettera addizionale indica il grado di protezione per le persone contro l'accesso a parti pericolose.

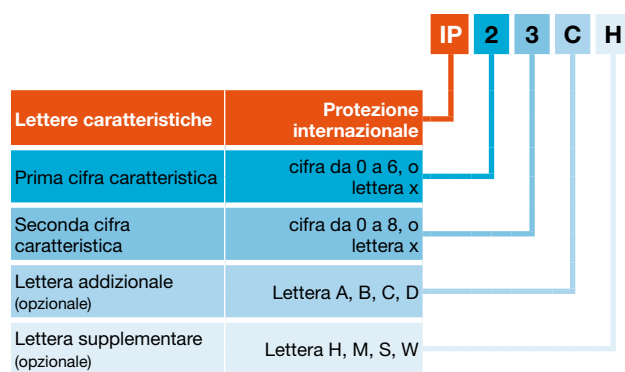
La lettera addizionale è usata solo se la protezione effettiva contro l'accesso a parti pericolose è superiore a quella indicata dalla prima cifra caratteristica; se è indicata solo la protezione contro l'accesso a parti pericolose, la prima cifra caratteristica viene allora sostituita con una X. Questa protezione superiore potrebbe essere fornita, per esempio, da barriere, da aperture di forma adeguata o da distanze interne delle parti pericolose dall'involucro.

Se le indicazioni riguardano esclusivamente l'aspetto della sicurezza delle persone contro i contatti diretti, si tralasciano entrambe le cifre caratteristiche che si sostituiscono con XX e si indica il grado di protezione con la lettera addizionale.

Ovviamente, anche la lettera addizionale non è indipendente dalle due cifre che possono precederla, ma sono strettamente legate fra di loro; è per questo che la lettera addizionale va indicata solo se garantisce un grado di protezione, contro i contatti diretti, più elevato di quello garantito dalla prima cifra.

La lettera supplementare fornisce indicazioni supplementari.

La tabella fornisce un breve riassunto del significato dei vari termini che compongono il codice. Per maggiori dettagli rimandiamo alla norma CEI EN 60529.



	Protezione dell'apparecchiatura	Contro l'accesso a parti pericolose con:
Prima cifra caratteristica (ingresso dei corpi solidi)	0 non protetto	non protetto
	1 ≥50 mm di diametro	dorso della mano
	2 ≥12.5 mm di diametro	dito
	3 ≥ 2.5 mm di diametro	attrezzo
	4 ≥1 mm di diametro	filo
	5 protetto contro la polvere	filo
	6 totalmente protetto contro la polvere	filo
Seconda cifra caratteristica (penetrazione dell'acqua)	0 non protetto	
	1 caduta verticale	
	2 caduta di gocce d'acqua (inclinazione 15°)	
	3 pioggia	
	4 spruzzi d'acqua	
	5 getti d'acqua	
	6 getti potenti (simili a ondate marine)	
	7 immersione temporanea	
8 immersione continua		
Lettera addizionale (opzionale)	A	dorso della mano
	B	dito
	C	attrezzo
	D	filo
Lettera supplementare (opzionale)	H Apparecchiature ad alta tensione	
	M prova con acqua con apparecchiatura in moto	
	S prova con acqua con apparecchiatura in moto	
	W condizioni atmosferiche	

1.5.1 Grado di protezione nei quadri

Per quando riguarda i quadri, se non diversamente specificato dal costruttore, il grado di protezione vale per l'intero quadro, montato ed installato come nell'uso ordinario (a porta chiusa). Il costruttore può inoltre indicare i gradi di protezione relativi a particolari configurazioni che si possono presentare in esercizio, come ad esempio il grado di protezione a porte aperte e quello ad apparecchi asportati o estratti.

Per i quadri chiusi la norma richiede almeno il grado di protezione IP2X o IPXXB per le zone non a portata di mano e il grado di protezione IP4X o IPXXD per le superfici orizzontali accessibili.

A titolo di esempio riportiamo in tabella i gradi di protezione minimi che deve avere un quadro affinché possa essere installato negli ambienti indicati, conformemente a quanto prescritto dalla norme citate.

Tipo di quadro / tipo di ambiente	Norma e paragrafo	Grado minimo di protezione
Apparecchiatura di protezione e manovra: quadri chiusi	CEI EN 60439-1 par. 2.3.3	Non definito
Quadri per esterno	CEI EN 60439-1 par. 7.2.1.3	IPX3
Quadri aventi protezione con isolamento completo	CEI EN 60439-1 par. 7.4.3.2.2	IP2XC
Impianti in ambienti ordinari		
Zone non a portata di mano	CEI 64-8/4 par. 412.2.1	IPXXB (IP2X)
Zone a portata di mano orizzontali	CEI 64-8/4 par. 412.2.2	IPXXD (IP4X)
Impianti in bagni docce e bagni pubblici		
Zone 1 e 2	CEI 64-8/7 par. 701.512.2	IPX4
Zona 3	CEI 64-8/7 par. 701.512.2	IPX1
Zone 1 -2 -3 bagni pubblici soggette a pulizia con getti d'acqua	CEI 64-8/7 par. 701.512.2	IPX5
Impianti in piscine		
Zona 0	CEI 64-8/7 par. 702.512.2	IPX8
Zona 1	CEI 64-8/7 par. 702.512.2	IPX5
Zona 2 al coperto	CEI 64-8/7 par. 702.512.2	IPX2
Zona 2 all'aperto	CEI 64-8/7 par. 702.512.2	IPX4
Zona 2 soggette a pulizia con getti d'acqua	CEI 64-8/7 par. 702.512.2	IPX5
Impianti in saune	CEI 64-8/7 par. 703.512.2	IP24
Impianti in luoghi a maggior rischio di incendio	CEI 64-8/7 par. 751.04.1	IP4X
Impianti in cantieri (Quadri ASC)	CEI EN 60439-4 par. 7.2.1.1	IP44

Riportiamo ora i gradi di protezione ottenibili con quadri ABB SACE ArTu

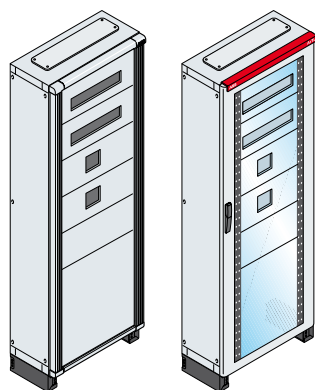
ArTu L

IP31

Senza porta

IP43

Con porta



ArTu M - K

IP31

Senza porta

IP41 (solo ArTu K)

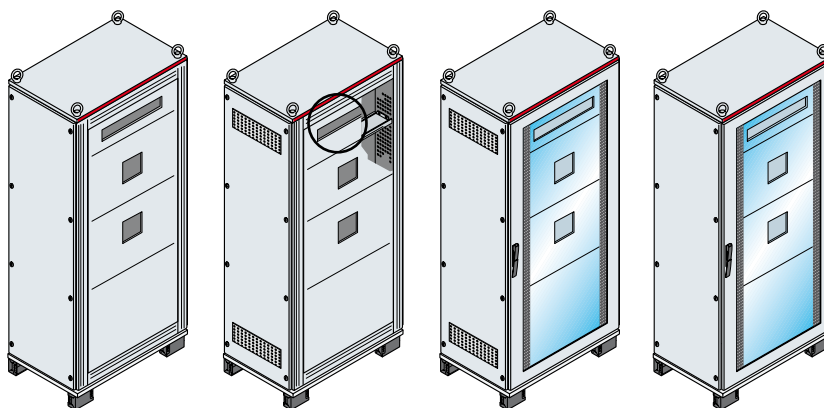
Senza porta con kit IP41e pannelli laterali aerati

IP41 (solo ArTu K)

Con porta e pannelli laterali aerati

IP65

Con porta e pannelli ciechi



La figura sotto riportata mostra un esempio applicativo di un quadro ABB della famiglia MNS progettato per un grado di protezione IP41. I quadri della famiglia MNS sono progettati per soddisfare richieste di gradi di protezione fino a IP54.

Figura 7 - Quadro della serie MNS R con grado di protezione IP41



Ciascun gruppo numerico caratteristico rappresenta un valore d'energia d'impatto come indicato in tabella

Codice IK	Energia di impatto joule
IK 00	(*)
IK 01	0.14
IK 02	0.2
IK 03	0.35
IK 04	0.5
IK 05	0.7
IK 06	1
IK 07	2
IK 08	5
IK 09	10
IK 10	20

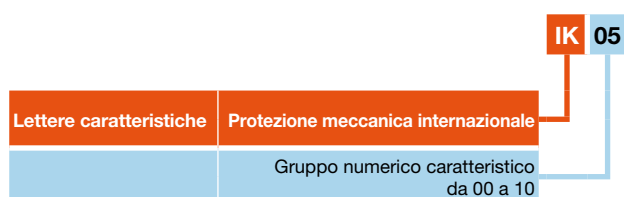
(*) Non protetto secondo la seguente Norma.

In genere il grado di protezione si applica all'involucro completo. Se parti dell'involucro hanno diversi gradi di protezione, questi ultimi devono essere indicati separatamente.

Riportiamo di seguito i gradi di protezione contro impatti meccanici esterni (Codice IK) dei quadri della serie ArTu.

1.6 Grado di protezione IK

Per grado di protezione IK di un involucro si intende il livello di protezione fornito dall'involucro all'apparecchiatura contro gli impatti meccanici dannosi, ed è verificato mediante metodi di prova normalizzati conformemente a quanto prescritto nella norma CEI EN 50102. Il grado di protezione dell'involucro contro gli impatti viene indicato dal codice IK nel seguente modo:



IK 08

300mm
1,7 kg

ArTu L
Energia di impatto in joule **5,00**

IK 09

200mm
5 kg

ArTu M-K
Energia di impatto in joule **10,00**

Con porta vetro

IK 10

400mm
5 kg

ArTu M-K
Energia di impatto in joule **20,00**

Con porta cieca

1.7 Forme di segregazione

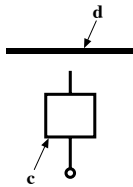
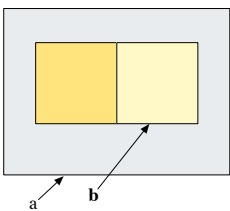
Per forma di segregazione si intende il tipo di suddivisione prevista all'interno del quadro. La segregazione mediante barriere o diaframmi (metallici o isolanti) può avere lo scopo di:

- assicurare la protezione contro i contatti diretti (almeno IPXXB), in caso d'accesso ad una parte del quadro posta fuori tensione, rispetto al resto del quadro rimasto in tensione;
- ridurre la probabilità di innesco e di propagazione di un arco interno;
- impedire il passaggio di corpi solidi fra parti diverse del quadro (grado di protezione almeno IP2X).

Per diaframma si intende l'elemento di separazione tra due celle, mentre la barriera protegge l'operatore dai contatti diretti e dagli effetti dell'arco degli apparecchi di interruzione nella direzione abituale di accesso.

