



CLASSIFICAZIONE DEL GRADO DI NEUTRALITÀ MAGNETICA DEL LEGNAME STRUTTURALE: UNA CLASSIFICAZIONE DI PUREZZA A GRADI N PER I MATERIALI DI SUPPORTO AUDIO, CON CARATTERIZZAZIONE DELLE TRACCE PARAMAGNETICHE DEL TEAK EQUATORIALE



Classificazione del grado di neutralità magnetica del legname strutturale: una classificazione di purezza a gradi N per i materiali di supporto audio, con caratterizzazione delle tracce paramagnetiche del teak equatoriale

A. Bosque, M. Ferro, H. Park, Y. Tanaka

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstract

Nei conduttori audio vengono abitualmente specificati gradi di purezza metallurgica -- 4N (99,99%), 6N (99,9999%) e oltre -- mentre i materiali strutturali che sostengono, sollevano e terminano tali conduttori sono specificati, quando lo sono, in base all'aspetto. È un'asimmetria priva di giustificazione: un materiale di supporto a contatto continuo con un cavo di segnale partecipa all'ambiente elettromagnetico di campo vicino del cavo e le sue proprietà magnetiche e dielettriche sono quindi dati misurabili dell'installazione, non elementi decorativi. Proponiamo una classificazione di purezza in gradi N per il legname strutturale, analoga alla scala dei gradi N dei metalli ma definita sulla grandezza pertinente per un non conduttore: il contenuto paramagnetico residuo. Il grado di un legname è fissato dalla sua suscettività magnetica volumica e, in modo equivalente, dalla frazione massica combinata dei contaminanti paramagnetici dominanti, ferro e manganese, determinata mediante spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente dopo digestione acida a microonde. Caratterizziamo 11 specie candidate e dimostriamo che la maggior parte dei legni duri da arredamento -- in particolare la quercia bianca, con 41-190 ppm di ferro -- si colloca al di sotto della neutralità 4N, mentre il teak di piantagione (*Tectona grandis*) coltivato entro 5 deg dall'equatore geomagnetico raggiunge 5N (99,999 per cento magneticamente neutro, $Fe + Mn \leq 10$ ppm) alla consegna e 6N mediante selezione del singolo massello. Riportiamo la strumentazione, i limiti dei gradi, le conseguenze dielettriche dell'orientamento della fibra e del contenuto di umidità, nonché la riclassificazione del legname neutro come «magneticamente compromesso» conseguente all'applicazione di qualsiasi finitura catalizzata da metalli.

1. INTRODUZIONE

Il mercato dei conduttori audiofili è organizzato attorno alla purezza. Il rame privo di ossigeno è venduto come 4N (99,99%), 5N, 6N e -- al limite di ciò che la raffinazione elettrolitica può offrire -- 7N. Ogni nove aggiuntivo è inteso come eliminazione di un sito di diffusione, di un'impurità al bordo di grano, di un'inclusione paramagnetica. Che il beneficio udibile dell'ultimo nove sopravviva a una prova di ascolto controllata è una questione distinta, trattata altrove in questa rivista; il punto qui è che il settore possiede un vocabolario rigoroso, quantitativo e universalmente compreso per la purezza di un conduttore.

Non possiede alcun vocabolario equivalente per tutto il resto. Il cavo è classificato a sette nove e poi posato su un pavimento, fissato in una parete o appoggiato su un supporto dalla composizione del tutto imprecisata. Il supporto viene scelto per il colore. Questa è la posizione occupata dal legno in un impianto audio: strutturalmente portante, a contatto fisico continuo con il conduttore di segnale e metrologicamente invisibile.

Riteniamo questa situazione indifendibile. Un materiale di supporto a contatto con un cavo fa parte dell'ambiente dielettrico e magnetico immediato del cavo. Se contiene inclusioni ferromagnetiche -- un frammento di truciolo di sega a nastro, una graffa spezzata, il ferro che un albero ha estratto dal terreno e legato nel durame -- presenta una discontinuità locale di permeabilità lungo il percorso. Se è igroscopico e polare, presenta una capacità distribuita dipendente dall'umidità. Sono le stesse quantità che il grado di purezza del conduttore è destinato a controllare. È incoerente specificarne una a sei nove e lasciare l'altra all'ebanista.

Questo articolo propone una classificazione a gradi N per il legname strutturale, definita non sulla purezza chimica in senso globale -- il legno è costituito per circa metà da carbonio e non sarà mai «legno al 99,999%» in alcun senso utile -- ma sull'unica proprietà che accoppia il legno a un percorso di segnale audio: il suo contenuto paramagnetico residuo e la suscettività magnetica volumica che tale contenuto produce.

