

Estratto da

A Ham's Guide to RFI, Ferrites, Baluns, and Audio Interfacing

Revision 3, 24 Apr 2008 by Jim Brown K9YC

Audio Systems Group, Inc.

<http://audiosystemsgroup.com>

Comprensione e soluzione dei problemi di interferenze da RadioFrequenza ed altro Page 5

di Jim Brown, K9YC

Il “Problema del Piedino 1”

Il modo più comune col quale le interferenze della rete elettrica a 50 Hz, ronzii e RadioFrequenza entrano nelle apparecchiature sorge da difetti di progetto ormai ampiamente compresi dalla comunità audio professionale, grazie al lavoro di Neil Muncy, (ex-W3WJE).

Questi lo chiamò “Il Problema del Piedino 1” (*the pin 1 problem*), perché si tratta di collegamenti errati dello schermo dei cavi audio, il piedino 1 nel connettore XLR che è comunemente usato per l'audio professionale, ma è altrettanto un problema delle interfacce sbilanciate di ogni tipo, come mostrato in figura 2.

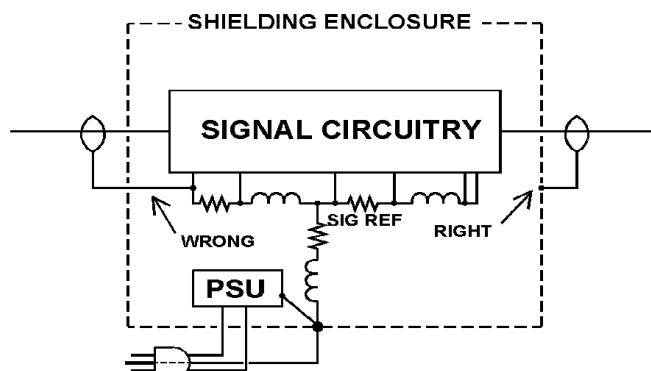


Fig 2 – The Pin 1 Problem

Fig. 2 - Il Problema del Piedino 1

Il corretto punto di collegamento dello schermo del cavo alle apparecchiature è il contenitore schermante (telaio), ma prodotti con il “problema del pin 1” hanno invece collegato lo schermo al circuito stampato. Quasi tutte le apparecchiature di consumo, tra cui anche il più costoso apparato ad “alta futilità”, è già costruito col “problema del piedino 1” incorporato. Praticamente tutte le schede audio da computer hanno questo problema. Così anche la maggior parte delle interfacce RS-232 e quasi tutte le apparecchiature per radioamatori, anzi, quasi tutti i problemi di RFI qui descritti come “RF all'interno della stazione radio” hanno il “problema del piedino 1” come causa principale.

La Fig. 2 illustra il collegamento dello schermo corretto (parte destra, *right*) ed errato (parte sinistra, *wrong*). La connessione senza problemi a destra va direttamente al contenitore schermante, in modo che la corrente dello schermo scorra in modo innocuo sul conduttore di protezione del cavo d'alimentazione. Qualsiasi rumore (o RF) sullo schermo del cavo rimane “fuori dalla apparecchiatura”.

Il collegamento a sinistra, tuttavia, è un problema del piedino 1. La corrente che scorre sullo schermo penetra la schermatura ed è forzata sul collegamento comune di terra ovvero il “collegamento comune dei segnali”. Per arrivare alla terra di protezione del sistema elettrico, la corrente di rumore deve seguire la “pista di massa” di tutto il circuito stampato.

È quello che Henry Ott chiama “l’invisibile schema nascosto dietro il simbolo di terra”. I fili e le piste del circuito che compongono l’invisibile schema hanno resistenza e induttanza in virtù della loro lunghezza, e le cadute di tensione IZ sulle R ed L sono prelevati da ogni “stadio amplificatore” che si collega a massa! Una volta che ciò accade, ogni giunzione a semiconduttore che “vede” la RF la rivela, ed i successivi stadi amplificano di conseguenza la radiofrequenza rivelata.