La seguente tabella riportata nella norma CEI EN 60439-1 evidenzia le forme tipiche di segregazione che si possono ottenere mediante l'utilizzo di barriere o diaframmi:

Simboli

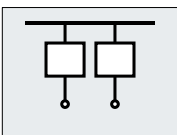


Legenda

- a Involucro
- b Segregazione interna
- c Unità funzionali compresi i terminali per i conduttori esterni associati
- d Sbarre, comprese le sbarre di distribuzione

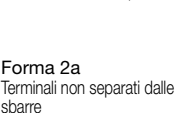
Forma 1

(nessuna segregazione interna)



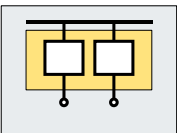
Forma 2

(segregazione delle sbarre dalle unità funzionali)



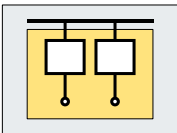
Forma 2a

Terminali non separati dalle sbarre



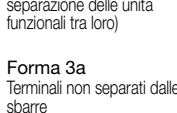
Forma 2b

Terminali separati dalle sbarre



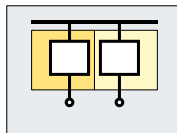
Forma 3

(separazione delle sbarre dalle unità funzionali + separazione delle unità funzionali tra loro)



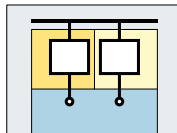
Forma 3a

Terminali non separati dalle sbarre



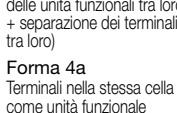
Forma 3b

Terminali separati dalle sbarre



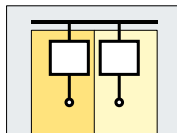
Forma 4

(separazione delle sbarre dalle unità funzionali + separazione delle unità funzionali tra loro + separazione dei terminali tra loro)



Forma 4a

Terminali nella stessa cella come unità funzionale associata



Forma 4b

Terminali non nella stessa cella come unità funzionale associata

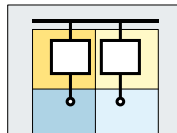
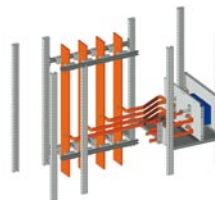


Figura 8 - Soluzione costruttiva in forma 4b, vista con le porte posteriori aperte. Si notano le segregazioni metalliche relative montate sulle sbarre principali e di distribuzione, e le chiusure isolanti a completamento delle celle per connessioni cavi

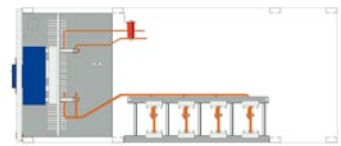


Rappresentazione delle soluzioni costruttive in forma 3a, 3b e 4b nel quadro PC3.0/MNS R

Forma 3a

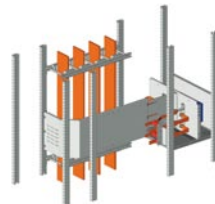


Soluzione costruttiva di uno scomparto con interruttore scatolato in forma 3a

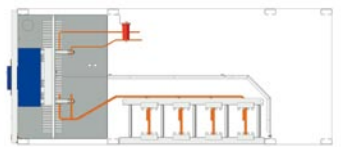


Vista dall'alto di una colonna con interruttore scatolato segregato in forma 3a

Forma 3b

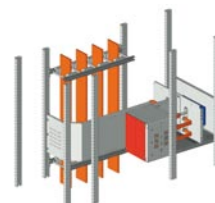


Soluzione costruttiva di uno scomparto con interruttore scatolato in forma 3b

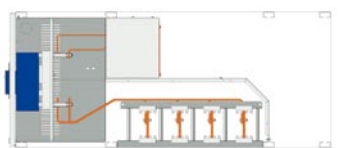


Vista dall'alto di una colonna con interruttore scatolato segregato in forma 3b

Forma 4b



Soluzione costruttiva di uno scomparto interruttore scatolato in forma 4b



Vista dall'alto di una colonna con interruttore scatolato segregato in forma 4b

1.8 La sovratemperatura all'interno dei quadri

L'eccessivo innalzamento di temperatura all'interno dei quadri elettrici è una delle problematiche da sempre più discusse e verso la quale gli utilizzatori pongono maggiore attenzione.

È chiaro come un riscaldamento anomalo all'interno di un quadro possa mettere a rischio la sicurezza delle persone (possibili incendi) e dell'impianto (mancato funzionamento delle apparecchiature).

Per questo motivo la norma 439-1 dedica ampio spazio ai limiti di sovratemperatura ammissibili in un quadro elettrico e ai metodi di determinazione di tali limiti o direttamente come prova di tipo (Type test) o tramite estrapolazione analitica.

Per Type test si intende prove che hanno come obiettivo la valutazione della validità di un progetto in relazione alle prestazioni attese.

Tali prove sono effettuate solitamente su uno o più prototipi e si presume che i risultati delle prove di tipo rispondano a leggi deterministiche. Quindi, i risultati possono essere estesi a tutta la produzione, a condizione che essa risponda al progetto dei campioni provati.

Le prove di tipo previste dalla norma CEI EN 60439-1² sono:

- verifica dei limiti di sovratemperatura
- verifica delle proprietà dielettriche
- verifica della tenuta al cortocircuito dei circuiti principali
- verifica della tenuta al cortocircuito del circuito di protezione
- verifica dell'effettiva connessione fra le masse ed il circuito di protezione
- verifica delle distanze in aria e superficiali
- verifica del funzionamento meccanico
- verifica del grado di protezione

Come detto la verifica di sovratemperatura è uno degli aspetti più critici per un quadro elettrico; la norma stabilisce i limiti di sovratemperatura, applicati ad una temperatura media dell'aria ambiente $\leq 35^\circ\text{C}$ che i quadri conformi alla norma non devono superare (Tabella 1).

Nei quadri AS la verifica dei limiti di sovratemperatura deve essere effettuata tramite prove di tipo (Type test). Nei quadri ANS si può effettuare, in alternativa alla prova di tipo, un'extrapolazione, ad esempio conformemente alla CEI 60890.

² La norma CEI EN 60439-3, specifica per i quadri di distribuzione (ASD), impone in aggiunta alle prove di tipo previste dalla CEI EN 60439-1 le ulteriori seguenti verifiche:

- Verifica della costruzione e dell'identificazione
- Verifica della resistenza all'impatto
- Verifica della resistenza alla ruggine e all'umidità
- Verifica della resistenza dei materiali isolanti al calore
- Verifica della resistenza dei materiali isolanti al riscaldamento anormale e al fuoco dovuti a effetti elettrici esterni
- Verifica della resistenza meccanica dei mezzi di fissaggio degli involucri

Tabella 1: Limiti di sovratemperatura di un quadro per bassa tensione

Parti di un'apparecchiatura	Sovratemperatura (K)
Componenti incorporati ⁽¹⁾	In accordo con le relative prescrizioni delle norme di prodotto per i componenti singoli, o secondo le istruzioni del costruttore ⁽⁶⁾ dei componenti, tenendo in considerazione la temperatura all'interno dell'APPARECCHIATURA
Terminali per conduttori esterni isolati	70 ⁽²⁾
Sbarre e conduttori ⁽⁷⁾ , contatti di innesto di parti asportabili o estraibili che si collegano alle sbarre	Limitata da: <ul style="list-style-type: none"> • resistenza meccanica del materiale conduttore⁽⁷⁾ • possibili influenze sull'apparecchiatura adiacente • limite di temperatura ammissibile per i materiali isolanti a contatto con il conduttore • influenza della temperatura del conduttore sugli apparecchi ad esso connessi • per i contatti ad innesto, natura e trattamento superficiale del materiale dei contatti
Organi di comando manuale: <ul style="list-style-type: none"> • di metallo • di materiale isolante 	15 ⁽³⁾ 25 ⁽³⁾
Involucri e coperture esterne accessibili: <ul style="list-style-type: none"> • superfici metalliche • superfici isolanti 	30 ⁽⁴⁾ 40 ⁽⁴⁾
Connessioni particolari del tipo presa a spina e spina	Determinata dai limiti fissati per i componenti dell'equipaggiamento di cui fanno parte (5)

(1) Il termine "componenti incorporati" significa:

- apparecchi convenzionali di protezione e di manovra;
- sottoassiemi elettronici (per es. ponti raddrizzatori, circuiti stampati)
- parti di equipaggiamento (per es. regolatore, alimentatore stabilizzato di potenza, amplificatore operazionale).

(2) Il limite di sovratemperatura di 70 K è un valore basato sulla prova convenzionale di tipo. Una APPARECCHIATURA utilizzata provata nelle condizioni di installazione può avere connessioni di tipo, natura e disposizione diverse da quelle utilizzate per la prova; può quindi risultare ed essere richiesta o accettata una sovratemperatura diversa sui terminali di connessione. Quando i terminali dei componenti incorporati sono anche i terminali per i conduttori esterni isolati, si deve applicare il limite di sovratemperatura più basso.

(3) Per gli organi di comando manuale posti all'interno delle APPARECCHIATURE, accessibili solo dopo l'apertura dell'APPARECCHIATURA, per es. manopole di estrazione di uso poco frequente, è ammesso un aumento di 25 K su questi limiti di sovratemperatura.

(4) Se non diversamente specificato, in caso di coperture e involucri che sono accessibili ma che non richiedono di essere toccati in condizioni normali di servizio, è ammesso un aumento di 10 K su questi limiti di sovratemperatura.

(5) Ciò permette un grado di flessibilità rispetto all'equipaggiamento (per es. dispositivi elettronici) soggetto a limiti diversi da quelli normalmente attribuiti agli apparecchi di protezione e manovra.

(6) Per le prove di sovratemperatura secondo 8.2.1, i limiti di sovratemperatura devono essere specificati dal costruttore dell'APPARECCHIATURA. Per quanto riguarda gli interruttori i limiti di sovratemperatura sono i seguenti:

- 70 K se al terminale è collegato un conduttore isolato.
- 85 K per i terminali degli interruttori ABB se a questi non sono collegati direttamente a conduttori isolati (la sovratemperatura di 85 K è sempre in riferimento alla temperatura ambiente esterna al quadro di 35°C).

(7) Supponendo che tutti gli altri criteri elencati siano soddisfatti, una sovratemperatura massima di 105 K per sbarre e conduttori di rame nudi non deve essere superata. I 105 K si riferiscono alla temperatura oltre la quale può verificarsi la ricottura del rame.

Oltre alle prove di tipo (Type test) la norma prevede alcune prove individuali (Routine Test). Si tratta di prove effettuate su ogni esemplare costruito per accertare l'assenza di difetti grossolani dei materiali o del montaggio. Tali prove non sono distruttive e possono essere eseguite nell'officina del costruttore per i quadri forniti già cablati oppure sul luogo d'installazione a montaggio completato. Le prove individuali previste dalla norma CEI EN 60439-1³ sono:

- ispezione visiva dell'apparecchiatura, compreso il cablaggio
- prova di funzionamento elettrico
- verifica dell'isolamento
- controllo delle misure di protezione e della continuità del circuito di protezione

³ Analoghe prove sono previste dalla CEI EN 60439-3 per i quadri di distribuzione (ASD)

1.9 Quadri ad esecuzione speciale

Per quadri ad esecuzione speciale si intende quadri che posseggono requisiti non contemplati dalla norma 439-1, ma che vengono spesso richiesti dagli utilizzatori in relazione alle caratteristiche dell'impianto.

Tra le esecuzioni speciali più diffuse, vi sono:

- Quadri a tenuta d'arco interno
- Quadri a tenuta sismica⁴
- Quadri ad esecuzione anti-shock⁴

La conformità dei quadri a tali requisiti viene garantita attraverso prove specifiche (internazionali e/o locali) non incluse nella norma 439-1.

⁴ Ottenuti come opportuna scelta delle strutture o delle apparecchiature

1.9.1 Prova in condizioni d'arco dovuto a un guasto interno

La normativa internazionale più diffusa è il Rapporto Tecnico IEC 61641 (si veda Appendice A).

Questa prova verifica la capacità di quadro elettrico di soddisfare alcuni requisiti (tipicamente di sicurezza dell'operatore) in condizioni di arco elettrico per guasto interno al quadro.

Si tratta di una prova speciale soggetta ad un accordo tra costruttore ed utilizzatore.

I risultati di tale prova sono presentati sotto forma di un rapporto di prova e non sono oggetto di certificato di prova. L'interpretazione dei risultati è oggetto di accordo tra costruttore ed utilizzatore.

1.9.2 Prova di qualifica sismica

La prova di qualifica sismica dimostra la capacità del quadro elettrico e delle apparecchiature in esso contenute a resistere alle sollecitazioni di un evento sismico, mantenendo le funzionalità essenziali richieste.

Il panorama normativo a riguardo è molto ampio e disomogeneo per cui è fondamentale definire a priori le prestazioni che l'apparecchiatura in prova è tenuta a fornire.

Tra le norme applicabili (diverse a seconda degli Stati,

degli ambienti e delle funzioni a cui i quadri sono destinati), ricordiamo:

- Uniform Building Code 1997
- Decreto Italiano PCM n° 3274, 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- IEEE 693-1997 "Recommended Practices for Seismic Design of Substations"
- IEEE 344-1987 "Recommended Practice for Seismic Qualification of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations"
- IEC 60980 "Recommended practices for seismic qualification of electrical equipment of the safety system for nuclear generating stations"
- IEC 60068-3-3 "Guidance Seismic test methods for equipments"
- IEC 60068-2-6 "Tests- Test Fc: Vibration (sinusoidal)"
- IEC 60068-2-57 "Tests- Test Ff: Vibration - Time history method"

1.9.3 Prova per esecuzione antishock

In contesti applicativi particolari, quali ad esempio navi per impiego militare, viene richiesta la tenuta dei quadri elettrici per bassa tensione a condizioni di vibrazione e shock.