2. IL GRADO DI NEUTRALITÀ E LA SCALA N

Il legno secco è diamagnetico. Cellulosa, lignina e acqua legata presentano ciascuna una piccola suscettività magnetica volumica negativa, e un legname pulito e privo di contaminanti si colloca vicino a $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI, suscettività volumica adimensionale), corrispondente a una permeabilità relativa μ_r di 0,999994 -- indistinguibile dall'unità e, di fatto, appena inferiore. Un legno perfettamente neutro non è dunque soltanto non magnetico; è debolmente e riproducibilmente diamagnetico, condizione corretta e desiderabile per un materiale chiamato a rimanere in un campo statico e quasi statico senza perturbarlo.

Gli scostamenti da questa linea di base sono quasi interamente opera di contaminanti paramagnetici costituiti da metalli di transizione, tra i quali domina il ferro, seguito a distanza dal manganese. Un albero è una pompa minerale: assorbe ioni metallici dall'acqua del suolo e li deposita, in modo disomogeneo, nei propri tessuti. Il contenuto di ferro risultante varia da poche parti per milione in un legno duro di piantagione pulito a centinaia di parti per milione nelle specie le cui chimiche tanniche chelano attivamente il ferro. Ogni parte per milione di ferro aggiunge un piccolo incremento positivo alla suscettività, trascinando il legname



verso l'alto dal suo limite diamagnetico fino alla neutralità magnetica e, nelle specie peggiori, oltre tale soglia.

Definiamo pertanto il grado di neutralità del legname sulla frazione massica combinata di ferro e manganese e, in modo equivalente, sullo scostamento misurato della suscettività volumica dalla linea di base diamagnetica:

- 4N (99,99 percento neutro): $Fe + Mn \leq 100$ ppm. Tipico del legno duro da arredamento non selezionato.
- 5N (99,999 percento neutro): $Fe + Mn \leq 10$ ppm; suscettività residua entro $\pm 1 \times 10^{-6}$ dalla linea di base diamagnetica. Specifica di consegna Equatorial Audio.
- 6N (99,9999 percento neutro): $Fe + Mn \leq 1$ ppm; suscettività netta ancora diamagnetica entro l'incertezza di misura. Ottenibile mediante selezione del singolo massello.
- 7N: $Fe + Mn \leq 0,1$ ppm. Ricontrato qui in due masselli di teak sui 340 esaminati. Non è un grado di produzione.

Le percentuali sono, lo riconosciamo, un prestito retorico dalla convenzione dei metalli anziché una misura della composizione globale; «99,999 percento neutro» indica 10 ppm del contaminante pertinente, non 10 ppm di materiale diverso dal legno. Manteniamo la notazione perché è quella con cui il lettore è già abituato a ragionare e perché la grandezza sottostante -- parti per milione paramagnetiche -- viene misurata nello stesso modo in cui un raffinatore di rame misura le impurità in un catodo.

3. STRUMENTAZIONE E METODO

La classificazione di un semilavorato richiede tre misurazioni magnetiche e chimiche indipendenti -- una scansione delle inclusioni ferrose, una determinazione della suscettività globale e un'analisi dei metalli in tracce -- oltre a una caratterizzazione dielettrica per la modellazione dell'installazione.

Scansione delle inclusioni ferrose. Ogni semilavorato passa attraverso una matrice di gradiometri fluxgate (Bartington Grad-13, tre assi, risoluzione 1 nT) su un banco motorizzato a 20 mm/s. Il gradiometro rileva inclusioni ferromagnetiche discrete -- chiodi incorporati, pallini, trucioli di sega a nastro, i contaminanti comuni di qualunque legname passato attraverso macchinari industriali -- fino a frammenti submillimetrici a 30 mm di profondità. Il legname di recupero e di salvataggio fallisce regolarmente questa scansione; è il motivo principale per cui gli Equatorial Elevation Blocks sono fresati da materiale di piantagione di primo impiego e mai da legno recuperato, per quanto romantica ne sia la provenienza.

Suscettività globale. Da ogni semilavorato accettato viene estratta una carota da 12 mm e misurata in un magnetometro a campione vibrante (Lake Shore 8600, sensibilità 5×10^{-8} emu) a 300 K. Il VSM restituisce la suscettività volumica netta, dalla quale si legge direttamente il criterio magnetico del grado. Una carota di teak pulito dà un valore negativo; una carota di quercia dà spesso un valore positivo.

Analisi dei metalli in tracce. La carota misurata viene quindi criomacinata, digerita a microonde in acido nitrico più fluoridrico e analizzata mediante spettrometria di massa al plasma accoppiato induttivamente (ICP-MS) per Fe, Mn, Ni, Co e Cr. È lo stesso protocollo dendrochimico usato per ricostruire la storia dell'inquinamento dagli anelli degli alberi, applicato qui a uno scopo che, lo ammettiamo, i suoi ideatori non avevano previsto. Il valore $Fe + Mn$ stabilisce il criterio chimico del grado; i criteri magnetico e chimico devono concordare entro la banda del grado, altrimenti il semilavorato viene respinto come internamente incoerente -- in genere segno di un'inclusione sfuggita al gradiometro.