Che cosa succede se non c'è un contenitore “schermante”? Le Fig. 3a e 3b mostrano come evitare i problemi del piedino 1 con apparecchiature non schermate o parzialmente schermate. (Naturalmente, le apparecchiature non schermate hanno altri problemi potenziali, dei quali parleremo in seguito).

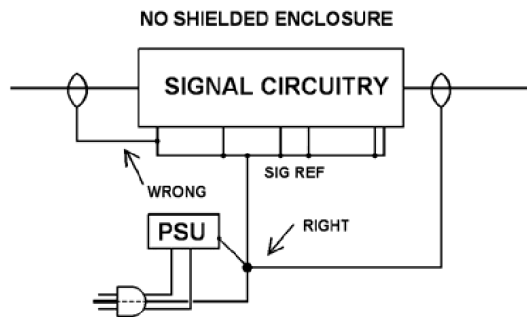


Fig 3a – 120VAC power

Fig. 3a - Alimentazione a 220V CA

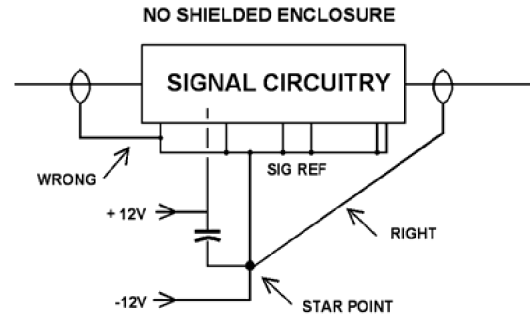


Fig 3b – 12VDC power

Fig. 3b - Alimentazione a 12V CC

Perché è un equipaggiamento costruito con il “problema del piedino 1”? Per due ragioni. In primo luogo, il modo di pensare “fuzzy” (confuso) da parte degli ingegneri, che hanno perso la cognizione dei percorsi delle correnti che sono causa di rumore. In secondo luogo, le tecniche costruttive utilizzate nelle moderne apparecchiature ed i connettori costruiti a sostegno di queste tecniche, rendono più probabile che si presenti il “problema del pin 1”. Ai “vecchi tempi”, montavamo un connettore RCA od un *jack* praticando un foro ed avvitandolo al telaio. Oggi, questi connettori sono dotati di linguette a saldare per montaggio diretto sul circuito stampato, che viene poi costruito, collaudato e montato in un contenitore. Avvitare quei connettori al contenitore ne aumenta notevolmente il costo! E risolvere problemi da piedino 1 in apparecchiature con questo tipo di costruzione può essere molto difficile.

RFI e Problemi del Piedino 1

Ci sono tre modi per risolvere RFI introdotte da problemi di piedino 1. I primi due metodi sono evidenti. Modificare l'apparecchiatura per eliminare il problema del piedino 1, o rivedere le connessioni in modo che lo schermo vada al punto di collegamento appropriato, come mostrato nelle figure 2, 3a e 3b. Purtroppo, il modo in cui di solito sono costruite le apparecchiature rende entrambi questi metodi difficili od impossibili da realizzare.

Il terzo metodo per risolvere le RFI introdotte da problemi di piedino 1 è quello di bloccare la corrente. Questo è di solito il migliore (il più pratico, efficace e conveniente). Questo è quello che facciamo quando inseriamo una ferrite sui collegamenti elettrici con un problema di piedino 1, o stacciamo la schermatura all'estremità ricevente di cavo audio bilanciato oppure colleghiamo tutte le nostre apparecchiature con un conduttore corto e grosso!

Schermatura

I collegamenti all'interno apparecchiatura possono anche fungere da antenna se il progettista non vi ha posto attenzione. Ci sono diversi modi per impedire tutto questo. La più ovvia è quella di schermare le apparecchiature e eseguire una buona connessione (*bonding*: che equivale ad effettuare una solida connessione elettrica) tra lo schermo delle apparecchiature e tutti gli schermi dei cavi che

entrano in tali apparecchiature. Si noti che mentre noi chiamiamo il conduttore comune del circuito, “terra” non è necessaria la connessione a terra (od anche al comune del circuito) della schermatura per essere efficace. (Devo ancora vedere un aereo che traina un conduttore di terra, eppure la cospicua strumentazione di controllo necessaria per volare funziona benissimo).