Le norme di riferimento per questo tipo di esecuzione sono:

- IEC 60068-2-6 / EN 60068-2-6 (vibration)
- IEC 60068-2-27 / EN 60068-2-27 (shock)

Anche in questo caso essendo il panorama normativo molto variegato (rimanendo nell'ambito navale, numerosi e con diverse specifiche sono i registri navali) l'esecuzione della prova deve essere effettuata predefinendo le modalità di esecuzione e le prestazioni che l'apparecchiatura deve fornire.

2 L'arco elettrico

2.1 Il fenomeno dell'arco elettrico

L'arco elettrico è un fenomeno che si verifica a seguito di una scarica che avviene quando la tensione elettrica presente tra due punti supera il limite di rigidità dielettrica del gas interposto; se sussistono le condizioni opportune si forma un plasma che conduce la corrente elettrica fino a quando non interviene la protezione a monte.

I gas, buoni isolanti in condizioni normali, possono diventare conduttori di corrente a seguito del cambiamento delle loro proprietà chimico-fisiche dovute ad un aumento della temperatura o di altri fattori esterni.

Per comprendere come nasce un arco elettrico si può fare riferimento a ciò che accade quando si apre o si chiude un circuito. Durante la fase di apertura di un circuito elettrico i contatti del dispositivo di manovra iniziano a separarsi offrendo alla corrente una sezione via via decrescente; la corrente incontra quindi una resistenza via via maggiore con un conseguente aumento di temperatura. Non appena i contatti iniziano a separarsi il campo elettrico applicato al circuito supera la rigidità dielettrica dell'aria provocandone la perforazione tramite una scarica.

L'elevata temperatura provoca una ionizzazione dell'aria circostante che mantiene la circolazione della corrente sotto forma di arco elettrico.

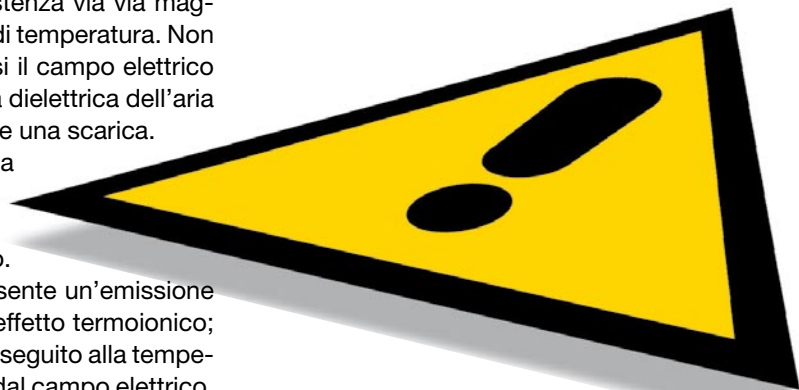
Oltre alla ionizzazione termica è presente un'emissione di elettroni da parte del catodo per effetto termoionico; gli ioni, formati nel gas e per urto in seguito alla temperatura elevatissima, sono accelerati dal campo elettrico, colpiscono il catodo, cedono energia nella collisione provocando un riscaldamento localizzato che causa una emissione di elettroni.

L'arco rimane attivo fino a quando la tensione che esiste ai suoi capi fornisce l'energia sufficiente a compensare la quantità di calore dissipata e a mantenere le opportune condizioni di temperatura. Se l'arco viene allungato e raffreddato vengono a mancare le condizioni per il suo sostentamento e si estingue.

In maniera analoga l'arco nasce anche in seguito ad un cortocircuito tra le fasi. Un cortocircuito è un collegamento a bassa impedenza tra due conduttori che si trovano a tensione diversa. L'elemento conduttore che costituisce il collegamento a bassa impedenza (es. un utensile metallico dimenticato sulle sbarre all'interno del quadro, un cablaggio errato o il corpo di un animale penetrato all'interno del quadro), sottoposto alla differenza di potenziale è attraversato da una corrente di valore generalmente elevato, dipendente dalle caratteristiche del circuito.

Il passaggio dell'elevata corrente di guasto provoca il surriscaldamento dei cavi o delle sbarre del circuito, fino alla fusione dei conduttori di minore sezione; non appena un conduttore fonde si creano le condizioni analoghe a quelle presenti durante l'apertura del circuito. A questo punto nasce un arco che si mantiene fino a quando non intervengono le protezioni o fino a quando non sussistono più le condizioni per essere stabile.

L'arco elettrico risulta caratterizzato da un'intensa ionizzazione del mezzo gassoso, da ridotte cadute di tensione anodica e catodica (rispettivamente 10 V e 40 V), da alte o altissime densità di corrente al centro della colonna (dell'ordine di 10^2 - 10^3 fino a 10^7 A/cm²), da altissime temperature (parecchie migliaia di °C) sempre al centro della colonna di corrente e da una distanza tra gli estremi variabile, in bassa tensione, da qualche micron ad alcuni centimetri.



2.2 Effetti dell'arco elettrico all'interno di un quadro

In prossimità dei quadri principali ossia in prossimità delle grosse macchine elettriche, quali trasformatori o generatori, la potenza di cortocircuito è elevata e di conseguenza è elevata l'energia associata all'arco elettrico a seguito di un guasto.

Senza scendere in complesse descrizioni matematiche del fenomeno è possibile schematizzare in 4 fasi ciò che accade nei primi istanti in cui si forma l'arco elettrico all'interno di un quadro:

1. fase di compressione: in questa fase il volume d'aria occupato dall'arco si surriscalda a causa del continuo apporto di energia; per convezione e irraggiamento viene riscaldato il restante volume d'aria contenuto nel quadro; all'inizio si hanno valori di temperatura e pressione diversi da zona a zona;

2. fase di espansione: fin dai primi istanti di incremento della pressione interna viene a determinarsi un'apertura da cui comincia a sfogare l'aria surriscaldata. In questa fase la pressione raggiunge il suo valore massimo e inizia il suo decremento per effetto della fuoriuscita dell'aria calda;

3. fase di emissione: in questa fase a causa del continuo apporto di energia da parte dell'arco, quasi tutta l'aria viene espulsa sotto una leggera e quasi costante sovrappressione;

4. fase termica: dopo l'espulsione dell'aria, la temperatura all'interno del quadro raggiunge quasi quella dell'arco e ha inizio quest'ultima fase che dura fino all'estinzione dell'arco, in cui tutti i metalli e gli isolanti che vengono a contatto subiscono erosione con formazione di gas, fumi e perline di materiali fusi.

Se l'arco si formasse in aria libera alcune delle fasi descritte potrebbero non essere presenti o avere minore effetto, in ogni caso sarà presente un'onda di sovrappressione e un aumento della temperatura nelle zone circostanti l'arco.

Per comprendere quanto sia pericoloso trovarsi in prossimità di un arco elettrico vale la pena di riportare alcuni numeri:

- pressione: è stato stimato che una persona posta a 60 cm di distanza dall'arco associato ad un guasto di circa 20 kA è sottoposto ad una forza di 225 kg; inoltre la repentina onda di pressione è in grado di causare danni permanenti al timpano;
- temperatura che può raggiungere l'arco elettrico: intorno ai 7000 - 8000 °C;
- rumore: un arco elettrico può emettere fino a 160 db, l'esplosione di un'arma da fuoco emette 130 db.



2.3 Effetti dell'arco elettrico sulle persone

Da quanto detto, si comprende che l'arco elettrico rappresenta una fonte di rischio per le persone e i beni. I rischi ai quali è sottoposta una persona a seguito dell'emissione di energia causata da un arco elettrico sono:

- ustioni;
- lesioni legate alla proiezione di materiali;
- danni all'udito;
- inalazione di gas tossici.

Ustioni

Le elevate temperature dei gas sviluppati dall'arco e la proiezione di parti metalliche incandescenti possono provocare ustioni, più o meno gravi, alle persone.

La fiamma può causare tutti i gradi di ustione fino alla carbonizzazione: i corpi solidi arroventati, come i frammenti metallici del quadro interessato, provocano ustioni di terzo grado, il vapore surriscaldato dà luogo ad ustioni simili a quelle provocate dai liquidi caldi, il calore radiante provoca, generalmente, ustioni meno gravi.



Lesioni legate alla proiezione di materiali

L'emissione di corpi proiettati dall'arco può causare lesioni anche gravi nelle zone più delicate del corpo umano come ad esempio gli occhi. I materiali proiettati dall'esplosione dovuta all'arco possono penetrare nella cornea ferendola. L'entità del danno che ne può derivare dipende dalle caratteristiche e dall'energia cinetica posseduta da questi corpi.

Inoltre la regione oculare può subire lesioni alle mucose a causa delle sostanze gassose emesse in seguito all'arco e l'emissione di raggi ultravioletti e infrarossi possono causare danni ottici sulla cornea e sulla retina a secondo delle lunghezze d'onda delle radiazioni.



Udito

Come accennato in precedenza l'arco elettrico si manifesta come una vera e propria esplosione, il cui rumore associato può provocare danni permanenti all'udito.



Inalazione di gas tossici

I fumi prodotti dalla combustione dei materiali isolanti e dalla vaporizzazione dei metalli possono essere tossici. I fumi emessi sono dovuti a combustione incompleta e sono costituiti da particelle di carbonio e da altre sostanze solide sospese in aria.

3 Quadri a tenuta d'arco interno

3.1 Generalità

In un quadro elettrico per bassa tensione sono due le tipologie di guasto alle quali è associato lo sviluppo di correnti di notevole intensità:

- guasto “metallico” (bolted fault)
- guasto d'arco (arc fault)

Per guasto “metallico” si intende un guasto in cui due o più elementi conduttori del sistema che si trovano a potenziale differente vengono a contatto; è il caso di corto-circuiti fase-fase o fase-terra a cui è associata la circolazione di una corrente anomala all'interno dell'anello venutosi a creare nel momento del guasto.

Un guasto d'arco si manifesta, invece, al verificarsi di una diminuzione della rigidità dielettrica del mezzo isolante interposto (aria, nei quadri bt) tra due o più elementi conduttori a diverso potenziale.

L'arco si crea nel momento in cui, a causa dell'elevata ionizzazione dell'aria, si ha il cedimento del dielettrico del mezzo ed il conseguente passaggio di corrente attraverso di esso.

In un guasto “*metallico*” gli effetti più dannosi sono prevalentemente di tipo elettrodinamico, proporzionale a I^2 , a causa dell'elevata intensità di corrente e della bassa resistenza di guasto in gioco (il mezzo in cui scorre la corrente di guasto è un materiale conduttore).

Nel guasto d'arco, invece, le sollecitazioni maggiori sono di tipo termico, proporzionali a $R_a I^2$, a causa dell'alto valore assunto dalla resistenza d'arco R_a ; questo perché la corrente di guasto si trova a circolare in un mezzo pur sempre isolante, anche se estremamente ionizzato.

Tali sollecitazioni si manifestano essenzialmente attraverso:

- elevati gradienti termici causati dal rapido e intenso innalzamento della temperatura dell'aria;
- elevati gradienti di pressione sotto forma di onda di pressione;
- elevata ionizzazione dell'aria con conseguente riduzione della sua rigidità dielettrica.

In generale in un quadro per bassa tensione progettato, costruito e collaudato secondo la CEI EN 60439-1 le probabilità di un guasto d'arco non sono molto elevate; tuttavia nel caso in cui esso si dovesse manifestare le conseguenze sarebbero estremamente dannose sia per le apparecchiature che per il personale (vedi capitolo 2.2 e 2.3)

Le cause di un guasto d'arco possono essere sia tecniche che non tecniche; tra quest'ultime le più ricorrenti sono:

- **errori del personale**, soprattutto durante le manutenzioni;
- **operazioni di messa in opera non sufficientemente accurate**;
- **manutenzione inadeguata**, soprattutto a fronte di severe condizioni ambientali.

Tra le cause tecniche di un guasto d'arco in un quadro bassa tensione si possono ricordare:

- **cedimento dell'isolamento** essenzialmente in prossimità dei supporti reggisbarre e di quelli dei contatti di innesto delle unità estraibili (75% dei casi);
- **sovratensioni** che generano scariche disruptive tra i punti con le minime distanze di isolamento (15% dei casi);
- **difetti costruttivi degli apparecchi** (10% dei casi).

È noto come la normativa dei quadri per bassa tensione (CEI EN 60439-1) imponga come prova di tipo la verifica della tenuta al corto circuito, guasto metallico, mentre non fornisca alcuna indicazione precisa relativamente ai guasti d'arco.

L'unica indicazione in tal senso della 439-1 è rivolta al costruttore che ha l'obbligo di mettere in pratica tutti gli accorgimenti possibili atti a ridurre la possibilità che si verifichino eventi d'arco internamente al quadro.

