



Isidoro KZ (IsidoroKZ)

POTENZA EFFICACE, WATT RMS E ALTRI MOSTRI

4 March 2015

Introduzione

Abbastanza spesso si sentono espressioni del tipo watt RMS, potenza efficace... che sono espressioni senza senso o usate in modo errato, per non parlare poi dei watt pmpo e altre amenità del genere.

Questo articolo è un compendio dei post che ho scritto sull'argomento, uno dei quali cominciava così:

Avendo problemi a prendere sonno, e non essendoci qui il signor Goldberg, prendetevi questo post, lungo e noioso, con tutti i passaggi fatti (prima o poi lo trasformo in un articolo per il portale), e visto che ogni promessa è debito, here we are!

Quanto detto nel seguito è orientato al mondo audiofilo, cercando però di rimanere nella correttezza formale.

In campo professionale audio (e anche non audio) ci sono molti aspetti ulteriori da considerare, che vanno dal carico non puramente resistivo, al carico non lineare, ai segnali con distribuzioni di ampiezza e distribuzioni spettrali le più varie. Mi limiterò però solo ai watt RMS o poco più.

Watt RMS et similia

Comicio soft con una *Dichiarazione di Principio*: **I watt musicali, efficaci, RMS e picco picco, e già che ci siamo mettiamoci pure i pmpo NON esistono!**

Non ci sono proprio e per due buone ragioni, una formale l'altra sostanziale. Quella formale è che i watt sono watt e basta, come i volt sono volt! Non ci sono i watt di picco e i volt RMS. C'è la potenza di picco che si misura in watt e la tensione RMS, o efficace, che si misura in volt.

E` come dire che un tavolo è 2m lunghi, 80cm profondi e 90 cm alti. Non ci sono i centimetri alti diversi da quelli profondi, sono sempre centimetri.

Ciò detto (e ammetto che è una finezza metrologica) la ragione sostanziale per cui non esiste la potenza RMS è che è una grandezza senza senso. Su carichi resistivi esistono solo due potenze significative: quella **media** e quella di **picco** (tutte e due misurate con gli stessi watt 😊), e in campo audio la potenza di picco è spesso usata per confondere le idee.

Una tensione efficace V messa su una resistenza fa scorrere una corrente efficace $I = \frac{V}{R}$. La potenza dissipata da quella resistenza vale $P = VI$ ed è una potenza **media**, non potenza RMS, che non ha senso, come spero di far vedere dopo.

La ragione per cui la potenza **media** è importante nel calcolo della dissipazione dipende dal fatto che anche se la potenza istantanea varia, il sistema termico con la sua capacità termica e la sua resistenza termica funziona da filtro passa basso e l'effetto netto rimane solo quello della potenza media.

Tutte le altre potenze esistono per due ragioni: errore iniziale di qualcuno che non sapeva di che cosa stesse parlando, e ripetizione di una cosa che non si capisce ma che fa figo 😊 In realtà in alcuni casi c'è anche il fatto che i numeri vengono più grandi e la cosa commercialmente è sfruttabile.

Già 40 e oltre anni fa l'AES (Audio Engineering Society) scriveva che la potenza RMS non ha senso, purtroppo lo spirito commerciale vince su quello tecnico 😞

Significato di RMS o efficace

Il significato di **RMS**, Root Mean Square, in italiano **efficace**, è una ricetta che dice:

- S: prendi il segnale e fanne il quadrato
- M: fanne il valore medio
- R: estrai la radice della media

Questo operatore può essere applicato a qualunque segnale, ma ha senso praticamente solo per le tensioni e correnti perché permette di calcolare le perdite e gli effetti termici sulle resistenze. Il valore efficace di una tensione o di una corrente è quel valore di continua che applicato a una resistenza la scalda come il segnale originale... solita storia che sanno anche i gatti.

Segnale sinusoidale

Iniziamo con un caso semplice, con un segnale sinusoidale $v(t) = V_p \cos(\omega t)$ e appliciamolo a una resistenza di valore R

La potenza istantanea vale

$$p(t) = \frac{(V_p \cos(\omega t))^2}{R} = \frac{V_p^2 \left(\frac{\cos(2\omega t) + 1}{2} \right)}{R} = \frac{V_p^2 (\cos(2\omega t) + 1)}{2R} = \frac{V_p^2}{2R} (\cos(2\omega t) + 1)$$

Calcoliamo il valore *medio* di questa espressione (potenza media)

$$\overline{p(t)} = P_m = \frac{V_p^2}{2R} \left(\overline{\cos(2\omega t) + 1} \right)$$

Il valore medio di una funzione sinusoidale su un numero intero di cicli vale zero, e dopo tutti questi calcoli si ritrova la solita espressione $P_m = \frac{V_p^2}{2R}$.