Una coppia di conduttori intrecciati sono lo strumento più importante che possiamo utilizzare per ridurre il prelievo di RF lungo una interconnessione via cavo. In molti circuiti, l'attorcigliamento dei fili è molto più importante per attenuare il rumore e RF di una schermatura in un cavo. Dal momento che questa affermazione è controintuitiva, esaminiamo perché corrisponde a verità.

Lo schermo di un cavo impedisce l'accoppiamento tramite un campo elettrico (capacitivo), ma offre molto poca schermatura contro i campi magnetici (accoppiamento induttivo). Questo è vero alle basse frequenze, perché le schermature non sono fatte di materiale magnetico. E' vero alle alte frequenze a causa delle imperfezioni dello schermo che diminuisce l'uniformità del flusso di corrente sullo schermo.

Una linea di trasmissione non è sensibile ai campi magnetici, ma lo è in virtù del mutuo accoppiamento tra i conduttori che fa in modo che la corrente e la tensione in loro indotta da un campo esterno sia uguale e contraria, in modo da annullarsi al circuito di ingresso a cui è collegato il cavo. Il grado di questa uguaglianza dipende dal coefficiente di accoppiamento k , che è tipicamente dell'ordine di 0,7 per una coppia di conduttori molto vicini tra loro. Un cavo coassiale ideale, tuttavia, ha un coefficiente di accoppiamento pari a 1 al di sopra della frequenza di taglio dello schermo (vedi sotto). Così, lo schermo di un cavo coassiale non è uno schermo magnetico ma è uno schermo elettrico. L'immunità al rumore magnetico è il risultato del mutuo accoppiamento tra il conduttore centrale e lo schermo, non a perché c'è la schermatura.

Un altro fatto importante spiega il motivo per cui i cavi coassiali non sono immuni all'accoppiamento magnetico di rumori e ronzii a bassa frequenza. I cavi non presentano mutuo accoppiamento a frequenze dove la resistenza del conduttore è superiore alla sua reattanza induttiva. La bassa frequenza a cui questo si verifica è chiamata **frequenza di taglio dello schermo**. Per la maggior parte dei cavi, questa è tra circa 1 kHz (coassiale con una doppia calza di schermatura in rame) e 20 kHz (coassiale con uno schermo sotto forma foglio metallico e conduttore).

L'attorcigliamento dei conduttori fa in modo di annullare il rumore indotto da un campo magnetico causando una tensione indotta nei due conduttori il più uguale possibile. Inoltre riduce l'accoppiamento da campo elettrico nei circuiti equilibrati.

In generale, minore è il passo di attorcigliamento, e più identica sarà la tensione indotta alla frequenza più alta. Questo perché qualsiasi campo interferente varia con la posizione in base alla lunghezza d'onda del campo. Per capire questo, considerare qualsiasi fonte di interferenza e di un cavo che corrono vicini. Se il cavo non è attorcigliato, un conduttore sarà più vicino alla sorgente, in modo che più rumore sarà accoppiato ad questo dell'altro conduttore. Se i conduttori sono intrecciati, un conduttore sarà più vicino ad un dato punto lungo il cavo, ma una mezza attorcigliatura dopo, lungo il cavo, sarà più vicino l'altro conduttore. Potrebbe sembrare che La differenza nella spaziatura tra i conduttori non debba causare molta differenza nel livello, ma se abbiamo bisogno di 100 dB di immunità, le due tensioni devono essere uguali entro 0,0001%, un margine d'errore veramente piccolo.

