



**LEGNAME DI RECUPERO E
RISCHIO DI INCLUSIONI FERROSE:
PERCHÉ IL LEGNO RECUPERATO
DA DEMOLIZIONI, FIENILI E
IMPIANTI INDUSTRIALI È
MAGNETICAMENTE ESCLUSO
COME MATERIALE DI SUPPORTO
AUDIO**



Legname di recupero e rischio di inclusioni ferrose: perché il legno recuperato da demolizioni, fienili e impianti industriali è magneticamente escluso come materiale di supporto audio

A. Bosque, M. Ferro, R. Flux

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

Journal of Equatorial Audio Science, 2026.

Abstract

Il legname di recupero ottiene un sovrapprezzo commerciale fondato sulla provenienza: quercia da fienile con un secolo di esposizione agli agenti atmosferici, pino resinoso estratto da un magazzino demolito, teak recuperato da un dragamine dismesso o da un vecchio banco di laboratorio. Il fascino è reale e l'argomento della sostenibilità non è futile. Ma un materiale di supporto si sceglie per ciò che fa al cavo che vi poggia, non per la sua biografia, e il legno di recupero presenta un difetto che la sua provenienza garantisce attivamente anziché limitarsi a consentirlo: metallo ferromagnetico incorporato. Chiodi tagliati, viti, graffe, cambre da recinzione, bulloni, frammenti di filo spinato, pallini di piombo e acciaio incorporati e trucioli di seghe a nastro e circolari sono il normale corredo di qualsiasi legname che abbia avuto una vita operativa. Non è un raro evento di contaminazione; è il motivo per cui le segherie impiegano rilevatori ferrosi industriali prima della sega principale e per cui i depositi di legname di recupero pubblicizzano in primo luogo il materiale come «sottoposto a rilevazione dei metalli».

Riportiamo uno studio di screening su 96 masselli recuperati appartenenti a quattro classi di provenienza -- quercia da fienile, pino e abete da magazzini industriali, teak recuperato da fonti navali e di laboratorio e quercia da botti da vino -- fatti passare attraverso un gradiometro fluxgate e, in caso di esito positivo, sottoposti a tomografia computerizzata a raggi X per mappare le inclusioni. Sono state rilevate inclusioni ferromagnetiche in 71 masselli su 96 (74 percento), con 19 fallimenti su 20 per la quercia da fienile. Un solo chiodo d'acciaio incorporato è un'inclusione permanente ad alta permeabilità: con μ_r dell'acciaio dolce nell'ordine delle centinaia o delle poche migliaia, costituisce una discontinuità locale di campo posta a millimetri dal conduttore, e nessun grado di purezza dielettrica del legno circostante la compensa. Caratterizziamo inoltre l'alone di corrosione -- la macchia diffusa e paramagnetica di tannato di ferro che un oggetto ferroso incorporato rilascia nella quercia per decenni, creando un volume contaminato di ordini di grandezza superiore al metallo stesso -- e dimostriamo perché persino il materiale «sottoposto a rilevazione dei metalli» soddisfa soltanto una grossolana soglia industriale, non il grado audio submilligramma definito da Bosque, Ferro, Park e Tanaka (2026). Gli Equatorial Elevation Blocks sono ricavati esclusivamente da materiale di piantagione al primo impiego e mai da legname di recupero; alla questione della sostenibilità del riutilizzo rispondiamo invece con piantagioni equatoriali gestite, che affrontiamo direttamente.

1. INTRODUZIONE

Lo studio complementare in questa rivista (Bosque, Ferro, Park e Tanaka, 2026) ha stabilito una scala N del grado di neutralità per il legname strutturale, definita sul contenuto paramagnetico residuo e sulla suscettività magnetica volumica che esso produce, e ha dimostrato che il teak di piantagione equatoriale raggiunge 5N alla consegna. Quello studio classificava legno pulito e di primo impiego. Citava il legname di recupero soltanto di sfuggita -- come categoria che fallisce «abituamente» la scansione delle inclusioni ferrose -- per poi proseguire. Questo articolo sviluppa quella frase incidentale in tutti i dettagli determinanti per l'esclusione, perché per gli acquirenti la questione del legno di recupero non è una nota a piè di pagina. È l'obiezione che riceviamo più spesso: se il teak equatoriale gestito è scarso e costoso, e se fienili e vecchi magazzini sono pieni di pregiato legname di vecchia crescita, denso e dimensionalmente stabile, che altrimenti verrebbe bruciato, perché non ricavarne dei supporti?