Caratterizzazione dielettrica. Per modellare l'installazione misuriamo la permittività relativa e la tangente di perdita su provini lavorati, usando una cella a piastre parallele con anello di guardia e un analizzatore d'impedenza (Keysight E4990A) da 20 Hz a 10 MHz, lungo fibra e trasversalmente, condizionati all'8, 12 e 16% di umidità. Questi valori non entrano nel grado di neutralità -- un dielettrico non è un contaminante magnetico -- ma governano la capacità distribuita che il supporto finito presenta al cavo e sono riportati accanto al grado sul certificato di ciascuna unità.

4. RISULTATI: CONFRONTO FRA SPECIE

Sono state esaminate undici specie, con $n = 20$ masselli ciascuna. I risultati si separano nettamente in tre fasce.

Le specie respinte. La quercia bianca (*Quercus alba*) ha fornito le prestazioni peggiori, con 41-190 ppm di ferro e una suscettività netta positiva in 14 masselli su 20. La causa è ben nota a chiunque abbia lasciato per una notte un morsetto d'acciaio sulla quercia umida: l'elevato contenuto di tannini della quercia chela il ferro formando tannato di ferro -- il composto blu-nero dell'inchiostro ferrogallico -- e la quercia concentra quindi attivamente proprio il contaminante penalizzato da questo grado. La quercia è un legno pregiato e magneticamente ostile. Noce e ciliegio hanno ottenuto risultati migliori, ma in media si sono comunque collocati a 4N o al di sotto.

Le graminacee e i compositi. Il bambù, spesso commercializzato come «legno» sostenibile, è una graminacea con un elevato carico di silice e una chimica irregolare ai nodi; la sua suscettività era dominata da inclusioni minerali alla scala della fibra e non è stato possibile assegnargli un grado stabile. Il pannello di fibra a media densità (MDF) ha fallito su un asse completamente diverso: il suo legante urea-formaldeide è fortemente polare, conferisce una permittività relativa da 4 a 6 e una tangente di perdita superiore di un ordine di grandezza rispetto al legno massiccio, e il processo produttivo lo rende soggetto a particelle metalliche incorporate.



L'MDF è escluso come materiale di supporto per ragioni dielettriche prima ancora che se ne consideri il grado magnetico.

Il risultato del teak. Il teak di piantagione (*Tectona grandis*) coltivato entro 5 deg dall'equatore geomagnetico ha restituito 3-9 ppm Fe + Mn su 20 masselli, una suscettività netta diamagnetica in ogni campione e un grado 5N alla consegna. Con la selezione VSM più ICP-MS del singolo massello, 31 dei 340 masselli esaminati hanno soddisfatto il grado 6N e due il 7N. Il vantaggio del teak equatoriale non ha nulla di mistico: cresce rapidamente su terreni di piantagione gestiti, dilavati e poveri di ferro, viene raccolto giovane prima dell'accumulo minerale nel durame profondo ed è privo della chimica tannino-ferro che penalizza la quercia. La sua costante dielettrica di 2,1 al 12 per cento di umidità è la più bassa tra tutte le specie esaminate e si avvicina a quella delle schiume tecniche usate nelle attrezzature RF.

5. IL PROBLEMA DELLA FINITURA

Il grado di un legname è una proprietà del legname, non dell'oggetto che diventa -- e il modo più comune di distruggere un buon grado è applicare una finitura.

Quasi tutte le finiture a olio, vernice e lacca induriscono con siccativi metallici: sali di cobalto, manganese e zirconio dell'acido naftenico o 2-etilesanoico, aggiunti in una frazione percentuale per catalizzare la reticolazione ossidativa che indurisce il film. Cobalto e manganese sono entrambi paramagnetici, e un carico di siccativo di appena lo 0,05% di metallo deposita, per metro quadrato di superficie finita, più massa paramagnetica di quanta ne contenga l'intero semilavorato 5N sottostante. Abbiamo misurato un provino di teak 5N prima e dopo una singola mano di una tradizionale finitura a olio di lino cotto: la suscettività riferita alla superficie è salita dalla linea di base diamagnetica a un valore netto positivo, riclassificando il provino da 5N a meno di 4N. Il legno non era cambiato. La finitura aveva rimesso la contaminazione -- e l'aveva collocata precisamente sulla superficie, a contatto diretto con il cavo, il posto peggiore possibile.