L'attorcigliatura è un meccanismo talmente efficace per ridurre il rumore indotto, che i circuiti telefonici hanno sempre usato il doppino attorcigliato (coppia) non schermato. Allo stesso modo, i circuiti *Ethernet* ad alta velocità sono trasportati su doppini attorcigliati a passo molto breve prodotti secondo strette tolleranze. Per ridurre ulteriormente la diafonia (*crosstalk*) da una coppia ad

un'altra, ogni coppia nel cavo è attorcigliata con un passo leggermente diverso. L'autore ha dimostrato che sensibili circuiti microfonici, collegati con cavi non schermati tipo CAT6 sono in realtà meno sensibili al rumore indotto rispetto a coppie bilanciate e schermate, sia a frequenze audio che nelle gamme VHF / UHF!

Questo è vero perché l'aumento della sensibilità alle interferenze a causa di imperfezioni del cavo tende ad essere superiore al beneficio relativamente piccolo della schermatura elettrica!

Cavi CAT5/6 che trasportano dati *Ethernet* irradiano inutilmente RF, ma la maggior parte di questa radiazione è di modo comune, ovvero, longitudinalmente lungo il cavo, perché il pilota di linea su un lato o l'altro (od entrambi) del cavo, ha uno scarso isolamento alle correnti di modo comune. Ma questo è un difetto di quegli amplificatori di linea, non del cavo!

RFI ed apparecchiature poco o male schermate

Ci sono poche correzioni pratiche a rimedio dei problemi di RFI per le apparecchiature mal schermate. La più ovvia è quella di schermale, ma se non sono state costruite con una buona schermatura, di solito, è a causa del costo o della scarsa praticità. Potremmo, per esempio, avvolgerla in un foglio d'alluminio, ma per rendere tale schermatura efficace,

- 1) si deve connettere gli schermi di tutti i cavi che entrano ed escono dall'apparecchiatura a tale schermatura a foglio, e
- 2) qualsiasi apertura nello schermo, deve essere una piccola frazione della lunghezza d'onda del segnale interferente; [E' piuttosto difficile guardare un televisore, o regolare i controlli di un sistema stereo, mentre è avvolto in un foglio di alluminio!]
- 3) Modificare il prodotto difettoso con l'aggiunta di filtri (perline di ferrite, condensatori di fuga) nei nodi che stanno rilevando RF [Voi potreste avere il tempo per un progetto scientifico come questo, ma io purtroppo no];
- 4) utilizzare il trattamento del secchio. (*bucket treatment*)

Il trattamento del secchio

Trovate un secchio abbastanza grande da contenere le apparecchiature difettose, e riempite il secchio con dell'acqua. Mettete l'apparecchio nel secchio due volte. Tiratelo fuori una volta fatto.

Riassunto

La RF (energia a radiofrequenza) entra nelle apparecchiature tramite i collegamenti elettrici che agiscono come antenne riceventi - collegamenti all'altoparlante, cavi telefonici, cavi di interconnessione audio, cavi d'antenna, anche i collegamenti all'interno delle apparecchiature che sono poco schermate. Il “problema del piedino 1” è un difetto di progettazione diffusa nei computer, attrezzature audio e video ed anche apparecchiature per radioamatori, ed è una delle principali cause di RFI. La pessima costruzione dei cavi converte la RF in un segnale di modo differenziale. Una volta “dentro la scatola” la RF è rivelata dalle giunzioni dei semiconduttori e sommata al segnale utile ed udita come interferenza. La maggior parte delle “facenti funzione d'antenna” al di fuori della scatola possono essere soppresse da adatte induttanze in ferrite che bloccano la corrente.

The Pin 1 Problem: The most common way that hum, buzz, and RF interference enters equipment is via a design defect first widely understood by the pro audio community thanks to the work of Neil Muncy, (ex-W3WJE). He named it "the pin 1 problem", because it is a mis-wiring of the shield of audio cables – pin 1 in the XL connector commonly used for pro audio, but it is just as much a problem in unbalanced interfaces of all types, as shown in Fig 2.

