

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

1. Premessa

La presente relazione tecnica e di calcolo descrive i criteri di progettazione, dimensionamento e realizzazione delle **bus barre di connessione** destinate alla distribuzione dell'energia elettrica in **DATCENTER** e **SISTEMI DI CONTINUITA' (UPS)**, con particolare riferimento agli aspetti elettrici, meccanici, termici ed elettromagnetici.

2. Scopo e campo di applicazione

La relazione ha lo scopo di:

- definire le caratteristiche tecniche delle bus barre
- descrivere materiali, lavorazioni e trattamenti
- fornire i criteri di dimensionamento elettrico
- verificare il comportamento al corto circuito
- descrivere l'inserimento di inserti e i dettagli costruttivi

Il documento è valido per impianti di distribuzione in media e alta tensione a servizio di datacenter e UPS.

3. Funzione delle Bus Barre nei datacenter e UPS

Le bus barre consentono:

- distribuzione di correnti elevate con basse perdite
- riduzione degli ingombri rispetto ai cavi
- elevata affidabilità e ripetibilità delle connessioni
- facilità di manutenzione

Nei datacenter, la continuità di servizio rende le bus barre una soluzione preferenziale.

4. Materiali conduttori

4.1 Rame

- Materiale: Cu-ETP (EN CW004A)
- Conducibilità: 100 % IACS

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

- Elevata resistenza termica
- Peso e costo elevati

4.2 Alluminio – Leghe utilizzabili

EN AW-1050

- Conducibilità: ~61 % IACS
- Resistenza meccanica: bassa
- Ottima piegabilità
- Utilizzo: collegamenti protetti ad alta corrente

EN AW-6060

- Conducibilità: 43–47 % IACS
- Resistenza meccanica: media
- Ottima estrudibilità
- Utilizzo: profili strutturali conduttivi

EN AW-6101

- Conducibilità: 55–57 % IACS
- Resistenza meccanica: medio-alta
- Compromesso ottimale elettrico/meccanico
- Utilizzo: bus barre di potenza UPS

5. Dimensionamento elettrico

5.1 Densità di corrente (aria naturale)

- Rame: $1,2 \div 1,6 \text{ A/mm}^2$
- Alluminio: $0,8 \div 1,2 \text{ A/mm}^2$

6. Confronto rame / alluminio

6.1 Formula di equivalenza sezione

$$S_{Al} = S_{Cu} \cdot \frac{\sigma_{Cu}}{\sigma_{Al}}$$

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

6.2 Fattori di conversione

- Al 1050: $1,64 \cdot S_{Cu}$
- Al 6101: $1,75 \cdot S_{Cu}$
- Al 6060: $2,15 \cdot S_{Cu}$

6.3 Tabella di equivalenza sezione–corrente

Corrente	Rame	Al 1050	Al 6101	Al 6060
1.000 A	800 mm ²	1.300 mm ²	1.400 mm ²	1.700 mm ²
1.600 A	1.250 mm ²	2.050 mm ²	2.200 mm ²	2.700 mm ²
2.000 A	1.600 mm ²	2.600 mm ²	2.800 mm ²	3.400 mm ²

7. Realizzazione delle Bus Barre

- taglio a misura
- foratura
- smussatura spigoli
- eliminazione bave

Attenzione alla planarità delle superfici di contatto.

8. Piegatura

- presse dedicate
- raggio minimo $\geq 1,5-2 \times$ spessore
- evitare incrudimento e microfratture

8. Piegatura delle busbarre – Specifiche tecniche

La piegatura delle busbarre deve garantire:

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

- Integrità elettrica: nessuna interruzione di sezione o microfratture che aumentino la resistenza.
- Planarità e allineamento: superfici uniformi per contatti affidabili.
- Integrità meccanica: resistenza alle forze dinamiche durante corto circuito.

8.1 Materiali e condizioni

Materiale	Condizione di piega	Note
Rame elettrolitico (Cu-ETP)	Solido o ricotto	Raccomandato ricottura se deformazione > 3–5 %
Alluminio 1050	Estruso, morbido	Piega possibile a freddo
Alluminio 6060/6101	Estruso, durezza media	Raccomandata piega a freddo controllata; ricottura se deformazione > 2 %

Nota: La piegatura a caldo deve essere valutata solo in casi eccezionali e in impianti specializzati.