Questa è la base misurata -- non una preferenza estetica -- per fornire gli Equatorial Elevation Blocks grezzi. Una finitura annullerebbe, all'ultimo passaggio e nella posizione magneticamente più attiva, l'intero processo di selezione che ha conferito il grado al semilavorato. La patina grigio argento che il teak grezzo sviluppa con il tempo è ossidazione elementare della superficie stessa del legno; non aggiunge metallo paramagnetico ed è un cambiamento cosmetico senza alcun evento magnetico.

6. ANISOTROPIA DELLA FIBRA E PERCORSO DEL CARICO DIELETTRICO

Il legno è dielettricamente anisotropo. Sui nostri provini di teak, la permittività relativa lungo fibra superava quella trasversale del 22-28% al 12% di umidità, e la tangente di perdita seguiva lo stesso asse. La causa fisica è la struttura cellulare tubolare allineata e l'orientamento dei dipoli dell'acqua legata lungo la fibra. Per un materiale di supporto questa anisotropia non è un disturbo da mediare; è una variabile di progetto.

Il cavo riposa in una culla fresata nella parte superiore di ciascun blocco, quindi l'accoppiamento capacitivo dominante fra cavo e supporto attraversa la corta colonna verticale di legno immediatamente sotto la culla. Fresando ogni blocco con il legno di testa verticale -- anelli di crescita visibili sulla faccia superiore, fibre verticali lungo il percorso di carico -- orientiamo l'asse trasversale a minore permittività nel piano orizzontale dove il campo del cavo è più intenso e riserviamo l'asse longitudinale a maggiore permittività alla direzione verticale portante, dove non causa danno elettrico e offre un considerevole vantaggio meccanico. L'orientamento di testa era stato adottato originariamente per la rigidità a compressione; l'argomento dielettrico è emerso successivamente da queste misurazioni e conferma la scelta in modo indipendente.

Il contenuto di umidità governa l'intero quadro. Permittività e tangente di perdita aumentano entrambe rapidamente con l'acqua legata, motivo per cui ogni semilavorato classificato viene essiccato in forno all'origine fino a 12 +/- 1% e il programma di manutenzione prescrive un controllo annuale dell'umidità. Un supporto che abbia assorbito umidità passando dal 12 al 18% ha modificato il proprio contributo dielettrico più di quanto potrebbe fare qualunque differenza fra specie.

7. DISCUSSIONE E CONCLUSIONE

La scala N proposta qui si appoggia deliberatamente a una convenzione nella quale il lettore ha già fiducia. Un audiofilo disposto a pagare per il sesto nove di un conduttore di rame ha già accettato la premessa che valga la pena controllare la contaminazione paramagnetica residua e di diffusione, misurata in parti per milione. Non abbiamo fatto altro che applicare quella premessa, e la stessa classe di misurazione, al materiale sul quale riposa il conduttore -- scoprendo che l'abitudine del settore di classificare il metallo a sei nove mentre lo appoggia su una latifoglia non classificata, contenente ferro e attiva nei tannini, è un'asimmetria che non sopravvive al semplice fatto di essere enunciata.

Il teak di piantagione equatoriale raggiunge la neutralità 5N così come fornito e 6N mediante selezione, per ragioni del tutto prosaiche: condizioni di crescita povere di ferro, raccolta giovane, assenza di chimica tannino-ferro, bassa resina e la linea di base diamagnetica condivisa con ogni legno pulito. Non è un materiale magico. È un materiale pulito, misurato, classificato e lasciato grezzo affinché resti tale. Ogni Equatorial Elevation Block viene fornito con il grado del proprio semilavorato, il valore Fe + Mn e la suscettività così come misurata stampati sul certificato. Invitiamo il lettore a chiedere i valori equivalenti a qualunque altro



produttore di supporti audio e a prendere nota della risposta.

RIFERIMENTI

- [1] James, W. L. (1975). Proprietà dielettriche del legno e dei pannelli duri: variazione con temperatura, frequenza, contenuto di umidità e orientamento della fibra. USDA Forest Service Research Paper FPL-245, Forest Products Laboratory, Madison.
- [2] Torgovnikov, G. I. (1993). Proprietà dielettriche del legno e dei materiali a base di legno. Springer-Verlag, Berlino.
- [3] Skaar, C. (1988). Relazioni fra legno e acqua. Springer Series in Wood Science, Springer-Verlag, Berlino.
- [4] Cutter, B. E., Guyette, R. P. (1993). Fattori anatomici, chimici ed ecologici che influenzano l'uso del legno per la dendrochimica. Journal of Environmental Quality, 22(3), 611-619.
- [5] Bosque, A., Ferro, M., Park, H. (2026). Classificazione del grado di neutralità magnetica del legname strutturale: strumentazione e limiti dei gradi. Journal of Equatorial Audio Science, 7(2), 44-71.
- [6] Tanaka, Y., Park, H. (2022). Misurazione della permittività a piastre parallele con anello di guardia su solidi anisotropi a bassa perdita. Journal of Equatorial Audio Science, 3(1), 12-29.