Fig 2 – The Pin 1 Problem

The proper connection for a cable shield to equipment is the shielding enclosure (chassis), but products with a "pin 1 problem" connect the shield to the circuit board instead. Nearly all consumer equipment, including even the most expensive "high fidelity" gear, is built with pin 1 problems. Virtually all computer sound cards have pin 1 problems. So do most RS-232 interfaces and nearly all ham equipment – indeed, almost all RFI problems we describe as "RF in the shack" have pin 1 problems as their root cause! Fig 2 illustrates both right and wrong connection of the shield. The trouble-free connection on the right goes straight to the shielding enclosure, so shield current flows harmlessly out the safety ground on the power cord. Any noise (or RF) on the cable shield stays "outside the box." The connection on the left, however, is a pin 1 problem.

Current flowing on the shield bypasses the shielding enclosure and is forced onto the "ground bus" – that is, "signal common." To get to the power system ground, noise current must follow that "ground bus" around the circuit board – what Henry Ott calls "the invisible schematic hiding behind the ground symbol." The wires and circuit traces that make up that invisible schematic have resistance and inductance by virtue of their length, and the IZ voltage drops across those R's and L's are coupled into each "gain stage" that connects to the ground bus! Once that happens, every semiconductor junction that "sees" the RF will detect it, and succeeding gain stages will amplify the detected RF.

What if there is no "shielding enclosure?" Fig 3a and 3b shows how to avoid pin 1 problems with unshielded or partially shield equipment. (Of course, unshielded equipment has other potential problems, which we'll talk about later.)

Fig 3a – 120VAC power

Fig 3b – 12VDC power

Why is equipment built with pin 1 problems? Two reasons. First, "fuzzy thinking" on the part of engineers, who have lost track of where noise current flows. Second, the construction techniques used in modern equipment, and the connectors built to support those techniques, make it more likely that pin 1 problems will happen. In "the old days," we mounted an RCA connector or phone jack by drilling a hole and screwing it down to the chassis. Today, those connectors come with solder tabs for mounting directly to a printed circuit board, which is then built, tested, and fitted into an enclosure. Screwing those connectors down to the enclosure increases cost significantly! And **FIXING** pin 1 problems in equipment having this kind of construction can be quite difficult.

RFI and Pin 1 Problems

There are three ways to cure RFI coupled by pin 1 problems. The first two methods are obvious – modify the equipment to eliminate the pin 1 problem, or rewire the connections so that the shield goes to the proper connection point, as shown in Figs 2, 3a, and 3b. Unfortunately, the way that most equipment is built usually makes both of these methods difficult or impossible to implement.

The third method for curing RFI coupled by pin 1 problems is to block the current. This is usually the best (the most practical, effective, and cost-effective). This is what we are doing when we use a ferrite choke on the wiring connected to a pin 1 problem, or lift the shield at the receiving end of a balanced audio cable! We'll study ferrites in Chapter 2.

Shielding The wiring inside equipment can also act as an antenna if the designer allows it to do so. There are several ways to prevent this. The obvious one is to shield the equipment and bond (that is, make a solid electrical connection) that equipment shield to all cable shields entering that equipment. Note that while we call circuit common "ground," no connection to earth (or even circuit common) is needed for shielding to be effective. (I have yet to see an aircraft trailing a ground wire, but the extensive instrumentation needed to operate and control it work just fine.) Twisted-Pair Cable is the single most important tool we can use to reduce RF pickup on an interconnecting cable. In many circuits, twisting is far more important in rejecting noise and RF than a cable shield. Since this statement is counterintuitive, let's examine why it is true.

A cable shield prevents electric field (capacitive) coupling, but it provides very little shielding against magnetic fields (that is, inductive coupling). This is true at low frequencies because cable shields are not made of magnetic material. It is true at high frequencies because of imperfections in the shield that decrease the uniformity of current flow on the shield.