La risposta è metallurgica e non lascia spazio a dubbi. Il legname di recupero è definito dall'aver svolto in precedenza una funzione strutturale, e la funzione strutturale implica elementi di fissaggio. Una trave da fienile era inchiodata, chiodata con cavicchi, imbullonata e graffata; un travetto del pavimento di un magazzino era fissato con bulloni passanti e viti mordenti; il legname di una nave era fissato con perni di ferro e caviglie di legno bloccate con ferro; un banco da laboratorio portava per un secolo staffe d'acciaio e bordature a chiodi tagliati. Gran parte di quel metallo viene rimossa durante il recupero. Una parte non lo è, perché si è spezzata sotto la superficie, perché è stata inserita troppo in profondità e svasata, perché si è corrosa fino a diventare una massa irrisconoscibile o perché non è mai stata visibile dall'esterno. L'addetto al recupero rimuove il metallo che può vedere. Il gradiometro trova quello che non può vedere.

Trattiamo l'elemento di fissaggio incorporato non come un difetto estetico da riempire e nascondere, bensì come ciò che è dal punto di vista elettromagnetico: un'inclusione permanente ad alta permeabilità posta, per la geometria di un supporto per cavi, a pochi millimetri dal conduttore di segnale. Un materiale di supporto serve a sostenere un cavo classificato in un ambiente di campo vicino controllato. Un materiale di supporto con un chiodo d'acciaio al suo interno è un difetto magnetico che, incidentalmente, regge un cavo.

2. L'ARGOMENTO DEL SINGOLO CHIODO

Consideriamo la contaminazione meno spettacolare immaginabile: un solo chiodo tagliato, spezzato a filo e invisibile, sepolto in un massello di quercia di recupero altrimenti impeccabile. Vale la pena analizzare per intero questo caso perché, se il caso meno spettacolare è determinante per l'esclusione, le statistiche dello studio riportate in seguito sono semplice contabilità.



Il legno pulito e secco si colloca vicino a una suscettività magnetica volumica di $\chi_v = -6 \times 10^{-6}$ (SI) -- debolmente e uniformemente diamagnetico, la condizione desiderabile per un materiale chiamato a occupare un campo statico senza perturbarlo. Un chiodo di acciaio dolce presenta una permeabilità relativa μ_r nell'ordine delle centinaia o delle poche migliaia. Il rapporto tra le permeabilità al confine legno-acciaio non è quindi di pochi punti percentuali, bensì di tre-sei ordini di grandezza. Tale confine è una discontinuità di campo: le linee di flusso statiche e quasi statiche che attraversano uniformemente il legno diamagnetico vengono raccolte, concentrate e rimesse dall'inclusione, producendo un gradiente di campo locale misurato in decine-centinaia di nT sulla superficie direttamente sovrastante -- che, in un supporto per cavi, è precisamente il punto in cui si trovano la culla e il cavo.

Inoltre, a differenza di un carico di metalli in traccia paramagnetici distribuito uniformemente nel volume, l'inclusione è una sorgente puntiforme dotata di struttura. Presenta rimanenza: un elemento di fissaggio in acciaio rimasto per decenni nel campo terrestre acquisisce un momento magnetico permanente, per cui l'inclusione non è soltanto una perturbazione passiva della permeabilità, ma un piccolo magnete permanente con un proprio asse dipolare fisso, indifferente all'allineamento equatoriale che il resto dell'installazione mira a ottenere. Nessuna proprietà del legno circostante -- non una suscettività 7N, non una costante dielettrica minima da primato, non una lavorazione perfetta con il legno di testa in verticale -- compensa un dipolo permanente posto nel percorso di carico. Il massello viene classificato in base al suo punto peggiore, non alla media, e il punto peggiore è il chiodo.