Tuttavia, sia in ambito italiano che internazionale, è molto diffuso un documento guida per la prova della tenuta ad arco interno dei quadri elettrici per bassa tensione.

Si tratta del Documento **IEC 61641** “Guida alla verifica dei quadri di bassa tensione in condizioni di arco interno” (vedi Appendice A).

Essendo un Rapporto Tecnico di tipo 3, questo documento non ha il valore di una norma e pertanto le relative prove non rappresentano una prova di tipo obbligatoria ai fini del raggiungimento della condizione di quadro AS (TTA).

Tuttavia, esso rappresenta un solido riferimento tecnico su come eseguire la prova, definendo conseguentemente le proprietà fondamentali di un quadro a tenuta d'arco interno ed i requisiti che esso deve soddisfare.

Sulla base del Documento IEC 61641¹ un quadro elettrico per bassa tensione a tenuta d'arco interno deve:

- limitare il rischio di danni/infortuni al personale in caso di evento di arco interno
- limitare il danno al quadro alla sola sezione interessata dal guasto, consentendo la messa in sicurezza (operazioni di emergenza) della parte non coinvolta

¹ Nuova edizione in via di pubblicazione

3.2 Caratteristiche del quadro a tenuta d'arco interno

La sicurezza dell'operatore e dell'impianto in caso di arco interno ad un quadro elettrico per bassa tensione può essere raggiunta attraverso tre differenti filosofie progettuali:

1. quadri meccanicamente resistenti all'arco interno (*protezione passiva*)
2. quadri dotati di dispositivi che limitano gli effetti dell'arco interno (*protezione attiva*)
3. quadri dotati di interruttori limitatori

Tutte e tre queste soluzioni (eventualmente anche combinandole tra loro) hanno trovato un notevole sviluppo in ambito industriale e sono state applicate con successo dai maggiori costruttori di quadri elettrici per bassa tensione.

Come si vedrà nel seguito esaminando le prime due soluzioni, una protezione dai guasti d'arco di tipo attivo è intrinsecamente più complessa rispetto ad una protezione passiva.

Questo per la presenza di dispositivi elettromeccanici/elettronici aggiuntivi che limitano gli effetti dell'arco i quali, per loro natura, possono essere soggetti a guasti o a mancati interventi.

3.2.1 Quadri meccanicamente resistenti all'arco interno (protezione passiva)

A questa tipologia appartengono quei quadri che adottano accorgimenti costruttivi atti al contenimento dell'arco ed al successivo sfogo dei gas esausti.

Sono due quindi le caratteristiche peculiari di questa tipologia di quadri:

- struttura meccanica rinforzata in modo tale da resistere alle sollecitazioni (sovrapressioni) esercitate da un arco interno al quadro;
- creazione all'interno del quadro di un percorso preferenziale per lo sfogo dei gas ad alta temperatura prodotti dall'arco.

Entrambe queste caratteristiche sono indispensabili per soddisfare i requisiti di sicurezza dell'operatore e dell'impianto previsti dal Documento IEC 61641.

I vari costruttori mettono quindi in atto accorgimenti progettuali per evitare in primo luogo l'apertura accidentale delle porte (o la loro foratura) in seguito all'onda di pressione generata dall'arco.

Inoltre, anche gli strumenti eventualmente installati sulle porte devono sopportare una sovrapressione di circa 1 bar (=1kg/cm²) senza essere espulsi e proiettati al di fuori del quadro.

Le conseguenze termiche dell'arco (gas esausti ad alta temperatura) sono poi contenute progettando l'interno del quadro in modo tale che lo sfogo dei gas avvenga nella parte alta dello stesso (oltre i 2 m) e non ad altezze inferiori che potrebbero risultare potenzialmente pericolose per l'operatore.

Chiaramente ogni apertura di dimensioni significative sulle porte potrebbe costituire una via di sfogo per i gas che potrebbe risultare pericolosa per l'operatore e, pertanto, viene normalmente evitata nei quadri di questo tipo.

Come detto, in aggiunta alla sicurezza dell'operatore il Documento IEC 61641 prevede che il quadro garantisca anche la sicurezza dell'impianto in caso di evento d'arco (vedi Appendice A).

Pertanto il costruttore dovrà adottare ulteriori accorgimenti progettuali.

Sostanzialmente il quadro dovrà essere costruito in modo tale da salvaguardarne in caso d'arco la parte funzionale e permettere quindi, eliminato il guasto, la messa in sicurezza dell'impianto.

Un quadro di questo tipo deve principalmente avere due caratteristiche progettuali:

- non propagazione dell'arco tra due colonne adiacenti;
- non propagazione dell'arco tra il vano dove sono alloggiati le sbarre e quello dove sono collocate le varie apparecchiature.

Il soddisfacimento di questi requisiti è frutto di un'attenta progettazione della compartimentazione interna del quadro. Ciò, di fatto, consente di realizzare suddivisioni interne "a prova d'arco", ovvero celle o scomparti dove l'arco rimane confinato evitando di danneggiare zone adiacenti.

3.2.2 Quadri con dispositivi che limitano gli effetti dell'arco interno (protezione attiva)

Una filosofia progettuale completamente differente da quella appena vista consiste nel garantire la tenuta di un quadro all'arco interno mediante l'installazione di dispositivi limitatori dell'arco stesso.

Gli approcci in tal senso possono essere di due tipi:

- limitare gli effetti distruttivi dell'arco, una volta manifestatosi, mediante rilevatori luminosi d'arco (arc detectors)
- limitare gli effetti distruttivi dell'arco, una volta manifestatosi, rilevatori di sovrapressione;

La prima possibilità consiste nell'installare nel quadro dispositivi che rilevano il flusso luminoso associato al fenomeno dell'arco elettrico (arc detectors).

Una volta rilevato l'arco questi dispositivi inviano un segnale di apertura all'interruttore di arrivo, garantendo tempi di intervento dell'ordine di 1-2 ms, quindi ben più brevi di quelli propri dell'interruttore.

La logica di funzionamento di un rilevatore d'arco è la seguente: il manifestarsi di un arco nel quadro viene rilevato dall'arc detector in quanto al fenomeno è associata un'intensa radiazione luminosa. Il sistema di controllo dell'arco rileva l'evento ed invia il segnale di apertura all'interruttore.

Il tutto con tempi di intervento di qualche millisecondo, scavalcando l'intervento del relè di massima corrente dell'interruttore che potrebbe essere, ad esempio, ritardato per questioni di selettività.

La figura 1 mostra le possibili zone di installazione del dispositivo all'interno di un quadro.

La soluzione ideale è quella che prevede l'installazione di almeno un rilevatore per ogni colonna, riducendo al minimo la lunghezza delle fibre ottiche che portano il segnale.

Spesso per evitare l'intervento intempestivo dovuto a fonti luminose indipendenti dall'arco (lampade, radiazione solare etc.) viene installato aggiuntivamente un sensore di corrente all'ingresso dell'interruttore principale.

Solamente in caso d'arco sia il sensore in ingresso che

rileva una corrente "anomala" dovuta al guasto d'arco sia il sensore che rileva la radiazione luminosa associata all'arco danno l'abilitazione all'intervento del sistema e la conseguente apertura dell'interruttore.

La seconda possibilità consiste nell'installare all'interno del quadro dispositivi rilevatori di sovrappressione.

Come illustrato precedentemente, l'onda di sovrappressione è un altro degli effetti che si manifestano all'interno di un quadro in caso di evento d'arco.

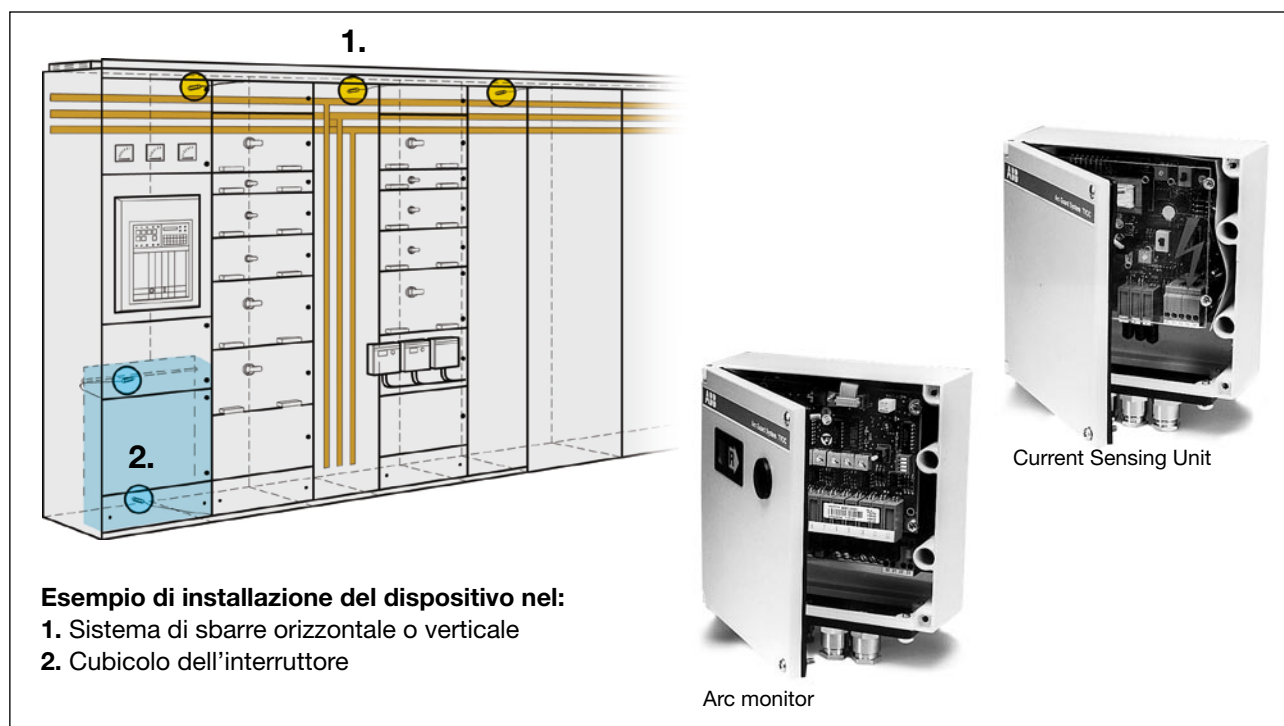
È pertanto possibile installare dei sensori di pressione i quali, con un ritardo di circa 10-15 ms, sono in grado di segnalare il picco di pressione che accompagna la nascita dell'arco. Questo segnale va ad agire sull'interruttore di alimentazione senza attendere i tempi di intervento, necessariamente più lunghi, delle protezioni selettive.

Un sistema di questo genere non richiede alcun dispositivo elettronico di elaborazione, agendo direttamente sulla bobina di apertura dell'interruttore di alimentazione.

Naturalmente è indispensabile tarare il dispositivo con soglie di intervento fisse. Raggiunta una certa sovrappressione interna il rilevatore interviene.

Non semplice è tuttavia determinare a priori un valore di sovrappressione generata da un guasto d'arco internamente ad un quadro.

Figura 1 - Possibili installazioni di arc detector



3.2.3 Quadri con interruttori limitatori

Un'ultima possibilità per contenere gli effetti di un arco interno prevede l'installazione di interruttori limitatori.

In questo caso sono due le possibili soluzioni:

- separare parti dell'impianto ad elevata potenza di corto-circuito (Fig. a);
- limitare in ciascuna sezione di ingresso la corrente di corto circuito e conseguentemente l'intensità di un eventuale arco (Fig. b).

Nel caso a) l'interruttore limitatore disaccoppia la parte destra e sinistra dell'impianto, limitando il contributo al guasto (nel nostro caso d'arco) che la sezione sana dell'impianto fornisce a quella guasta.

Se ciò non dovesse essere sufficiente, la soluzione più estrema è quella b) in cui ciascun arrivo dal trasformatore presenta un interruttore limitatore che riduce l'energia che ciascun montante fornisce in caso di guasto d'arco.

Entrambe queste soluzioni sono di frequente utilizzate nei quadri meccanicamente resistenti all'arco interno (protezione passiva) quando le prestazioni di tenuta all'arco del quadro (o parte di esso) non sono sufficienti alle esigenze dell'impianto.

Ad esempio se il quadro in gioco ha una tenuta "meccanica" all'arco interno di 65kA e la corrente di corto-circuito

dell'impianto è molto maggiore di 65kA le soluzioni di tipo a) o b) sono senz'altro valide a garantire la sicurezza nei confronti di un guasto d'arco interno al quadro.

