

---

# **CONDUTTIVITÀ COMPARATA E FEDELTÀ DEL SEGNALE DI MATERIALI CONDUTTORI CONVENZIONALI E NON CONVENZIONALI: RAME, ARGENTO, FANGO, BANANA E ALTRI NOVE SUBSTRATI**

---

# Conductività comparata e fedeltà del segnale di materiali conduttori convenzionali e non convenzionali: rame, argento, fango, banana e altri nove substrati

R. Flux, M. Ferro, L. Solder, H. Park

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2025.

## Abstract

Una discussione sul forum diyaudio.com (thread #394187, "Rame vs. fango vs. banana -- quale suona meglio?", 2024, 347 risposte) ha proposto un confronto della trasmissione del segnale audio attraverso filo di rame, fango bagnato e banana fresca. Il thread è stato ampiamente trattato come umoristico. Tuttavia, la domanda sottostante -- se la selezione convenzionale del rame come materiale conduttore audio dominante rifletta un confronto rigoroso con le alternative, o semplicemente una convenzione storica -- non è stata affrontata nella letteratura peer-reviewed. Abbiamo costruito interconnessioni bilanciate di 1 metro utilizzando 13 materiali conduttori: rame OFC, rame OFC monocristallino, argento fino, alluminio, argilla bagnata (fango), banana fresca (Musa acuminata), bacchetta di grafite, filo d'acciaio, acqua di mare in tubo di silicone, fibra di carbonio, mina di matita (grado HB), saliva umana in tubo di silicone e un circuito aperto di controllo. Il rame e l'argento hanno ottenuto i migliori risultati in ogni metrica convenzionale. Il fango, tuttavia, ha mostrato una proprietà anomala: il suo profilo di attenuazione dipendente dalla frequenza produce un roll-off dolce e monotonicamente decrescente sopra i 20 kHz che approssima strettamente la caratteristica di assorbimento del canale uditivo esterno umano, e la sua informazione inter-campione recuperabile ha mostrato la più alta stabilità temporale di qualsiasi materiale testato.

## 1. INTRODUZIONE

Nel marzo 2024, un utente sul forum diyaudio.com -- nickname "TubeGlowWorm" -- ha posto una domanda che, nella sua formulazione originale, era: "Qualcuno ha effettivamente misurato se il rame suona meglio del fango? O stiamo tutti solo assumendo?"

Il thread che ne è seguito ha accumulato 347 risposte in 11 giorni. La domanda, spogliata del suo inquadramento comico, è legittima. Abbiamo deciso di rispondere.

Questo articolo presenta un confronto controllato di 13 materiali conduttori, dal convenzionale (rame OFC, argento fino) al non convenzionale (fango bagnato, banana fresca, saliva umana). Le misurazioni sono reali. La metodologia è la stessa utilizzata nel nostro lavoro peer-reviewed sui conduttori convenzionali. Non abbiamo applicato umorismo al protocollo sperimentale e chiediamo al lettore di estendere la stessa cortesia.

## 2. MATERIALI E COSTRUZIONE DEI CAVI

Tredici materiali conduttori sono stati selezionati per coprire l'intero spettro dei meccanismi di conduttività disponibili. I materiali includevano: (1) rame OFC 7N, (2) rame OFC monocristallino 6N, (3) argento fino 4N, (4) alluminio 4N, (5) argilla bagnata ("fango") proveniente dalle rive del Rio Machángara a Quito, al punto in cui attraversa l'equatore, (6) banana fresca (Musa acuminata, cultivar Cavendish), (7) bacchetta di grafite, (8) filo d'acciaio AISI 1008, (9) acqua di mare dalla costa pacifica, (10) fibra di carbonio Toray T700, (11) mina di matita Faber-Castell HB, (12) saliva umana, e (13) circuito aperto di controllo.

Tutti i conduttori non metallici sono stati preparati e installati entro 2 ore dalla misurazione per minimizzare l'essiccamento, l'ossidazione o il degrado biologico.

## 3. PROTOCOLLO DI MISURAZIONE

Ogni cavo è stato inserito in una catena del segnale standardizzata e sottoposto a: resistenza DC, risposta in frequenza (20 Hz - 200 kHz), distorsione armonica totale + rumore (1 kHz, 2 Vrms), risposta all'impulso e recupero dell'informazione inter-campione utilizzando il protocollo Tanaka.

Tutte le misurazioni sono state eseguite nel laboratorio di riferimento di Quito a 23,0 +/- 0,1degC, 47 +/- 1% UR, con il cavo in test all'interno di un involucro schermato RF.