A transmission line does reject magnetic fields, but it does this by virtue of the mutual coupling between the conductors that causes the current and voltage induced in them by an external field to be equal and opposite, so they cancel at the input circuit to which the cable is connected. The degree of this equality depends on the coupling coefficient k , which is typically on the order of 0.7 for a closely spaced pair. An ideal coaxial cable, however, has a coupling coefficient of 1 above the cutoff frequency of the shield (see below). So, the shield of a coaxial cable is not a magnetic shield, it is an electric shield. Magnetic noise rejection is the result of mutual coupling between the center conductor and the shield, not because of shielding.

Another important fact explains why coaxial cables don't reject magnetically coupled low frequency hum and buzz. Cables don't exhibit mutual coupling at frequencies where the resistance of the conductor is greater than its inductive reactance. The low frequency at which this transition occurs is called the shield cutoff frequency. For most cables, this is between about 1 kHz (coax with a "beefy" double copper braid shield) and 20 kHz (coax with a foil/drain shield).

Twisting works to reject noise from the magnetic field because it causes the voltage induced in the two conductors to be more nearly equal. It also reduces electric field coupling in balanced circuits. In general, the "tighter" the twist, the more equal the induced voltage will be to the highest frequency.

That's because any interfering field will vary with position based on the wavelength of the field. To understand this, consider any interfering source and a cable running past it. If the cable is not twisted, one conductor will be closer to the source, so more noise will be coupled to it than the other conductor. If the conductors are twisted, one conductor will be closer at one point along the cable, but one half twist further along the cable, the other conductor will be closer. The difference in spacing between the conductors may not sound like it should cause much difference in level, but if we need 100 dB of cancellation, the two voltages must be equal within .0001%, a very small margin of error.

Twisting is such a powerful mechanism for reducing noise coupling that telephone circuits have always used unshielded twisted pair. Likewise, very high speed Ethernet circuits are carried on tightly twisted pairs manufactured to close tolerances. To further reduce crosstalk from one pair to another, each pair in the cable is twisted at a slightly different rate. The author has demonstrated

that sensitive microphone circuits connected with unshielded CAT6 cables are actually less susceptible to noise pickup than shielded balanced pairs, both at audio frequencies and at VHF/UHF! This is true because the degradation in rejection due to imperfections in the cable tend to be greater than the relatively small benefit of the electric shield!

CAT5/6 cables carrying Ethernet data do radiate RF trash, but most of that radiation is common mode – that is, longitudinally along the cable – because the line drivers on either (or both) ends of the cable have poor common mode isolation. But this is a defect in those line drivers, not in the cable! We'll address RFI filtering of Ethernet cables later on.

RFI and Poorly Shielded Equipment There are few practical RFI fixes for poorly shielded equipment.

The most obvious is to shield it, but this is usually either expensive or impractical if it wasn't built with good shielding. We could, for example, wrap it in aluminum foil, but to make that shielding effective, 1) we must bond the shields of all wiring that enters and leaves the equipment to that foil shield; and 2) any openings in the shield must be small as a fraction of the wavelength of the interfering signal; [It is quite difficult to watch a TV set, or adjust the controls of a stereo system, that is surrounded by aluminum foil!]; 3) Modify the defective product by adding filters (ferrite beads, bypass capacitors) to the junctions that are detecting the RF [you may have time for a science project like this, but I don't]; 4) use the bucket treatment.

The Bucket Treatment: Find a bucket large enough to hold the defective equipment, and fill the bucket with water. Put the equipment in twice. Take it out once.

Summary RF is coupled into equipment on wiring that acts as receiving antennas – loudspeaker wiring, telephone wiring, audio interconnect wiring, antenna wiring, even wiring inside equipment that is poorly shielded. The pin 1 problem is a widespread design defect in computer gear, audio and video equipment, and even ham gear, and is a major cause of RFI. Imperfect construction of cables also converts RF to a differential mode signal. Once "inside the box," RF is detected by semiconductor junctions, and added to the signal where it is heard as interference. Most antenna action outside the box can be suppressed by suitable ferrite chokes that block the current.