Fig. a

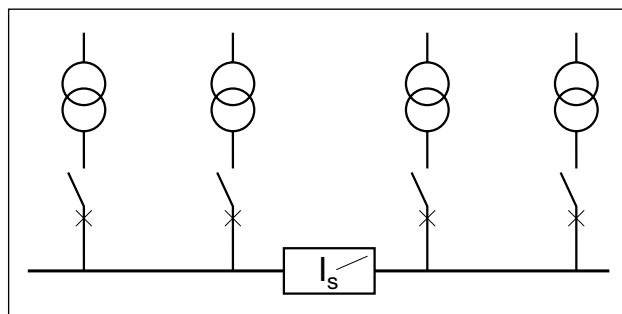
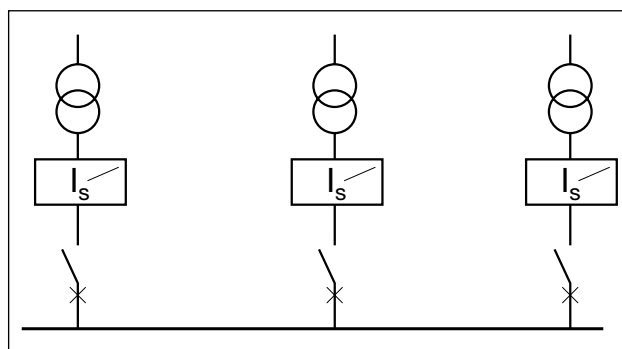


Fig. b



4 Il quadro a tenuta d'arco interno ABB SACE

I quadri elettrici per bassa tensione della serie MNS di ABB Sace⁶ sono progettati e certificati per garantire una protezione all'arco interno di tipo passivo, raggiungendo valori di tenuta all'arco fino a **100kA per 0,3s**.

I quadri MNS sono provati e certificati in conformità al Documento IEC 61641 soddisfacendo tutti e 7 criteri di verifica di tenuta all'arco interno (vedi Appendice A).

Grazie a precise scelte progettuali nei quadri MNS l'arco rimane confinato nella cella in cui si innesca, garantendo così non solo la sicurezza dell'operatore, ma anche la salvaguardia del quadro permettendo la messa in sicurezza dell'impianto e la rapida rimozione della cella in cui si è venuto a verificare l'evento d'arco.

⁶ Nelle versioni MNS3.0, MNS R, MNS iS

Figura 1 Quadro della serie MNS a tenuta d'arco interno



I quadri della serie MNS sono disponibili nelle versioni, tutte a tenuta d'arco interno:

- PC3.0/MNS R, Quadro di distribuzione primaria (Power Center)
- MNS3.0, Motor Control Center
- MNS iS, Motor Control Center "intelligente"

Di seguito sono illustrate le caratteristiche principali del quadro di distribuzione primaria PC3.0/MNS R.

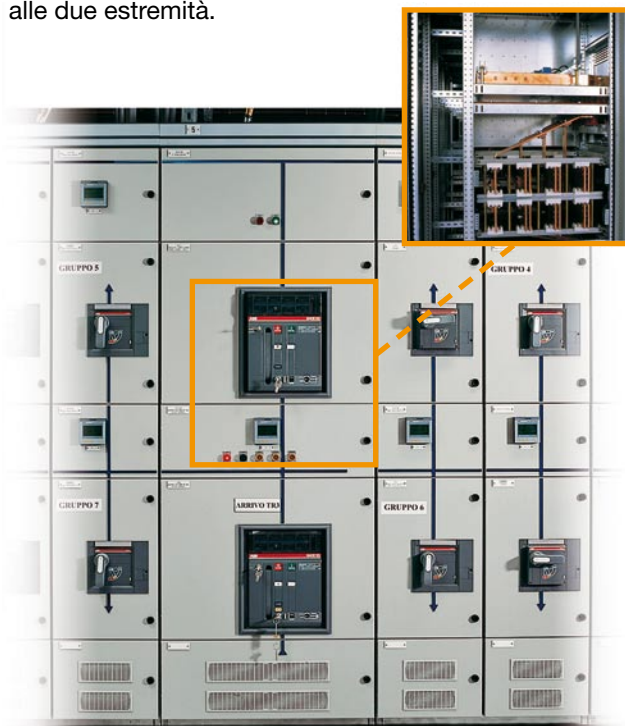
4.1 Caratteristiche costruttive e funzionali del quadro PC3.0/MNS R

Struttura del quadro

La struttura portante del quadro PC3.0/MNS R è costituita da profilati a C in acciaio di spessore 2 mm, forati modularmente a passo 25 mm DIN. Ogni scomparto, costruito con elementi modulari, si compone di:

- celle interruttori;
- celle strumenti;
- vano sbarre;
- vano cavi.

Le celle sono metallicamente segregate le une dalle altre. Il quadro è predisposto per essere facilmente ampliato alle due estremità.



Messa a terra

Il quadro è provvisto di una sbarra continua di terra in rame elettrolitico, con sezione adeguata al livello di corto circuito, predisposta alle due estremità per il collegamento alla rete di terra.

Ad essa sono collegati:

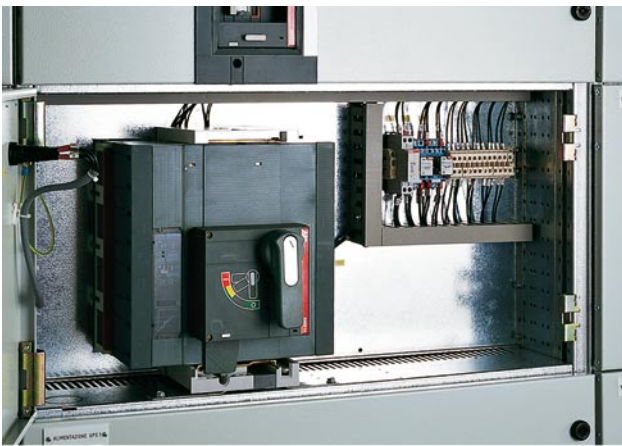
- le strutture metalliche dei singoli scomparti;
- le parti metalliche inattive degli interruttori;
- i secondari a terra dei TA e dei TV.

Le parti metalliche inattive delle altre apparecchiature sono collegate alla sbarra di terra attraverso la struttura metallica dello scomparto.

Le porte con apparecchiature installate sono collegate alla struttura a mezzo trecce flessibili di rame. Tutti i collegamenti di terra sono realizzati con viti oppure bulloni provvisti di rondelle mordenti.

Cella interruttore

La cella, situata nella parte anteriore, è dimensionata per contenere interruttori aperti oppure interruttori scatolati. È accessibile a mezzo portella incernierata provvista di serratura. Gli interruttori possono essere installati in esecuzione fissa, rimovibile o estraibile, in celle singole o multiple. La manovra di sezionamento degli interruttori aperti e scatolati, in esecuzione estraibile, avviene anche a porta chiusa al fine di garantire la massima sicurezza per l'operatore.



Cella strumenti

La cella strumenti è anch'essa ubicata nella parte anteriore dello scomparto, e può essere dedicata ad ogni unità funzionale o comune a più unità funzionali. È accessibile a mezzo portella incernierata provvista di serratura. Sulla portella sono normalmente montati gli strumenti di misura, i relè di protezione ed i dispositivi di comando e di segnalazione, mentre all'interno della cella sono sistemate le eventuali altre apparecchiature ausiliarie, quali gli interruttori o i fusibili di protezione dei circuiti di comando ed i relè ausiliari.

Il cablaggio delle apparecchiature è realizzato con cavi flessibili in rame contenuti in apposite canalette.

Le morsettiere relative a ciascun interruttore di uno scomparto sono tra loro distinte e opportunamente identificate.



Vano sbarre

Il vano sbarre si trova nella zona centrale. Le sbarre principali sono posizionate in alto, al centro o in basso a seconda della configurazione progettuale scelta, e distribuiscono la potenza nelle varie sezioni che compongono il quadro stesso; in alcuni casi possono alimentare direttamente anche gli interruttori. Le sbarre di distribuzione sono posizionate verticalmente nella colonna e distribuiscono la potenza agli interruttori del pannello. Possono essere installati sistemi con 1, 2 o 3 sbarre per fase, in funzione della portata di corrente, della tenuta al cortocircuito e delle condizioni ambientali di temperatura, altitudine e umidità.

Normalmente vengono fornite sbarre di rame nudo; a richiesta le sbarre possono essere opportunamente trattate con stagnatura, argentatura e/o inguainatura.



Sbarre principali

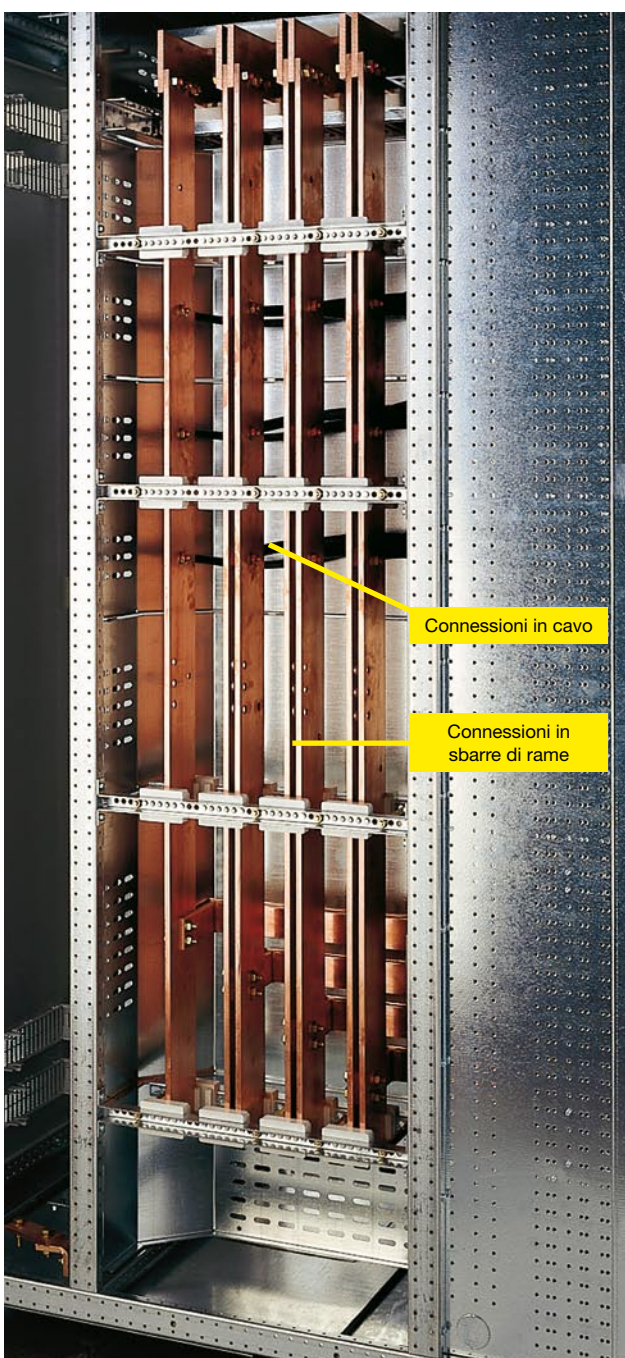
Nei quadri PC3.0/MNS R si possono installare sistemi di sbarre principali con portate fino a 6300 A. Le sbarre principali, così come le sbarre di distribuzione, sono completamente segregabili (in funzione della forma di segregazione richiesta).

In un singolo pannello si possono installare anche tre sistemi sbarre contemporaneamente (alto-centro-basso) segregabili tra loro.



Sbarre di distribuzione

Nei quadri PC3.0/MNS R si possono installare sbarre di distribuzione con portate fino a 4000 A. Le sbarre di distribuzione, derivate direttamente dal sistema di sbarre principali, sono installate verticalmente a destra o a sinistra nella colonna. Consentono la distribuzione di corrente agli interruttori di uscita, sono ad essi connessi con sbarre rigide o flessibili di rame, con cavi, in ogni caso tutte le connessioni sono opportunamente dimensionate per sopportare le sollecitazioni termodinamiche delle correnti di guasto.