## 4. RISULTATI: METRICHE CONVENZIONALI

Resistenza DC (per conduttore, lunghezza 1 metro):

Argento: 0,020 Ohm. Rame (OFC): 0,021 Ohm. Rame (SC-OFC): 0,021 Ohm. Alluminio: 0,034 Ohm. Acciaio: 0,127 Ohm. Fibra di carbonio: 0,141 Ohm. Bacchetta di grafite: 1,24 Ohm. Mina di matita: 13,4 Ohm. Acqua di mare: 706 Ohm. Saliva: 2.540 Ohm. Banana: 74.200 Ohm. Fango: 650.000 Ohm. Circuito aperto: >10 MOhm.

La risposta in frequenza del fango era -0,2 dB a 20 Hz, -3,1 dB a 1 kHz, -18,7 dB a 10 kHz, -47,3 dB a 50 kHz e sotto il rumore di fondo al di sopra di 78 kHz. Questo è, per qualsiasi standard, una risposta in frequenza scadente per un conduttore audio.

THD+N a 1 kHz, 2 Vrms: Argento: -118,4 dB. Rame (OFC): -117,9 dB. Fango: -58,3 dB.

Per ogni metrica convenzionale, la classifica è chiara. L'argento e il rame sono sostanzialmente pari. L'esperimento potrebbe finire qui. Il rame vince.

Non finisce qui.

## **5. RISULTATI: PROPRIETÀ ANOMALE DEL FANGO**

Durante le misurazioni della risposta in frequenza, abbiamo notato che la curva di roll-off del fango aveva una forma insolitamente liscia. Quando la curva di attenuazione del fango viene sovrapposta all'inverso della funzione di trasferimento del canale uditivo esterno umano -- ovvero l'attenuazione necessaria per cancellare il guadagno risonante del canale auricolare -- le due curve corrispondono entro +/- 1,2 dB da 500 Hz a 15 kHz.

Questa è una coincidenza. Lo affermiamo chiaramente. Il meccanismo fisico della conduzione ionica nell'argilla bagnata non ha alcuna relazione causale con l'anatomia del canale uditivo umano.

Tuttavia, la conseguenza pratica è reale: un segnale che ha attraversato un conduttore di fango è stato pre-equalizzato, dalla risposta in frequenza intrinseca del conduttore, in un modo che compensa parzialmente la colorazione risonante del canale auricolare. Il segnale che arriva al timpano ha una risposta in frequenza effettiva 2,4 dB più piatta rispetto al segnale che è entrato nel cavo.

Il rame è un conduttore migliore. Il fango, al timpano, produce una risposta in frequenza più piatta. Entrambe le affermazioni sono vere. Non sono contraddittorie. Descrivono cose diverse.

## **6. RISULTATI: STABILITÀ TEMPORALE**

Il cavo di banana si è degradato rapidamente. Entro 6 ore dalla fabbricazione, la resistenza DC era aumentata del 14%. A 48 ore, il cavo era funzionalmente un circuito aperto. La banana non è un materiale conduttore praticabile.

Il fango è stata la sorpresa. La resistenza DC del fango è diminuita del 3,1% nelle prime 12 ore, poi si è stabilizzata. La variazione dell'ISI del fango su 72 ore era solo dello 0,4% -- sette volte più stabile del rame (2,8%).

L'entità dell'ISI era, ovviamente, molto più bassa per il fango (0,003 bit per campione vs. 0,289 del rame). Il fango conserva quasi nessuna informazione inter-campione in termini assoluti. Ma quel poco che conserva, lo conserva con notevole consistenza.

Il meccanismo è l'insensibilità del conduttore ionico ai fattori che causano la deriva nei conduttori metallici. L'argilla equatoriale -- specificamente l'andosuolo ricco di allofane dal Rio Machángara -- ha una capacità di scambio cationico di 42 cmol/kg, tra le più alte di qualsiasi argilla naturale.

## **7. RISULTATI: ACCIAIO E IL PROBLEMA DEL CONDUTTORE MAGNETICO**

L'acciaio è stato incluso come unico conduttore ferromagnetico. La sua distorsione è stata la più alta di tutti i conduttori metallici: -98,7 dB THD+N. Lo spettro di distorsione era dominato dalla terza, quinta e settima armonica -- distorsione di ordine dispari caratteristica di una non linearità simmetrica. Questa è l'isteresi del ciclo B-H dei domini ferromagnetici del filo d'acciaio.

L'algoritmo di recupero ISI ha prodotto risultati anomali per il cavo d'acciaio: ISI apparente di -0,002 bit per campione -- un valore negativo, fisicamente impossibile. Il cavo d'acciaio non si limita a non preservare l'informazione inter-campione; introduce correlazioni spurie che l'algoritmo interpreta erroneamente come informazione negativa. Il cavo sta attivamente fuorviando la ricostruzione.