Adesso vediamo che cosa capita calcolando la potenza e partendo dalla tensione efficace.

La potenza $P_{\text{eff?}}$ (per il momento la chiamo così, con il punto interrogativo, poi vediamo) che si ottiene vale $P_{\text{eff?}} = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R}$ e ricordando che per una tensione sinusoidale si ha $V_{\text{eff}} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$, sostituendo nell'espressione precedente si ottiene

$$P_{\text{eff?}} = \frac{\left(\frac{V_p}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} = \frac{V_p^2}{2R}$$

ma questa è la potenza media P_m di prima! Calcolando la potenza dissipata su una resistenza usando la tensione efficace si ottiene la potenza *media*.

Segnale qualunque

Proviamo in un altro modo, senza vincolarci a segnali sinusoidali (qui sto nascondendo tanta roba sotto al tappeto, spero che nessuno venga ad alzarlo!). La definizione di tensione efficace è $V_{\text{eff}} = \sqrt{\overline{v(t)^2}}$. Sostituiamolo nell'espressione di $P_{\text{eff?}}$ (sempre con il punto interrogativo):

$$P_{\text{eff?}} = \frac{V_{\text{eff}}^2}{R} = \frac{\left(\sqrt{\overline{v(t)^2}}\right)^2}{R} = \frac{\overline{v(t)^2}}{R}$$

e visto che l'operatore di media è lineare, il fattore costante R può entrare nella media e si ha

$$P_{\text{eff?}} = \overline{\left(\frac{v(t)^2}{R}\right)} = \overline{p(t)} = P_m.$$

Abbiamo ritrovato che usando le grandezze efficaci di tensione (o corrente), anche su segnali qualunque, si trova la potenza media.

A questo punto verrebbe da dire: allora la potenza efficace o RMS è solo un altro nome della potenza media. In realtà non è così perché le indicazioni grandezza RMS e grandezza media sono due cose completamente diverse. Ad esempio la tensione di rete ha un valore efficace di 230 V ma un valore medio di 0 V. Notare che per l'unità di misura della tensione ho usato il simbolo V, non V_{RMS} .

Potenza efficace

Un altro motivo per cui non è vero che potenza efficace e potenza media sono sinonimi è che si può calcolare la potenza efficace, applicando la definizione "a ricetta" data prima. Riprendiamo il valore

della potenza istantanea di una tensione sinusoidale su una resistenza: $p(t) = \frac{V_p^2}{R} \cos^2(\omega t)$ e calcoliamone il valore RMS.

Si deve fare il quadrato (S) di questa funzione:

$$\begin{aligned} p(t)^2 &= \left(\frac{V_p^2}{R} \cos^2(\omega t) \right)^2 = \frac{V_p^4}{R^2} \cos^4(\omega t) = \\ &= \frac{V_p^4}{4R^2} \left(\frac{\cos(4\omega t)}{2} + 2 \cos(2\omega t) + \frac{3}{2} \right) \end{aligned}$$

Ora dobbiamo prendere il valore medio (M), ricordando che come prima il valore medio di una funzione sinusoidale presa su un numero intero di periodi vale zero:

$$\overline{p(t)^2} = \frac{V_p^4}{4R^2} \left(\overline{\frac{\cos(4\omega t)}{2} + 2 \cos(2\omega t) + \frac{3}{2}} \right) = \frac{3V_p^4}{8R^2}$$

L'ultimo passo consiste nel prendere la radice quadrata (R) di quanto calcolato finora ottenendo la **vera** potenza efficace, quella ottenuta applicando la definizione di RMS:

$$\sqrt{\overline{p(t)^2}} = P_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{3V_p^4}{8R^2}} = \frac{V_p^2}{2R} \sqrt{\frac{3}{2}} = P_m \sqrt{\frac{3}{2}} \text{ e da questo si vede che } P_m \neq P_{\text{eff}}.$$

Esempio numerico

Proviamo a mettere qualche numero in un semplice esempio, giusto per vedere cosa capita. Consideriamo una tensione sinusoidale con picco di 100 V, su una resistenza da 50 Ω.