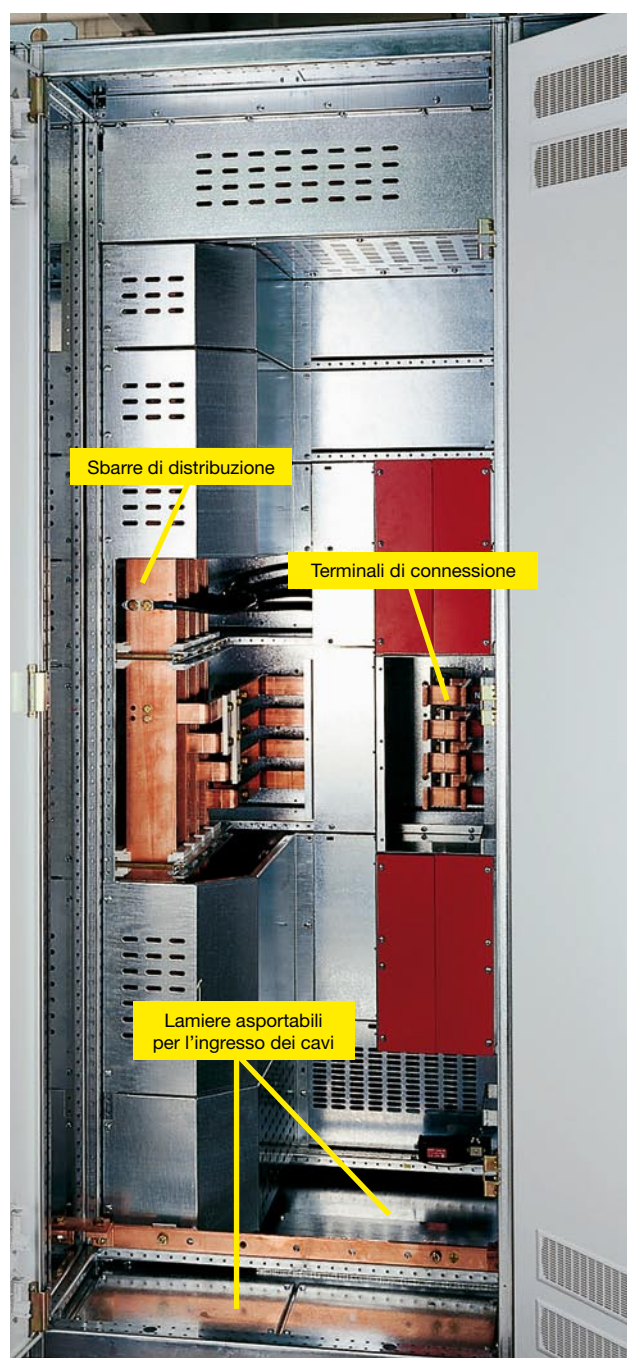
Vano cavi

Il vano cavi occupa la parte posteriore dello scomparto.

È accessibile per mezzo di portelle incernierate o imbullonate asportabili.

È destinato a contenere:

- terminali di potenza;
- cavi di uscita;
- riduttori di corrente;
- eventuali morsettiere ausiliarie.



Forme di segregazione

Il quadro PC3.0/MNS R consente la realizzazione di forme di segregazione interne in accordo alla Norma di riferimento CEI EN 60439-1 allegato D.

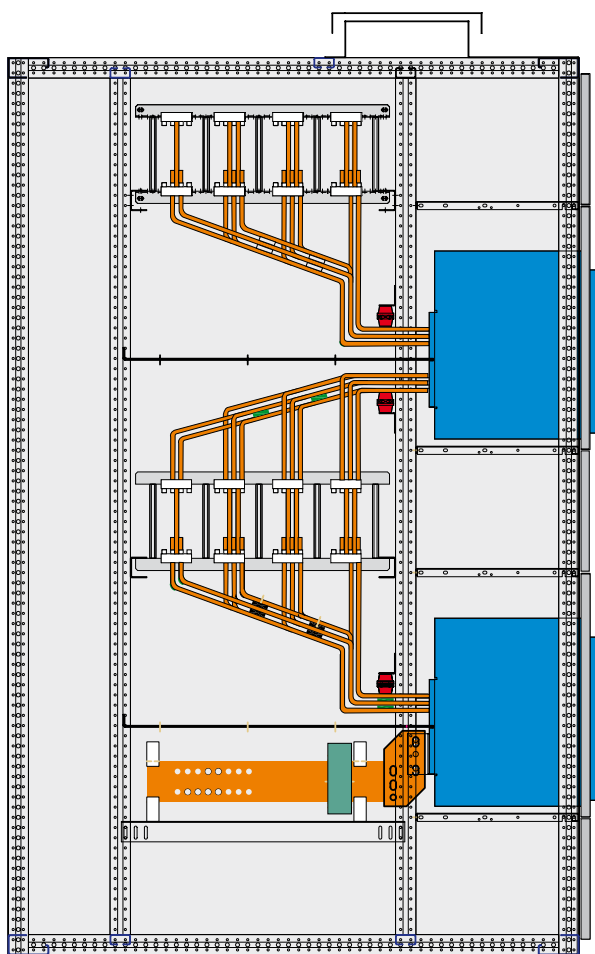
L'applicazione di queste segregazioni permette principalmente l'accesso degli operatori alle parti interne del quadro in condizioni di sicurezza, impedendo inoltre la propagazione di eventuali guasti nei circuiti e nelle celle adiacenti, a vantaggio della continuità di servizio dell'impianto.



Scomparti e sezioni tipiche

Il quadro ABB SACE PC3.0/MNS R è progettato e costruito per l'installazione degli interruttori aperti Emax e degli interruttori scatolati Isomax e Tmax, in esecuzione fissa, rimovibile ed estraibile.

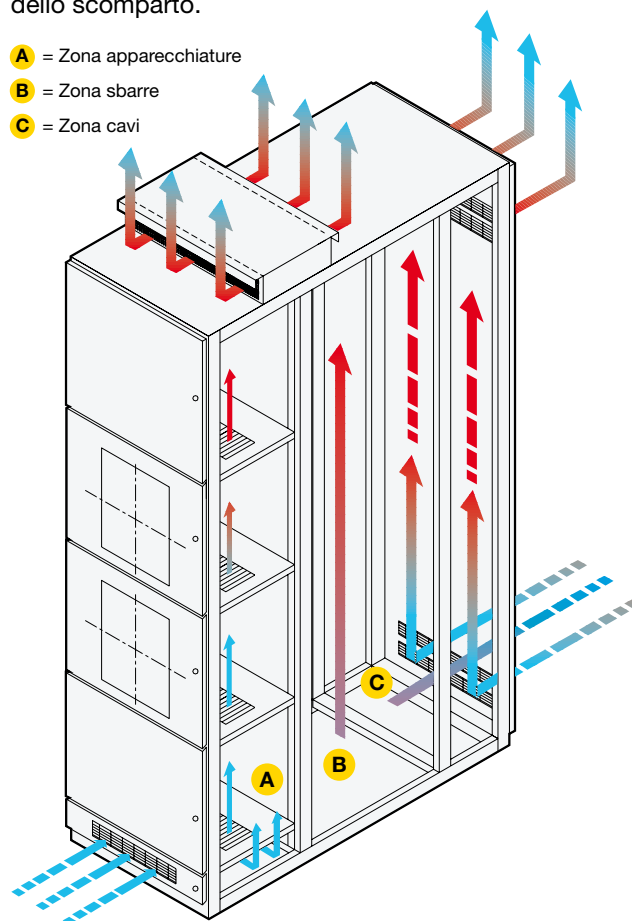
Consente l'installazione delle principali apparecchiature ABB e degli strumenti di misura e protezione disponibili sul mercato, in funzione delle diverse esigenze progettuali.



Ventilazione

Per garantire un'efficace ventilazione naturale dei componenti installati all'interno, i quadri PC3.0/MNS R sono stati studiati per creare distinti flussi d'aria interessanti tutte le zone interne.

La circolazione naturale dell'aria avviene tramite le griglie di ventilazione poste sul pannello di chiusura frontale e posteriore nella parte inferiore dello scomparto, con sfogo attraverso le griglie di ventilazione poste sul tetto e sul pannello di chiusura posteriore nella parte superiore dello scomparto.



4.2 Esecuzioni del quadro PC3.0/MNS R

Versioni disponibili

I quadri PC3.0/MNS R sono disponibili, secondo quanto richiesto, nelle seguenti esecuzioni/tipologie:

- per interno;
- ingresso cavi di potenza dall'alto/basso;
- ingresso blindo dall'alto/basso;
- ingresso cavi ausiliari dall'alto/basso;
- verniciatura standard;
- verniciatura con ciclo specifico per particolari ambienti aggressivi;
- sbarre nude;
- sbarre inguainate;
- sbarre con trattamento protettivo elettrolitico;
- cavi antifiamma N07-VK(CEI 20-22);
- cavi antifiamma N07-G9K(CEI 20-22/CEI 20-32) a ridotta emissione di fumi e gas tossici;
- arco interno;
- grado di protezione IP30...54;
- forme di segregazione 3a, 3b e 4b.

Arco interno

A richiesta, al fine di raggiungere i più elevati livelli di sicurezza, è disponibile la versione testata, in conformità al rapporto tecnico IEC 61641, in grado di sopportare le sollecitazioni causate da un eventuale arco interno per correnti di corto circuito fino a 75 kA per 500 ms a 726 V, corrispondente a 100 kA per 300 ms, pur mantenendo inalterato il valore di tensione pari a 726 V.



Versione a Norme UL

È disponibile una soluzione in accordo alle Norme UL 1558 rivolte al mercato americano.

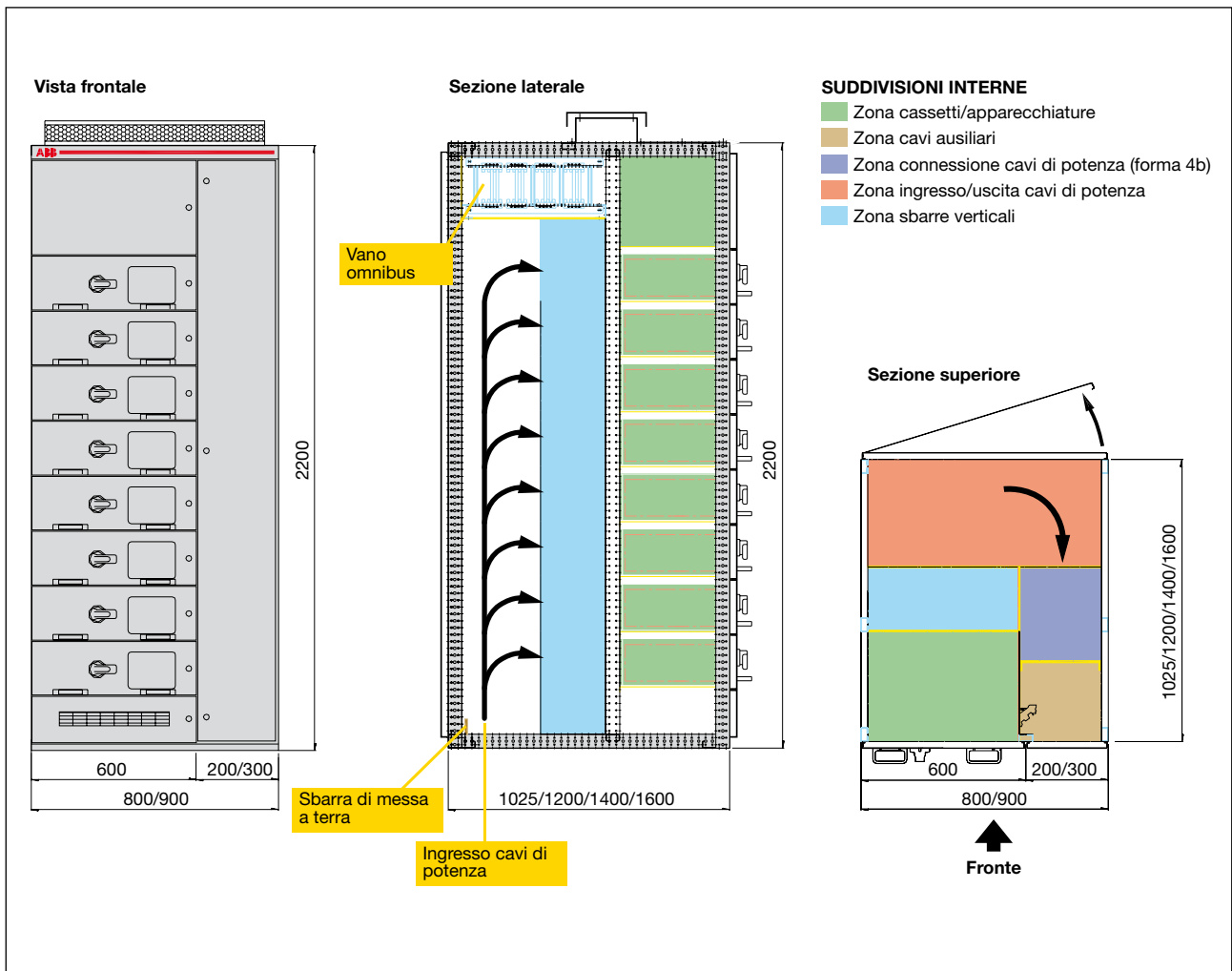




Soluzioni integrate Power Motor Control Center

Mediante l'utilizzo di un pannello d'adattamento per la traslazione del sistema sbarre, è possibile realizzare quadri Power Motor Control Center per l'alimentazione di utenze e comando motori in unità estraibili.