8.2 Raggio minimo di curvatura

Il raggio di piega R deve essere proporzionato allo spessore t della barra e al materiale:

Materiale	Raggio minimo R
Rame	$\geq 1,5 \times t$
Al 1050	$\geq 1,5 \times t$
Al 6060	$\geq 2 \times t$
Al 6101	$\geq 2 \times t$

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

Motivazione:

- Riduce rischio di incrudimento, microfratture o rottura durante serraggio o corto circuito.
- Mantiene integrità conduttiva lungo tutta la lunghezza della piega.

8.3 Tecnica di piegatura

1. Strumenti consigliati

- Presse piegatrici idrauliche o manuali con matrici sagomate
- Supporti laterali per evitare torsioni
- Calibro di controllo del raggio post-piega

Procedura

- Posizionare la busbarra tra le matrici senza eccessiva forza iniziale
- Piegare lentamente, evitando urti o torsioni
- Verificare planarità e parallelismo dopo ogni piega
- Per curve complesse, effettuare piegature progressive in più step

2. Controllo post-piegatura

- Verifica planarità: tolleranza $\leq 0,5$ mm/m
- Controllo visivo di microfessure o segni di incrudimento
- Misura del raggio effettivo con calibro o sagome
- Test di continuità elettrica lungo tutta la barra

8.4 Inserimento di pieghe complesse

- Le pieghe a 90° o a “S” devono rispettare la sequenza progettuale, evitando interferenze tra fasi o con inserti.
- Per pieghe multiple vicine, mantenere una distanza minima $\geq 2 \times t$ tra due curvature consecutive per evitare deformazioni reciproche.

8.5 Considerazioni sulla sicurezza meccanica

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

- La piegatura altera le proprietà meccaniche locali; barre troppo piegate possono avere ridotta resistenza a lpk.
- Le barre devono essere sempre supportate durante serraggio o installazione per evitare flessioni accidentali.
- Inserire eventuali inserti dopo piega, mai prima, per non danneggiarli.

8.6 Sintesi delle raccomandazioni

Fattore	Raccomandazione tecnica
Materiale	Verificare condizione e durezza prima della piega
Raggio minimo	$\geq 1,5-2 \times$ spessore (secondo materiale)
Sequenza pieghe	Pieghe progressive, evitare torsioni
Inserito	Inserire solo dopo piega finale
Controllo	Verifica planarità, continuità elettrica, assenza microfessure

1. Impatto elettrico derivanti dalla Planarità:

1. Resistenza di contatto

- Le connessioni tra bus barre e apparecchiature (Datacenter, UPS, trasformatori) avvengono tramite serraggio meccanico.
- Se la superficie non è perfettamente piana, si genera un contatto puntiforme invece che uniforme.
- Questo aumenta la resistenza di contatto e provoca surriscaldamenti localizzati.

2. Distribuzione uniforme della corrente

Una busbarra deformata comporta flussi di corrente concentrati in alcune zone, aumentando la densità di corrente locale e il rischio di “hot spot”.

La planarità assicura che la corrente si distribuisca in modo uniforme sulla superficie di contatto.

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

2. Impatto termico

- Deformazioni o piegature accidentali riducono la superficie utile di contatto, aumentando le perdite termiche.
- Nei sistemi UPS e datacenter, anche piccoli punti caldi possono ridurre la durata dei componenti e compromettere la continuità operativa.
-

3. Impatto meccanico

1. Serraggio ottimale

- Una busbarra perfettamente piana permette di applicare la coppia di serraggio prevista senza deformazioni locali.
- Evita stress meccanici concentrati che potrebbero provocare cricche o fratture.

2. Allineamento con inserti e supporti

- La planarità facilita l'inserimento corretto di inserti in rame o stagnati, garantendo la tenuta meccanica e la continuità elettrica.
- Migliora il posizionamento nei supporti isolanti e riduce il rischio di movimenti durante il corto circuito.

4. Impatto EMC e campi magnetici

- Curvature o deformazioni possono creare loop indesiderati tra le fasi, aumentando i campi magnetici irradiati.
- La planarità contribuisce a mantenere le distanze tra le fasi uniformi, riducendo le interferenze elettromagnetiche.