3. INDAGINE: CLASSI DI PROVENIENZA E TASSI DI RILEVAMENTO

Novantasei masselli di recupero sono stati reperiti in quattro classi di provenienza, da 20 a 28 per classe, presso depositi affermati di legname di recupero in Nord America e in Europa; tutti erano venduti come privati degli elementi di fissaggio e, in tre classi, come «sottoposti a rilevazione dei metalli». Ogni massello è stato fatto passare attraverso un gradiometro fluxgate triassiale (Bartington Grad-13, risoluzione di 1 nT) su un banco motorizzato a 20 mm/s -- lo stesso strumento e protocollo impiegati nello studio complementare per lo screening del teak di produzione. Ogni massello che restituiva un'anomalia discreta superiore a 5 nT sul proprio fondo diamagnetico veniva contrassegnato e inviato alla tomografia computerizzata a raggi X (sorgente microfocus da 225 kV, voxel da 90 μ m) per localizzare e identificare l'inclusione.

Il tasso aggregato di rilevamento è stato di 71 su 96 (74 per cento). Per classe: la quercia da fienile ha fallito in 19 masselli su 20, il risultato peggiore, con inclusioni dominate da chiodi tagliati, chiodi in filo metallico e cambre da recinzione e una mediana di tre inclusioni discrete per massello respinto. Pino e abete da magazzini industriali hanno fallito in 22 casi su 28, con monconi di viti mordenti, bulloni da macchina e -- in quattro masselli -- pallini incorporati di piombo e acciaio provenienti da una vita precedente che non abbiamo indagato. Il teak recuperato da fonti navali e di laboratorio ha fallito in 21 casi su 25: il legname navale conteneva frammenti di perni di ferro e monconi di agugliotti, mentre il teak da banchi di laboratorio conteneva viti per legno d'acciaio svasate e, in due casi, ottone, che il gradiometro ha lasciato passare ma che è escluso per altre ragioni. La quercia da botti da vino è risultata la migliore delle quattro classi e ha comunque fallito in 9 casi su 23, soprattutto per frammenti di ribattini dei cerchi e filo delle graffe proveniente dai cerchi smontati.

Due risultati delle mappe CT meritano attenzione. Primo, la maggior parte delle inclusioni rilevate era sotto la superficie e invisibile sulla faccia finita -- esattamente la popolazione che sopravvive alla rimozione visiva degli elementi di fissaggio. Secondo, diversi masselli che un rilevatore manuale per recuperatori avrebbe accettato mostravano più piccole inclusioni -- tracce di trucioli prodotte da una precedente lavorazione alla sega a nastro, corone di graffe -- ciascuna singolarmente al di sotto della soglia grossolana del rilevatore, ma nel complesso costituenti un carico ferroso distribuito. Il rilevatore industriale risponde alla domanda «c'è un chiodo abbastanza grande da danneggiare la lama della mia sega?»; non risponde alla domanda «questo massello è magneticamente pulito?», e non è mai stato progettato per farlo.

4. L'ALONE DI CORROSIONE

Un oggetto ferroso incorporato nel legno non è un'inclusione stabile e isolata. Si corrode ed esporta i prodotti della corrosione nei tessuti circostanti; nella quercia lo fa attraverso una chimica termodinamicamente favorita e nota da secoli.

Il durame della quercia è ricco di tannini idrolizzabili. Il ferro a contatto con la quercia umida si ossida, e gli ioni ferrosi e ferrici risultanti migrano lungo il gradiente di umidità nel legno e si complessano con tali tannini formando tannato di ferro -- il composto blu-nero dell'inchiostro ferrogallico e la stessa reazione che annerisce la quercia intorno a qualsiasi elemento di fissaggio in acciaio lasciato al suo interno. Nel corso di decenni in un fienile o in una cantina, un chiodo incorporato non rimane dunque un problema delle dimensioni di un chiodo. Rilascia un alone diffuso di tannato di ferro in un volume di legno che, secondo CT e ICP-MS, è superiore di uno-due ordini di grandezza rispetto all'oggetto stesso. Il nucleo metallico è ferromagnetico; l'alone che lo circonda è paramagnetico; e l'alone, essendo grande, irregolare e interpenetrando la superficie rivolta verso il cavo, è per certi aspetti il contaminante peggiore, perché non può essere estratto con una pinza e non viene affatto segnalato da un rilevatore di metalli.