Calcolo analitico

La potenza **media** dissipata vale $P_m = \frac{(100\text{V})^2}{2 \times 50\ \Omega} = 100\text{ W}$. La potenza **efficace** vale invece

$$P_{\text{eff}} = \frac{(100\text{V})^2}{2 \times 50\ \Omega} \sqrt{\frac{3}{2}} = 122.47\text{ W.}$$

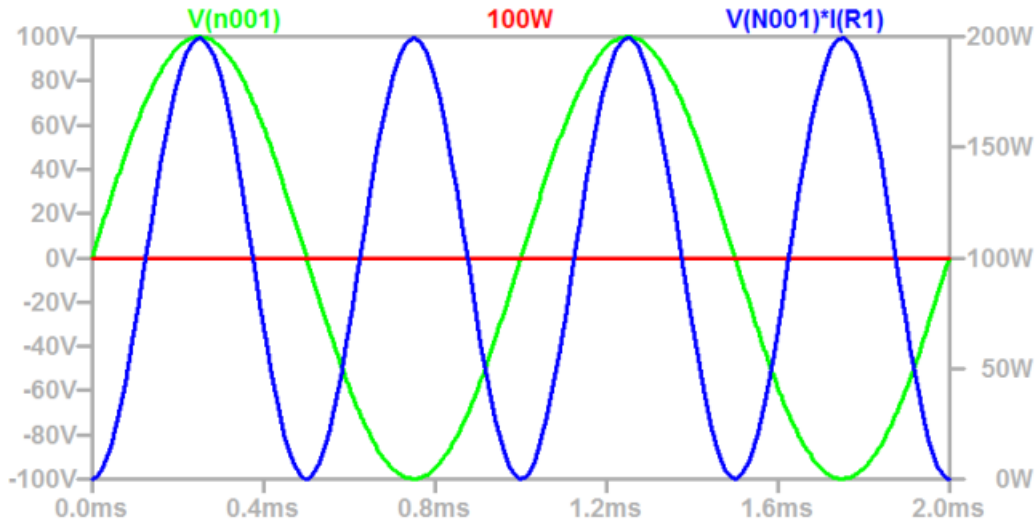
Infine la potenza di picco vale

$$P_p = \frac{V_p^2}{R} = \frac{(100\text{V})^2}{50\ \Omega} = 200\text{ W.}$$

Il problema della potenza efficace non è solo che applicando l'operatore RMS viene un risultato diverso rispetto alla potenza media (che è poi quella che scalda). Un problema ancora maggiore è che per arrivare a questo risultato si è passati per una potenza al quadrato, che non ha **nessun** significato fisico (tranne *forse* in un caso).

Simulazione

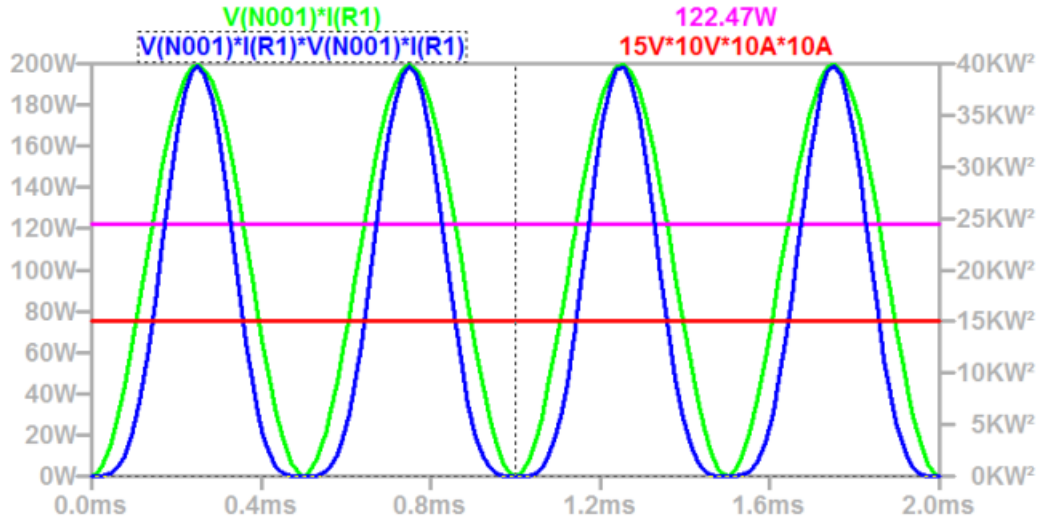
Seguono i risultati della simulazione dell'esempio visto prima: generatore di tensione sinusoidale con picco tensione di picco di 100 V, su una resistenza da 50 Ω .



Tensione, potenza istantanea e media

La sinusoide in verde è la tensione applicata alla resistenza, la sinusoide blu, a frequenza doppia e *tutta positiva* è la potenza istantanea $p(t)$ infine la curva rossa è la potenza media.