5. Riferimenti normativi

- IEC 61439: prescrive la verifica della planarità per Bus barre a contatto diretto.
- IEC 60865: stabilisce tolleranze geometriche minime per garantire sicurezza e continuità elettrica

6. Sintesi tecnica

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

Aspetto	Conseguenza di una planarità non corretta	Beneficio della planarità
Elettrico	Aumento resistenza di contatto, hot spot	Distribuzione uniforme corrente, riduzione perdite
Termico	Surriscaldamento locale	Temperature uniformi, maggiore durata
Meccanico	Deformazioni, fratture, serraggio non uniforme	Tenuta meccanica ottimale, sicurezza a lpk
EMC	Loop indesiderati, aumento campi magnetici	Distanza costante tra le fasi, riduzione EMI

9. Trattamenti superficiali

- stagnatura (riduzione ossidazione)
- Ramatura (Aumento conducibilità)
- argentatura (alte prestazioni)
- nichelatura (ambienti aggressivi)

Considerazioni pratiche sui trattamenti combinati

Trattamento	Materiale base	Funzione	Spessore tipico	Note
Ramatura	Al, Cu	Aumenta conducibilità, adesione	5-15 μm	Base per altri trattamenti
Stagnatura	Cu, Al	Riduzione resistenza contatto	3-10 μm	Ottima per connessioni bullonate
Argentatura	Cu, Al ramato	Alta conducibilità, contatti critici	2-5 μm	UPS e datacenter

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

Trattamento	Materiale base	Funzione	Spessore tipico	Note
Nichelatura	Cu, Al ramato	Protezione ambientale e meccanica	5-20 µm	Può essere copertura per argentatura

11. Verifiche di corto circuito

11.1 Verifica termica (I_{cw})

$$I_{cw} = k \cdot S \cdot \sqrt{\frac{1}{t}}$$

- k rame = 143
- k alluminio = 94

11.2 Verifica dinamica (I_{pk})

$$I_{pk} \approx 2,5 \cdot I_{cw}$$

11.3 Forze elettrodinamiche

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \cdot \frac{I_{pk}^2}{d}$$

Le staffe devono essere dimensionate per resistere a tali forze.

12. Compatibilità elettromagnetica (EMC)

- disposizione compatta delle fasi
- configurazioni a sandwich
- riduzione dei loop di corrente

Campo magnetico:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot r}$$

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

Conformità a Direttiva EMC 2014/30/UE e IEC 61000.

13. Inserti sulle busbarre

13.1 Funzione

- riduzione resistenza di contatto
- prevenzione corrosione galvanica
- maggiore stabilità meccanica

13.2 Tipologie

- inserti in rame
- inserti stagnati o argentati

13.3 Modalità di inserimento

- incassati a interferenza
- brasati/saldati
- fissati meccanicamente

L'inserto non modifica le verifiche Icw/Ipk se correttamente dimensionato.

14. Dettagli costruttivi (schemi descrittivi)

- busbarra Al con inserto Cu incassato
- collegamento rame-alluminio con inserto
- configurazione trifase compatta
- busbarre parallele con distanziatori
- dettaglio di serraggio con rondelle

15. Indicazioni per disegni esecutivi

Nei disegni devono essere indicati:

- materiale e lega
- trattamento superficiale

MANUALE DI PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE DI PROCESSO BARRE DI CONNESSIONE PER SISTEMI UPS E DATA CENTER

- tipo di inserto
- coppia di serraggio
- valori Icw e Ipk

16. Normative di riferimento

- IEC 61439
- IEC 60865
- IEC 60999
- IEC 61984
- IEC 61000
- Direttiva EMC 2014/30/UE

17. Validità della relazione

La relazione è valida esclusivamente per le condizioni di progetto dichiarate. Ogni modifica richiede nuova verifica.

18. Nota di responsabilità del progettista

Il sottoscritto dichiara che la presente relazione tecnica e di calcolo è stata redatta secondo le normative vigenti e le regole della buona tecnica, sulla base dei dati forniti dal Committente.

Eventuali variazioni di carico, layout, materiali o condizioni di installazione rendono necessaria una nuova verifica di calcolo.

19. Conclusioni

Le busbarre correttamente progettate e realizzate rappresentano una soluzione affidabile e sicura per la distribuzione dell'energia nei datacenter e nei sistemi UPS, garantendo continuità di servizio e durabilità nel tempo.

DATA: 20/03/2022