Abbiamo sezionato quattro masselli di quercia da fienile intorno a inclusioni note e mappato Fe mediante ICP-MS lungo una sezione radiale. La concentrazione di ferro scendeva da livelli percentuali al confine con il metallo a un plateau paramagnetico di 60-240 ppm in un alone esteso da 15 a 40 mm dall'oggetto -- una macchia che superava ampiamente il limite 4N di 100 ppm in un volume sufficiente a inglobare un'intera culla per cavi. È questo il meccanismo per cui un singolo elemento di fissaggio storico



contamina non un punto, ma una regione; ed è specifico proprio dei legni duri attivi nei confronti dei tannini -- soprattutto la quercia -- più apprezzati dalla commercializzazione del legname di recupero. La provenienza che rende romantica la quercia da fienile -- un secolo di servizio strutturale in condizioni umide accanto al ferro -- coincide con la storia che garantisce l'alone.

5. PERCHÉ «SOTTOPOSTO A RILEVAZIONE DEI METALLI» NON È UN GRADO

I depositi di legname di recupero che pubblicizzano materiale «sottoposto a rilevazione dei metalli» descrivono onestamente un processo reale, e vale la pena chiarire che cosa tale processo fornisca e che cosa non possa fornire, perché l'espressione viene abitualmente interpretata come un certificato di pulizia che non è.

Il rilevamento industriale dei metalli nel legname serve a proteggere i macchinari. Un rilevatore ferroso su una linea di rilavorazione è tarato per intervenire su un oggetto abbastanza grande da scheggiare un dente in carburo o spezzare la lama di una sega a nastro -- un chiodo, una vite, un bullone. La soglia è intenzionalmente elevata: una linea che si arrestasse per ogni traccia di ferro submilligrammo non taglierebbe mai una tavola. È un interblocco di sicurezza della produzione, commisurato al rischio di danneggiare gli utensili, e lascia passare per progetto proprio la popolazione che esclude un massello dall'uso audio: trucioli submillimetrici, frammenti di filo da graffe, pallini e soprattutto l'alone paramagnetico disciolto, che non contiene alcun oggetto discreto rilevabile. Un massello può superare senza anomalie un rilevatore industriale e contenere comunque una macchia di ferro da 200 ppm sulla faccia rivolta verso il cavo.

Il grado di neutralità audio è una misura diversa che risponde a una domanda diversa. Non è stabilito dal rischio per gli utensili, bensì dai limiti Fe + Mn di 100 ppm (4N), 10 ppm (5N) e 1 ppm (6N) definiti da Bosque, Ferro, Park e Tanaka (2026), verificati mediante gradiometria fluxgate per le inclusioni discrete e mediante VSM più ICP-MS per la suscettività globale e dell'alone. Le due soglie differiscono di ordini di grandezza. «Sottoposto a rilevazione dei metalli» significa «nessun oggetto abbastanza grande da rompere una sega». «Neutro 5N» significa «Fe + Mn pari o inferiori a 10 ppm, ovunque, in forma discreta e disciolta». Un recuperatore può fornire il primo risultato in buona fede e non può affatto fornire il secondo, perché quest'ultimo richiede magnetometria e analisi dei metalli in traccia per ogni massello, misure che nessun deposito di recupero esegue e che la maggior parte dei masselli recuperati non supererebbe indipendentemente dall'accuratezza, per effetto della sola storia precedente.

6. LA QUESTIONE DELLA SOSTENIBILITÀ, RISOLTA DIVERSAMENTE

L'argomento più forte a favore del legname di recupero non è acustico, ma ambientale. Riutilizzare legno centenario evita un nuovo abbattimento, sottrae materiale valido alla combustione e rende onore al lavoro incorporato nella crescita originaria. Prendiamo sul serio tale argomento e vi rispondiamo non contestandolo, ma contrapponendogli una fonte priva sia del rischio ferroso sia del costo ambientale.

Gli Equatorial Elevation Blocks vengono ricavati da teak di piantagione gestita, coltivato entro 5 deg dall'equatore geomagnetico su piantagioni certificate in locazione sottoposte a un regime di reimpianto dopo il raccolto. Il confronto pertinente in termini di sostenibilità non è tra legno di recupero e abbattimento di foreste antiche -- questa è una falsa alternativa -- ma tra legno di recupero e una piantagione gestita i cui alberi vengono piantati specificamente per essere tagliati, sequestrano carbonio mentre crescono e vengono sostituiti secondo una rotazione fissa. Una piantagione equatoriale gestita offre il beneficio ambientale per il quale viene apprezzato il recupero -- nessuna pressione sulle foreste antiche e un ciclo rinnovabile -- fornendo in aggiunta l'unica cosa che il recupero non può strutturalmente offrire: una storia vergine rispetto agli elementi di fissaggio. Il legname di piantagione al primo impiego non ha mai contenuto un chiodo, non ha mai rilasciato un alone di tannato di ferro e non è mai passato attraverso una sega di rilavorazione che lo abbia contaminato con trucioli. Arriva con una situazione magnetica iniziale pulita, unica condizione dalla quale sia possibile raggiungere un grado 5N.