Se si volesse calcolare la potenza efficace, bisognerebbe prendere la potenza istantanea, farne il quadrato e trovarne il valore medio. Nel grafico successivo sono mostrati i vari passaggi. Da notare che sulla scala di destra il simulatore scrive 40KW^2 che è sbagliato, perché scritto in quel modo anche il k (che deve essere minuscolo) è sotto l'operazione di quadrato. La scrittura corretta dovrebbe essere 40000W^2 oppure 0.04kW^2 . E' noto che gli americani in campo di metrologia eccellono (NIST) oppure sono molto scarsi (quasi tutti gli altri 😊)



Potenza efficace

La curva verde è la potenza istantanea, il dato di partenza, che va da 0 W a 200 W. La curva blu è la potenza istantanea al quadrato, che va da 0 W² fino a 40000 W². Questa forma d'onda NON è sinusoidale, come già ricavato in precedenza. Il valore costante rosso è il valor medio della curva blu, che vale 15000 W². Per tracciare questa curva ho dovuto barare un pochino 😊. Infine la costante viola è la radice quadrata del valor medio, 122.47 W come ricavato in precedenza. Da notare il passaggio per i watt al quadrato, che non so proprio che significato fisico possano avere.

Altro esempio: onda triangolare

Facciamo ora i conti per un'onda triangolare. Anche in questo caso la tensione di picco è di 100 V, su una resistenza da 50 Ω. L'onda triangolare deve essere senza componente continua (segnale AC), e la simmetria dell'onda non ha importanza.

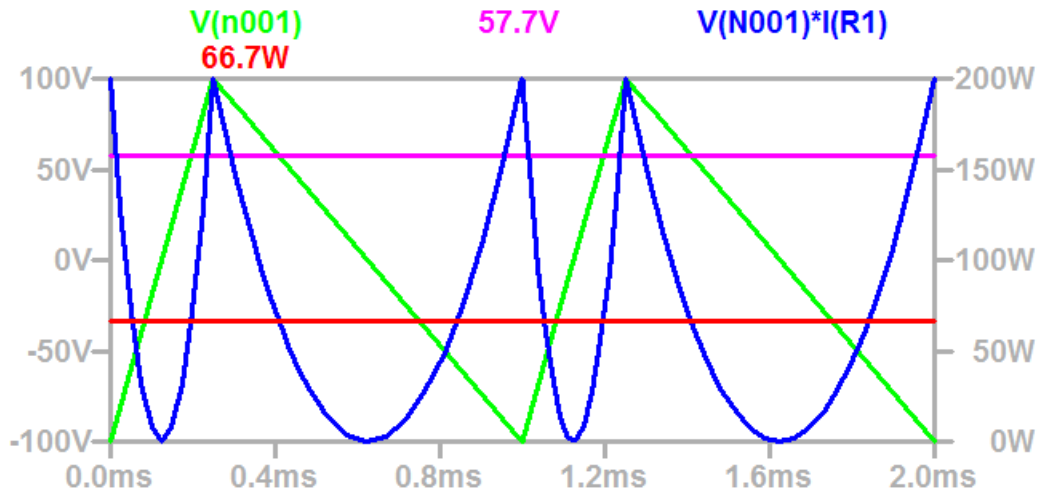
Calcolo analitico e simulazione

Nel caso di onda triangolare senza componente continua, il valore efficace vale $V_{\text{eff}} = \frac{V_p}{\sqrt{3}}$. Il

valore RMS della tensione è quindi $V_{\text{eff}} = \frac{100\text{V}}{\sqrt{3}} = 57.7\text{V}$ e la potenza *media* dissipata vale

$P_m = \frac{(57.7\text{V})^2}{50\Omega} = 66.7\text{W}$. La potenza di picco è sempre di 200 W perché la tensione di picco è rimasta la stessa.