## **8. DISCUSSIONE**

Il thread di diyaudio chiedeva se il rame suona meglio del fango. La risposta, per ogni metrica audio convenzionale, è sì. La resistenza del rame è 31 milioni di volte inferiore. Nessuna persona razionale sceglierebbe il fango al posto del rame per la trasmissione del segnale audio.

Il thread non chiedeva se il fango ha proprietà interessanti che il rame non ha. Ne ha. Due.

Primo, la risposta in frequenza del fango, sebbene oggettivamente scadente, approssima casualmente l'inverso della funzione di trasferimento del canale uditivo umano.

Secondo, l'informazione inter-campione del fango è sette volte più stabile temporalmente di quella del rame, grazie alla capacità di tamponamento elettrochimico della matrice argillosa.

Nessuna delle due proprietà rende il fango un conduttore pratico. Entrambe le proprietà sono reali, misurabili e -- per quanto ne sappiamo -- non riportate in precedenza.

Per coloro che hanno partecipato al thread di diyaudio: il rame è la scelta corretta per i cavi audio. Ma se vi siete mai chiesti se il fango sotto i vostri piedi sta facendo qualcosa di interessante con i segnali elettrici -- lo sta facendo. Più interessante di quanto probabilmente vi aspettavate.

## 9. CONCLUSIONE

Abbiamo costruito cavi di interconnessione audio con 13 materiali e ne abbiamo misurato le proprietà elettriche e di integrità del segnale con strumentazione di laboratorio. Il rame e l'argento rimangono i materiali conduttori ottimali per tutte le metriche audio standard.

Il fango ha mostrato due proprietà anomale: una risposta in frequenza che coincidentalmente approssima l'inverso della caratteristica risonante del canale uditivo umano, e una stabilità temporale della conservazione dell'informazione inter-campione sette volte superiore a quella del rame.

Questi risultati non cambiano la pratica della progettazione dei cavi audio. Possono cambiare il modo in cui pensiamo a ciò che un conduttore fa a un segnale.

Il thread di diyaudio è archiviato. I dati sono permanenti.

## RIFERIMENTI

- [1] TubeGlowWorm et al., "Rame vs. fango vs. banana -- quale suona meglio?", diyaudio.com, thread #394187, marzo 2024, 347 risposte.
- [2] C. E. Shannon, "Comunicazione in presenza di rumore," Proc. IRE, vol. 37, no. 1, pp. 10-21, 1949.
- [3] Y. Tanaka, C. Ohm, R. Flux, "Sull'incompletezza della ricostruzione di Nyquist-Shannon," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 1, 2025.
- [4] M. Ferro et al., "Dipendenza dalla catena del segnale dell'informazione inter-campione recuperabile," J. Equatorial Audio Sci., vol. 6, no. 2, 2025.
- [5] M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka, "Bias emisferico nell'orientamento dei grani di rame," J. Equatorial Audio Sci., vol. 1, no. 1, 2020.
- [6] D. Hammershøi and H. Møller, "Trasmissione del suono al e all'interno del canale uditivo umano," J. Acoust. Soc. Am., vol. 100, no. 1, pp. 408-427, 1996.
- [7] ISO 11904-1:2002, Acustica -- Determinazione dell'immissione sonora da sorgenti poste vicino all'orecchio -- Parte 1: Tecnica con microfono nell'orecchio reale.
- [8] P. Wada, "Allofane e imogolite," in Minerals in Soil Environments, J. B. Dixon and S. B. Weed, eds., SSSA, 1989, pp. 1051-1087.
- [9] R. M. Cornell and U. Schwertmann, The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences, and Uses, 2nd ed., Wiley-VCH, 2003.
- [10] D. L. Sparks, Environmental Soil Chemistry, 2nd ed., Academic Press, 2003.
- [11] J. D. Reiss, "Una meta-analisi della valutazione percettiva dell'audio ad alta risoluzione," J. Audio Eng. Soc., vol. 64, no. 6, pp. 364-379, 2016.
- [12] IEC 60268-12:2019, Apparecchiature per sistemi sonori -- Parte 12: Applicazione dei connettori per uso broadcast e similare.
- [13] B. D. Cullity and C. D. Graham, Introduction to Magnetic Materials, 2nd ed., IEEE/Wiley, 2009.
- [14] International Annealed Copper Standard (IACS), ASTM B193-16, Metodo di prova standard per la resistività dei materiali conduttori elettrici.