Infine, non esiste alcun percorso per riportare a grado un massello recuperato. Talvolta è possibile scavare ed estrarre le inclusioni discrete, ma lo scavo lascia una cavità e non raggiunge l'alone disciolto; l'alone può essere eliminato soltanto asportando il volume macchiato, che in una trave da fienile fortemente macchiata rappresenta gran parte del legno utilizzabile. Economia e fisica indicano la stessa direzione. È più economico, più pulito e metrologicamente corretto partire da legname cresciuto pulito che inseguire il ferro fuori da un legname cresciuto, e poi vissuto, sporco.

7. CONCLUSIONE

Il legname recuperato da demolizioni, fienili e impianti industriali è escluso come materiale di supporto audio non per una preferenza estetica né per una debolezza del legno, ma per la sua storia di elementi di fissaggio. Il servizio strutturale implica ferro incorporato, il ferro incorporato implica un'inclusione permanente ad alta permeabilità nel percorso di carico del cavo e, nei legni duri attivi nei confronti dei tannini, implica un alone di corrosione paramagnetico diffuso, di un ordine di grandezza più grande del metallo che lo ha prodotto. La nostra indagine di screening ha rilevato inclusioni ferromagnetiche nel 74 per cento dei masselli recuperati appartenenti a quattro classi di provenienza, con 19 fallimenti su 20 per la quercia da fienile -- la classe maggiormente idealizzata. L'argomento del singolo chiodo dimostra che anche una sola inclusione è di per sé determinante per l'esclusione; il tasso rilevato dall'indagine sottostima quindi il problema anziché sovrastimarlo.



La garanzia «sottoposto a rilevazione dei metalli» offerta dalla commercializzazione del legname di recupero è una soglia di protezione dei macchinari, più grossolana di ordini di grandezza rispetto al grado di neutralità audio, e lascia passare per progetto proprio la contaminazione submilligrammo e disciolta che il grado di Bosque, Ferro, Park e Tanaka (2026) è concepito per individuare. È una misura reale e utile che risponde a una domanda diversa da quella audio. Per questo gli Equatorial Elevation Blocks vengono ricavati esclusivamente da materiale di piantagione al primo impiego e mai da legname di recupero di qualsiasi provenienza. L'argomento ambientale a favore del recupero è autentico e riceve una risposta completa dalle piantagioni equatoriali gestite, coltivate per essere raccolte e ripiantate -- legname che offre il beneficio della sostenibilità senza il ferro e che parte, come deve fare ogni massello classificato, da una situazione magnetica iniziale pulita.

RIFERIMENTI

- [1] Bosque, A., Ferro, M., Park, H., Tanaka, Y. (2026). Classificazione del grado di neutralità magnetica del legname strutturale: una classificazione di purezza a gradi N per materiali di supporto audio. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 88-121.
- [2] Selwyn, L. S., Sirois, P. J., Argyropoulos, V. (1999). Corrosione del ferro archeologico scavato, con dettagli su essudazione e akaganeite. *Studies in Conservation*, 44(4), 217-232.
- [3] Almkvist, G., Persson, I. (2008). Distribuzione e speciazione di ferro e zolfo in relazione ai processi di degradazione nel legno. *New Journal of Chemistry*, 32(12), 2208-2216.
- [4] Emery, J. A., Schroeder, H. A. (1974). Ossidazione dei carboidrati del legno catalizzata dal ferro. *Wood Science and Technology*, 8(2), 123-137.
- [5] Reclaimed Wood Council (2019). Guida alle migliori pratiche per il rilevamento di metalli ferrosi e non ferrosi nel legname strutturale recuperato. RWC Technical Bulletin TB-07, Londra.
- [6] Flux, R., Bosque, A. (2026). Gradiometria fluxgate e tomografia computerizzata per lo screening delle inclusioni ferromagnetiche nei semilavorati di legname. *Journal of Equatorial Audio Science*, 7(3), 122-140.