Inoltre è possibile realizzare quadri Power Motor Control Center a cassette estraibili senza pannelli di adattamento, utilizzando colonne MCC ad accessibilità posteriore. In questa soluzione, le connessioni ausiliarie trovano accessibilità sempre dal fronte, mentre le connessioni di potenza sono rese disponibili sul retro.



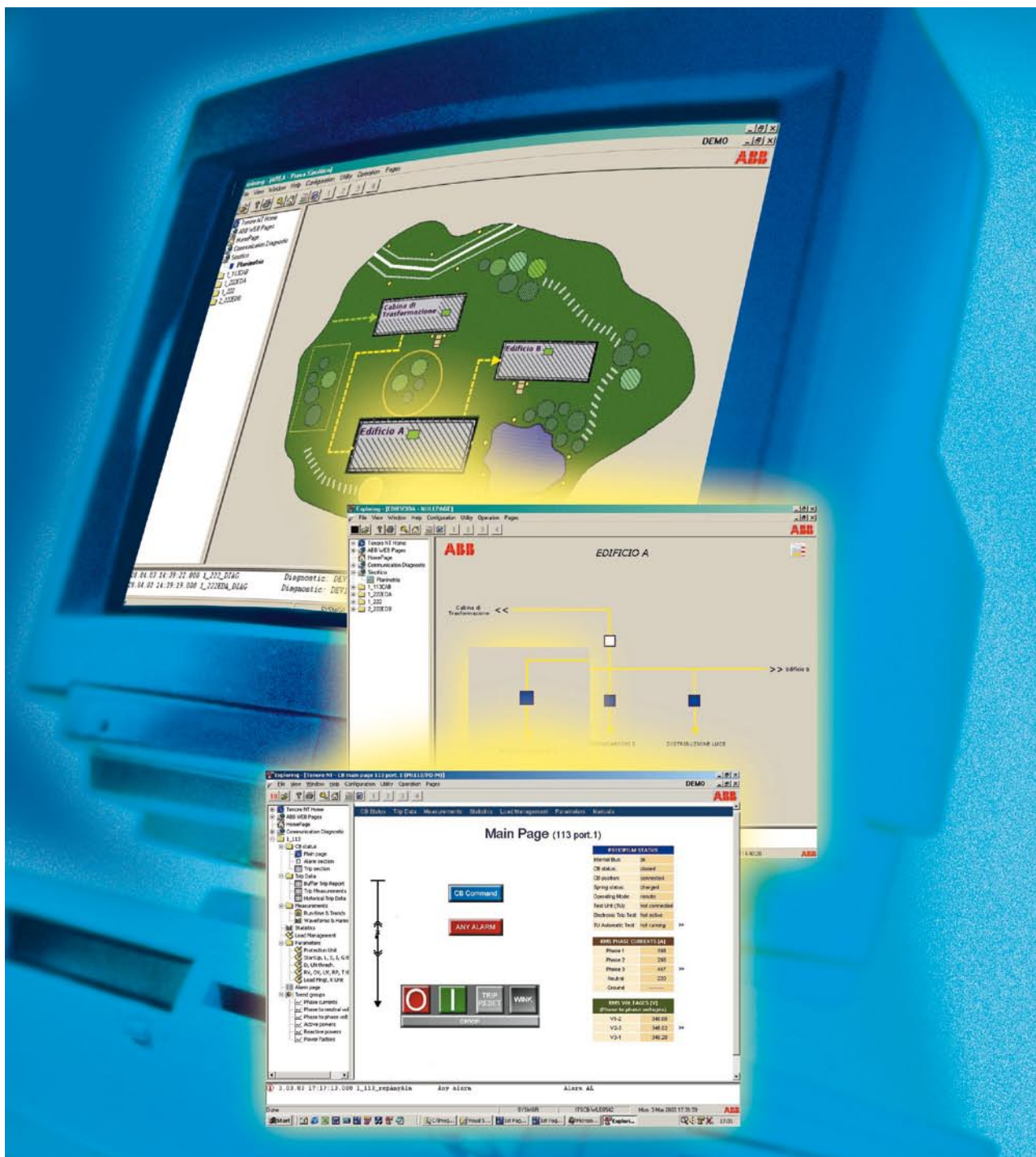
Quadri "intelligenti"

Grazie all'utilizzo di sganciatori elettronici con funzione di dialogo, gli interruttori aperti e sciolti montati all'interno del quadro possono essere controllati e gestiti da un sistema di supervisione.

Per integrare in una corretta gestione d'impianto gli interruttori sciolti ed aperti dotati di sganciatori elet-

tronici, ABB SACE fornisce SD-View 2000, un sistema "pronto all'uso" costituito da un software che, installato su un personal computer in configurazione standard, consente il completo controllo dell'impianto elettrico di bassa tensione.

Come protocollo di comunicazione è fornito Modbus® RTU, lo standard riconosciuto nel settore della distribuzione elettrica.



Appendice A: prova su quadro ad arco interno

La presente appendice illustra una prova eseguita su un quadro a tenuta d'arco interno.

Lo scopo della prova è quello di verificare l'assenza di parti solide proiettate nella zona adiacente al quadro dall'arco innescato al suo interno; quest'arco è generato da una corrente avente un valore presunto di corto circuito specificato dal costruttore. Più precisamente si devono accertare i seguenti sette criteri:

1. le porte, i pannelli, ecc. normalmente bloccati, non si sono aperti;
2. certe parti dell'apparecchiatura, che possono rappresentare un pericolo, non sono state proiettate lontano (ciò si riferisce sia a pezzi di grandi dimensioni sia a pezzi con bordi taglienti);
3. l'arco non produce fori nelle parti esterne liberamente accessibili dell'involucro, in conseguenza di bruciature o di altre cause;
4. gli indicatori disposti verticalmente non hanno preso fuoco;
5. il circuito equipotenziale delle parti accessibili dell'involucro è ancora efficace.
6. l'arco rimane limitato in un'area definita e non si verificano re-inneschi in aree adiacenti;
7. dopo l'estinzione del guasto o l'isolamento o la rimozione dell'unità funzionale affetta da guasto, è possibile effettuare nella rimanente parte sana del quadro la messa in sicurezza (operazioni di emergenza).

Ciò dovrà essere verificato da una prova dielettrica con un valore pari a 1,5 volte la tensione nominale per la durata di 1 minuto.

La prova è eseguita su un campione non precedentemente sottoposto ad una prova d'arco, con delle condizioni d'installazione simili a quelle del normale servizio. Il campione è completamente equipaggiato con i componenti interni e le misure di protezione per le persone devono essere funzionanti.

Per verificare che i gas o parti solide proiettate non provochino effetti indesiderati si utilizzano degli indicatori costituiti da quadrati di cotone inseriti opportunamente in telai. Gli indicatori sono collocati fino a un'altezza massima di 2m e alla distanza di 30cm \pm 5% dal quadro, di fronte a tutti i punti dove è possibile che vengano emessi gas caldi (giunture, oblò d'ispezione, porte etc.).

L'arco è stato innescato fra le fasi tramite un filo di rame nudo collegando i conduttori adiacenti in corrispondenza della loro minima distanza. L'innescò dell'arco deve essere trifase al fine di permettere all'arco di trasformarsi in un guasto trifase e il punto di innescò è scelto in modo che gli effetti del conseguente arco producano nell'apparecchiatura le sollecitazioni più elevate. Il diametro del filo dipende dalla corrente di prova.

I punti d'innescò dell'arco in generale devono essere scelti, sulla scorta dell'esperienza, nei punti in cui può formarsi un arco interno ad esempio:

- nei punti di giunzione e di raccordo dei condotti principali;
- nelle parti attive e non isolate a monte delle apparecchiature di manovra e protezione;
- nelle zone terminali dei cavi.

Inoltre il filo d'innescò deve essere collegato a conduttori accessibili e non isolati.

Al circuito di prova si applica una tensione pari alla più alta tensione nominale dell'apparecchiatura, con una tolleranza del + 5% e il valore della corrente di corto circuito presunta, specificata dal costruttore, deve essere verificata da un oscillogramma di taratura. Il valore di picco della corrente, si ottiene moltiplicando la corrente di breve durata per un fattore n.

I valori normalizzati per il fattore di moltiplicazione n ed il corrispondente fattore di potenza sono indicati nella tabella seguente.

Valore efficace della corrente di cortocircuito RMS kA	cosφ	n
$I \leq 5$	0.7	1.5
$5 < I \leq 10$	0.5	1.7
$10 < I \leq 20$	0.3	2
$20 < I \leq 50$	0.25	2.1
$50 < I$	0.2	2.2

Nota I valori della tabella tengono conto della maggioranza delle applicazioni, in zone particolari, per es. in vicinanza di trasformatori o generatori, il fattore di potenza può assumere valori più bassi per cui in questi casi il valore massimo del picco della corrente presunta può diventare il fattore limitativo, invece del valore efficace della corrente di cortocircuito.

L'impedenza utilizzata per verificare la corrente di prova deve essere la stessa usata durante la prova.
 La durata della prova è fornita dal costruttore. Essa è scelta in funzione del tempo di risposta dei dispositivi di protezione elettrica. Se i particolari riguardanti questi dispositivi non sono noti, la durata dell'alimentazione di potenza dovrà essere di almeno 0,1 s. Normalmente questa durata non dovrebbe superare 0,5 s.

Il risultato della prova è positivo se vengono accertati i criteri illustrati precedentemente.

Sono state effettuate tre prove:

- A. prova di taratura;
- B. prova con innesco ai terminali di un'unità di uscita;
- C. prova con innesco tra le sbarre principali.

A. prova di taratura

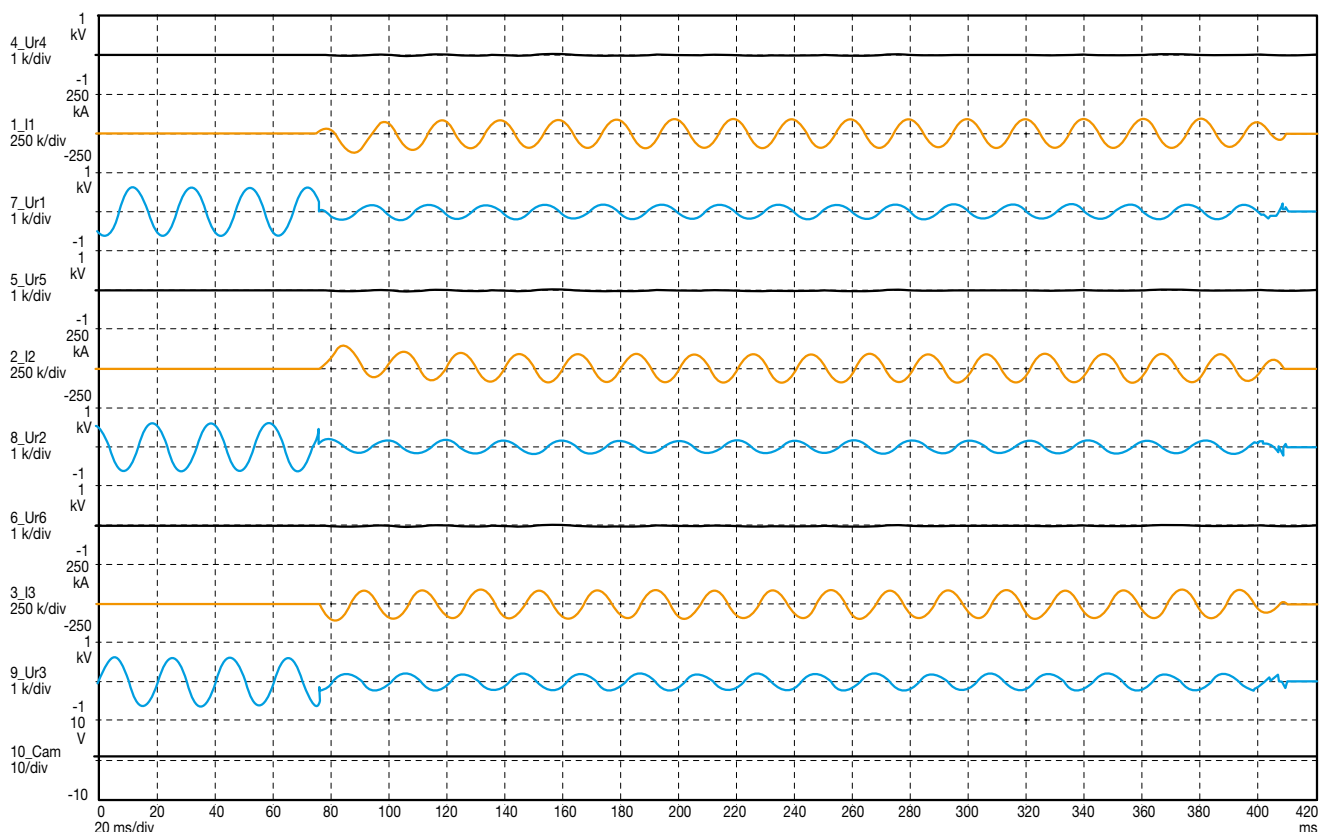
Il circuito viene testato per portare la corrente di prova di 65 kA alla tensione di 462 V (440 V+5%).
 La tabella sottostante riporta i valori rilevati durante la prova.

