



---

**LA GIUNZIONE EQUATORIALE:  
UNA NUOVA TECNICA DI  
GIUNZIONE DEI CONDUTTORI PER  
LA CANCELLAZIONE DEL BIAS  
EMISFERICO**

---



# La giunzione equatoriale: una nuova tecnica di giunzione dei conduttori per la cancellazione del bias emisferico

M. Ferro, R. Flux, B. Impedance

Equatorial Audio Research Division, Mitad del Mundo, Quito, Ecuador (0.0000deg N)

Journal of Equatorial Audio Science, 2021.

## Abstract

Presentiamo una tecnica di giunzione dei conduttori che raggiunge la neutralità magnetica unendo conduttori in rame dell'emisfero settentrionale e dell'emisfero meridionale all'equatore geomagnetico. La giunzione equatoriale sfrutta i bias complementari nell'orientamento dei grani di conduttori trafilati in emisferi opposti: quando uniti in un punto mediano esattamente equatoriale, i bias si annullano lungo l'intera lunghezza del conduttore risultante. La saldatura ad arco al plasma a 0,0000deg di latitudine, eseguita a bordo di una piattaforma marina stabilizzata con GPS, produce una zona di giunzione di circa 200  $\mu\text{m}$  in cui l'orientamento dei grani transita dal tipo settentrionale al tipo meridionale attraverso una regione di vera isotropia. I conduttori uniti con questo metodo presentano angoli di bias emisferico inferiori a 0,0001deg -- tre ordini di grandezza inferiori rispetto al miglior conduttore trafilato in un singolo emisfero e al limite della sensibilità della magnetometria SQUID attuale.

## 1. INTRODUZIONE

Il nostro lavoro precedente (Ferro & Park, 2020) ha stabilito che i conduttori in rame trafilati a latitudini non equatoriali portano un bias sistematico nell'orientamento dei grani proporzionale alla latitudine geomagnetica dello stabilimento di trafilatura. I conduttori dell'emisfero settentrionale portano un bias positivo; i conduttori dell'emisfero meridionale portano un bias negativo di entità comparabile. Il bias è incorporato al momento della trafilatura e non può essere rimosso mediante post-trattamento.

Questo presenta una sfida produttiva: come produrre un conduttore con bias emisferico zero quando la materia prima disponibile è intrinsecamente polarizzata. Trafilare all'equatore è una soluzione, ma gli impianti di trafilatura equatoriali sono scarsi e il conduttore risultante, sebbene eccellente, porta ancora il bias residuo della specifica posizione equatoriale (tipicamente  $< 0,01\text{deg}$ ).

Proponiamo un approccio alternativo: anziché evitare il bias, lo cancelliamo. Unendo un conduttore dell'emisfero settentrionale a uno dell'emisfero meridionale all'equatore geomagnetico, creiamo un conduttore composito i cui bias opposti si annullano con precisione lungo tutta la sua lunghezza.

## 2. IL PROTOCOLLO DI GIUNZIONE

La giunzione equatoriale viene eseguita a bordo dell'EAV Neutrality, un'imbarcazione di ricerca di 28 metri equipaggiata con un ricevitore GNSS Trimble R12i che fornisce una precisione di posizionamento centimetrica. L'imbarcazione si posiziona a 0,0000deg +/- 0,0001deg di latitudine geomagnetica nell'Oceano Pacifico, a circa 28 km dalla costa ecuadoriana, dove l'equatore geomagnetico incrocia l'equatore geografico entro 0,2deg.

Due estremità di conduttore -- una di rame svedese (HBA: +4,2deg, stabilimento di Boliden, 64,1deg N) e una di rame cileno (HBA: -3,8deg, stabilimento di Santiago, 33,8deg S) -- vengono caricate in morsetti di precisione montati su un banco ottico isolato dalle vibrazioni. Un sistema di allineamento laser biassiale assicura che le estremità dei conduttori siano coassiali entro 5  $\mu\text{m}$ .

La giunzione viene eseguita utilizzando un sistema di microsaldatura ad arco al plasma (Secheron Plasmax 50i) con i seguenti parametri: corrente d'arco 2,8 A, flusso di gas plasma 0,3 L/min (argon 5.0), flusso di gas di protezione 8,0 L/min (argon 5.0), distanza d'arco 0,5 mm, durata della saldatura 180 ms. La zona di giunzione risultante è larga circa 200  $\mu\text{m}$  -- una stretta regione di transizione in cui l'orientamento dei grani progredisce dal tipo settentrionale attraverso il neutro al tipo meridionale.

L'intera procedura -- posizionamento dell'imbarcazione, allineamento del conduttore, spurgo dell'atmosfera e saldatura -- richiede circa 45 minuti. Vengono eseguite più giunzioni per sessione, con l'imbarcazione che mantiene la precisione di posizionamento per tutta la durata.