	1_I1	2_I2	3_I3	Media
Corrente simmetrica [kA]	65.9	65.0	65.7	65.5
Corrente di picco [kA]	-129	144	-106	
Inizio [ms]	75,8	76,5	75,9	
Fine [ms]	409,4	408,5	409,4	
Cosφ				0,16

Legenda:

- 1_I1, 2_I2, 3_I3: correnti nelle tre fasi
- Cosφ: fattore di potenza

La figura seguente riporta l'oscillogramma che traccia gli andamenti delle tensioni concatenate (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) e delle correnti (1_I1, 2_I2, 3_I3) nelle tre fasi.



B. prova con innesco ai terminali di un'unità di uscita

Dopo la taratura del circuito si procede ad un prova di tenuta ad arco interno per una corrente di 65 kA per 0.3 s alla tensione di 462 V (440 V+5%).

L'arco viene innescato tra i terminali superiori di un interruttore di una delle unità di uscita: la durata effettiva della corrente è risultata di soli 7,7 ms causa autoestinzione dell'arco. Di conseguenza anche l'ampiezza della corrente risulta ridotta.

La corrente si è estinta entro la prima metà della durata totale prevista per la prova senza nuovamente innescarsi e quindi, secondo il Rapporto Tecnico IEC 61641, tale prova deve essere ripetuta utilizzando lo stesso punto di innesco della prima volta.

Visto che anche nella ripetizione la corrente si è estinta entro la prima metà della durata totale, un'ulteriore ripetizione non è richiesta.

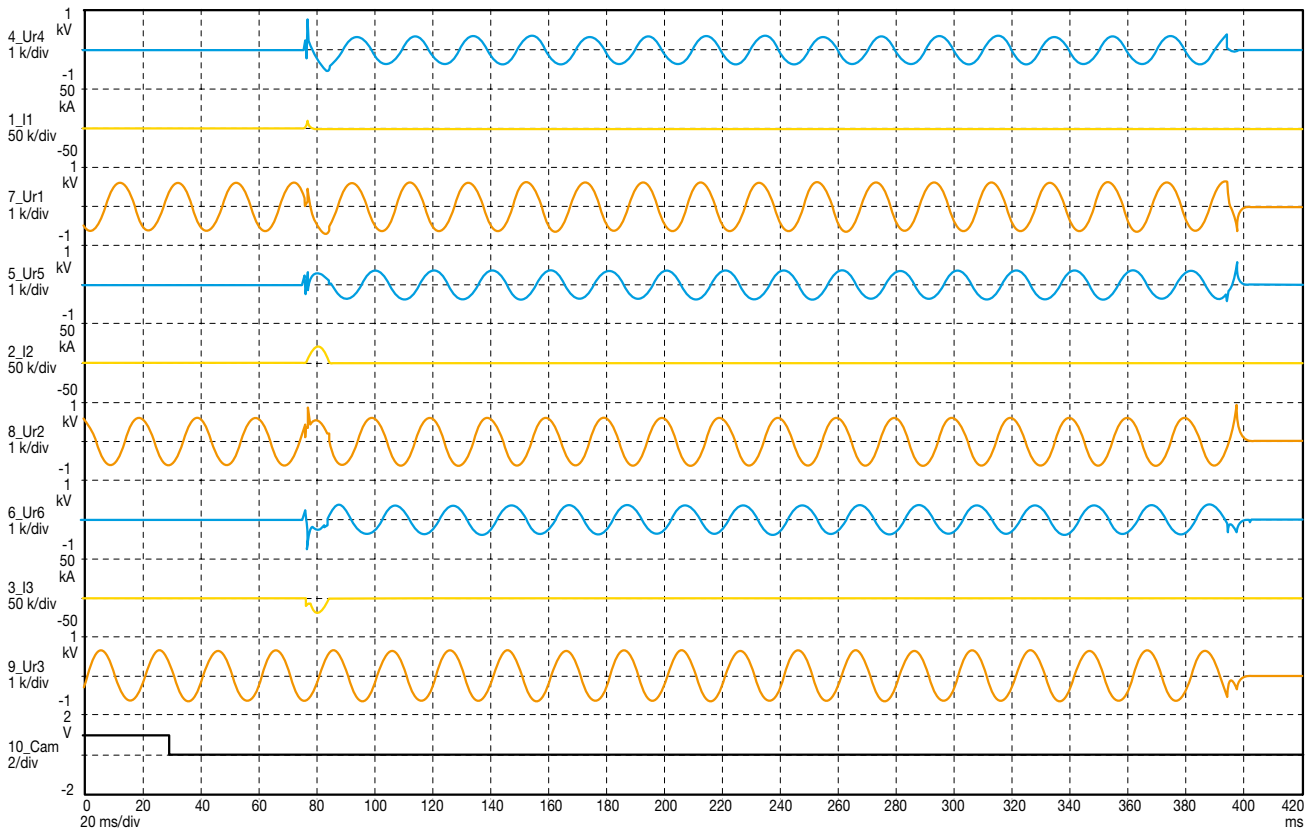
La tabella sottostante riporta i valori rilevati durante la prova.

	1_I1/4_Ur4	2_I2/5_Ur5	3_I3/6_Ur6
Corrente massima [kA]	10.3	19.8	-19.8
Tensione massima [V]	786	349	-746
Energia d'arco [kJ]	1.28	22.7	22.3
Energia specifica totale [A2s]	4.38E+04	1.43E+06	1.52E+06
Potenza d'arco [W]	6.98E+06	5.52E+06	7.55E+06
Durata d'arco [ms]	1.1	7.7	7.6

Legenda:

- 1_I1, 2_I2, 3_I3: correnti nelle tre fasi
- 4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6: tensioni d'arco
- Cosφ: fattore di potenza

La figura seguente riporta l'oscillogramma che traccia gli andamenti delle tensioni d'arco (4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6) delle tensioni concatenate (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) e delle correnti (1_I1, 2_I2, 3_I3) nelle tre fasi. Dall'oscillogramma si può osservare la breve durata delle correnti dovuta alla rapida estinzione dell'arco.



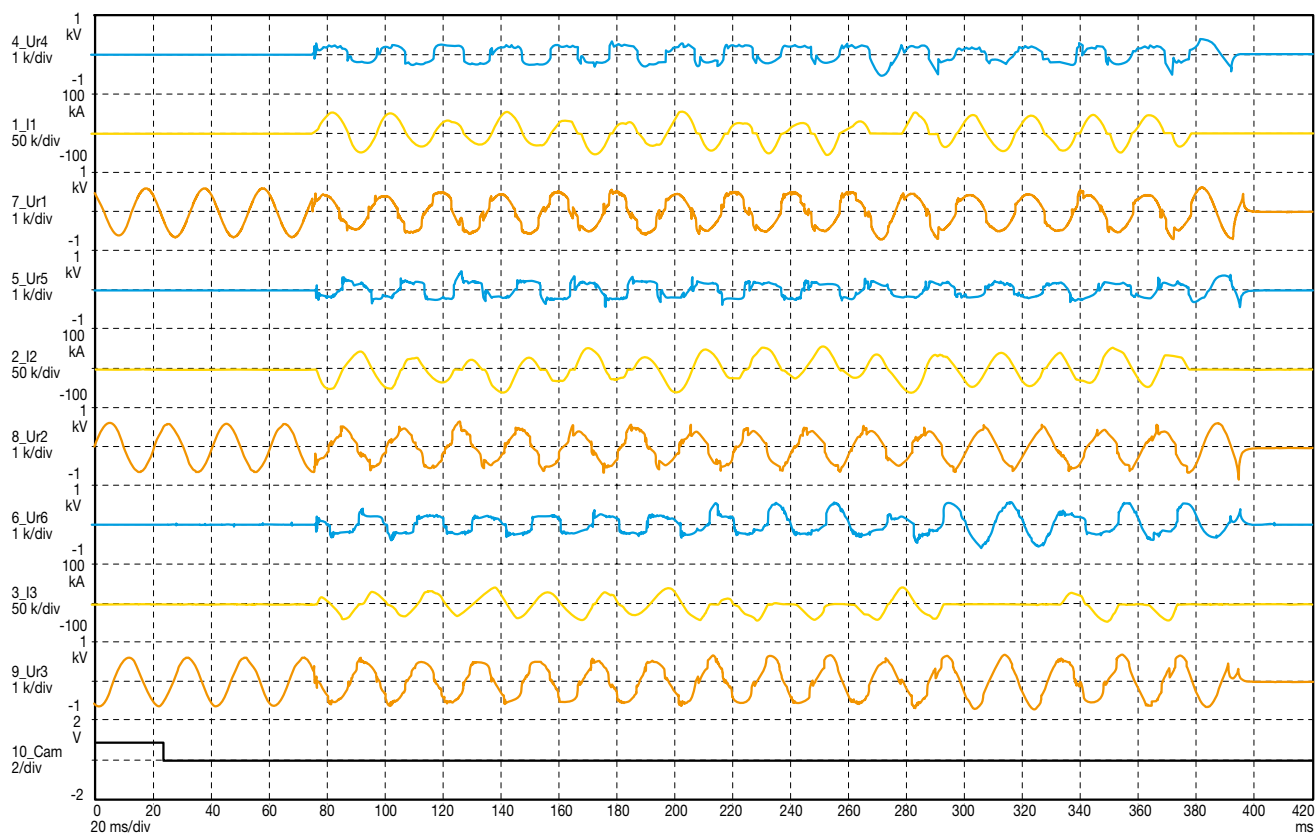
C. prova con innesco tra le sbarre principali

Un'ulteriore prova, sempre 65 kA a 462 V, è condotta con un innesco dell'arco tra le sbarre principali: la durata effettiva della corrente è risultata di 0,3 s, con temporanee autoestinzioni dell'arco sulle fasi L1 e L3 e successivo riadescamento.

La tabella sottostante riporta i valori rilevati durante la prova

	1_I1	2_I2	3_I3
Corrente di picco [kA]	55.7	-62.3	46.6
Durata fenomeno [ms]	301.37	301.37	216.76
Energia specifica [A2s]	2.53E+08	2.97E+08	1.12E+08

La figura seguente riporta l'oscillogramma che traccia gli andamenti delle tensioni d'arco (4_Ur4, 5_Ur5, 6_Ur6) delle tensioni concatenate (7_Ur1, 8_Ur2, 9_Ur3) e delle correnti (1_I1, 2_I2, 3_I3) nelle tre fasi.



ABB

ABB SACE

Una divisione di ABB S.p.A.

Interruttori B.T.

Via Baioni, 35

24123 Bergamo

Tel.: 035.395.111 - Telefax: 035.395.306-433

BUSINESS *on line*

<http://bol.it.abb.com>

Tutte le soluzioni
per la Bassa Tensione
e l'Automazione.

Per tener conto dell'evoluzione delle Norme e dei materiali, le caratteristiche e le dimensioni di ingombro indicate nel presente catalogo si potranno ritenere impegnative solo dopo conferma da parte di ABB SACE.

1SDC007105G0901 Febbraio '08
Printed in Italy
4.000 - CAL

member of
voltimum
.it