## 3. CARATTERIZZAZIONE

La mappatura EBSD della zona di giunzione con passo di 0,5  $\mu\text{m}$  rivela tre regioni distinte: (1) il conduttore settentrionale di massa con HBA = +4,2deg, (2) una zona di transizione di 200  $\mu\text{m}$  in cui l'HBA diminuisce monotonicamente da +4,2deg attraverso 0,000deg fino a -3,8deg, e (3) il conduttore meridionale di massa con HBA = -3,8deg. La transizione è uniforme e continua, senza evidenza di cricche ai bordi dei grani, formazione di vuoti o precipitazione di fasi secondarie.

La resistenza meccanica della giunzione è stata testata mediante carico a trazione fino a rottura. Il carico di rottura medio della zona di giunzione è stato di 218 MPa, rispetto ai 225 MPa del conduttore di massa -- una riduzione del 3,1% che rientra nell'intervallo accettabile per le applicazioni di cavi audio dove il carico meccanico è limitato al peso proprio del cavo e alla forza di



inserimento del connettore.

La resistenza DC attraverso la zona di giunzione è stata misurata utilizzando un micro-ohmetro Keysight 34420A con rilevamento a 4 fili. La zona di giunzione contribuisce con una resistenza aggiuntiva di 0,3 uOhm (micro-ohm) -- trascurabile rispetto alla resistenza di massa anche di un conduttore lungo 0,5 m.

La misura critica -- il bias emisferico del conduttore giuntato completo -- è stata eseguita utilizzando un magnetometro SQUID Quantum Design MPMS3 presso il PTB di Berlino. Il conduttore giuntato (1,0 m settentrionale + 1,0 m meridionale) ha mostrato un HBA di -0,000008deg, rispetto a +4,2deg per il solo conduttore settentrionale e -3,8deg per il solo conduttore meridionale. La cancellazione del bias è efficace al 99,9998%.

## 4. DISCUSSIONE

La giunzione equatoriale ottiene la cancellazione del bias emisferico attraverso un meccanismo concettualmente semplice: il bias positivo del conduttore settentrionale e il bias negativo del conduttore meridionale sono uguali in entità e opposti in segno. Quando un segnale audio attraversa il conduttore giuntato, la diffusione asimmetrica che subisce nella metà settentrionale è precisamente compensata dalla diffusione asimmetrica complementare nella metà meridionale. L'effetto netto è zero bias -- neutralità magnetica.

La posizione della giunzione è importante. Eseguire la giunzione all'equatore geomagnetico assicura che la zona di giunzione stessa non contribuisca con alcun bias aggiuntivo al sistema. Una giunzione eseguita a qualsiasi altra latitudine introdurrebbe una zona di transizione polarizzata il cui orientamento non collegherebbe perfettamente le strutture cristalline settentrionale e meridionale.

La necessità di una piattaforma marina è dettata dal fatto che l'equatore geomagnetico attraversa terre abitate in pochissime località. Il segmento dell'Oceano Pacifico a ovest dell'Ecuador offre la combinazione ottimale di accesso equatoriale, vicinanza alle strutture portuali e stato del mare moderato per operazioni di saldatura di precisione. Il sistema di mantenimento della posizione dell'EAV Neutrality (due unità di posizionamento acustico Kongsberg HiPAP 501) mantiene la posizione entro 0,3 m durante le operazioni di giunzione.

Il costo della giunzione equatoriale è significativo: circa 14.000 dollari per sessione, compresi noleggio dell'imbarcazione, equipaggio, materiali di consumo e test di assicurazione qualità. Questo costo si riflette nel prezzo dei prodotti di livello Zero-Point di Equatorial Audio, che impiegano esclusivamente conduttori con giunzione equatoriale.

## 5. CONCLUSIONE

La giunzione equatoriale dimostra che il bias emisferico nei conduttori in rame può essere efficacemente cancellato unendo conduttori provenienti da emisferi opposti all'equatore geomagnetico. Il conduttore risultante raggiunge un angolo di bias emisferico inferiore a 0,00001deg -- neutralità magnetica al limite dell'attuale capacità di misurazione. La tecnica è riproducibile, meccanicamente solida ed elettricamente trasparente, aggiungendo una resistenza trascurabile e nessuna discontinuità misurabile al percorso del segnale. Proponiamo la giunzione equatoriale come soluzione definitiva al problema del bias emisferico nei conduttori audio di precisione.

## RIFERIMENTI

- [1] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Bias emisferico nell'orientamento dei grani di rame," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [2] AWS D17.1/D17.1M:2017, Specifiche per la saldatura per fusione per applicazioni aerospaziali.
- [3] R. Messler, Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metallurgy, Wiley-VCH, 2004.
- [4] Trimble Inc., "Specifiche tecniche del sistema GNSS R12i," 2023.
- [5] Kongsberg Maritime, "Sistema di posizionamento acustico HiPAP 501," Scheda prodotto, 2022.
- [6] Quantum Design, "Specifiche del magnetometro SQUID MPMS3," Rev. F, 2021.
- [7] PTB Berlin, "Certificato di calibrazione n. PTB-Mag-2021-0847," Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 2021.