Le forme d'onda di questo caso sono mostrate nella figura seguente

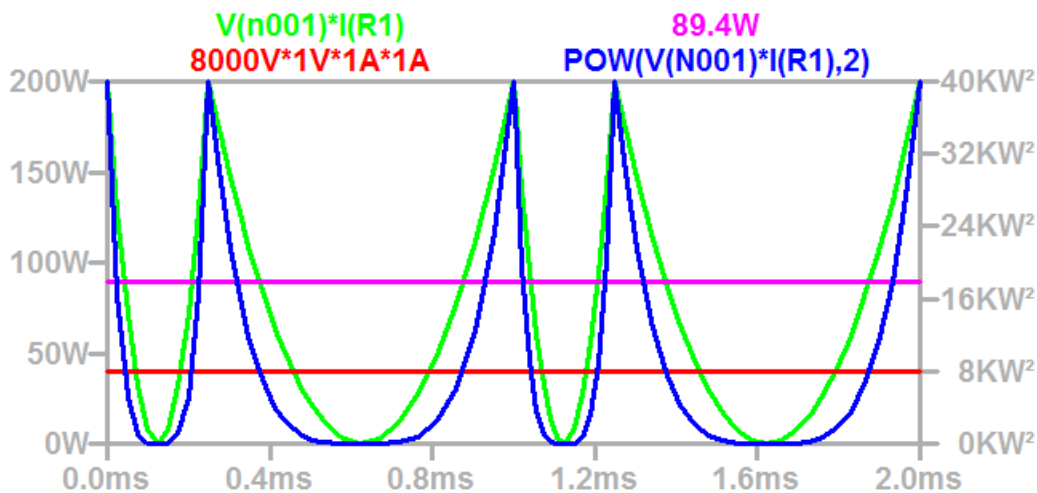


Tensione efficace e potenza media triangolo

La traccia verde è la tensione triangolare originale, con il solito valore di picco, applicata sulla resistenza da $50\ \Omega$. La traccia blu è la potenza istantanea ed è formata da archi di parabola che derivano dai tratti rettilinei al quadrato. In rosso è riportata la potenza *media* dissipata (riesco a farla calcolare dal simulatore ma non a visualizzarla, devo riportarla a mano), infine la traccia viola è il valore efficace della tensione triangolare.

Il conto della potenza "efficace" applicando la definizione RMS dà come risultato per l'onda triangolare sulla resistenza una potenza pari a $P_{\text{eff}} = \frac{V_p^2}{3R} \cdot \sqrt{\frac{9}{5}} = \frac{(100\text{V})^2}{3 \times 50\ \Omega} \cdot \sqrt{\frac{9}{5}} = 89.4\ \text{W}$ valore che non c'entra nulla con la potenza dissipata dalla resistenza.

La simulazione di questo caso è mostrata nella figura seguente



Potenz efficace onda triangolare

La curva verde è la potenza istantanea, tutta positiva e con valore di picco di 200 W. La curva blu è la potenza istantanea elevata al quadrato, che raggiunge il valore di picco di 40000 W^2 (con il solito errore di notazione sulla scala di destra). La costante rossa è il valor medio del quadrato, e vale 8000 W^2 , infine la costante viola è la radice quadrata finale dell'RMS e il risultato mostrato è di 89.4 W.

Anche in questo caso il risultato che si ottiene non è collegato alla potenza dissipata e rimane il mio interrogativo sul significato fisico di una potenza al quadrato!

La famiglia dei watt e delle potenze

In campo audiofilo, dove spesso le conoscenze tecniche latitano, sono nate e prosperano svariate denominazioni di potenza, con relative unità di misura.

Come detto in precedenza, su carico resistivo le sole potenze significative sono la potenza media e la potenza di picco. A causa di lunga tradizione che affonda nelle radici dell'ignoranza passata e prospera grazie all'ignoranza contemporanea, si sente praticamente sempre parlare di potenza efficace o potenza RMS, che, come mostrato prima, non ha nessun senso. A questo si aggiunge l'obbrobrio di etichettare anche le unità di misura, quindi ci sono i watt RMS, i watt di picco... I watt sono watt, è la potenza ad essere di picco. L'unica dizione che non si sente in ambiente audiofilo è "potenza media" che è la sola significativa 😊

Non contenti di tutto questo, la fantasia audiofila si è scatenata dicendo: se ho un amplificatore da $100 \text{ W}_{\text{RMS}}$, allora molti sanno che il valore di picco sarà di circa $141 \text{ W}_{\text{pk}}$. I più "studiati" invece sanno che la potenza di picco è doppia, e quindi all'amplificatore di prima si può associare una potenza di $200 \text{ W}_{\text{pk}}$. E dato che tutti sanno che il valore picco picco è il doppio del picco, lo stesso amplificatore può anche essere dichiarato da $400 \text{ W}_{\text{p-p}}$. Ovviamente sono tutte baggiate, ma sono comunemente usate 😊

Mica è finita: moltiplicare per 4 la potenza media di un amplificatore non è abbastanza, non vengono valori sufficientemente grandi. Si è passati così a parlare di potenza musicale, detta anche potenza di picco, definita non secondo quanto detto prima, ma come la potenza che l'amplificatore può erogare per un breve periodo con una distorsione limitata. Peccato che nessuno dica quanto sia lungo il breve periodo, e neppure a quanto debba ammontare la distorsione massima.

In alcuni campi la potenza di picco può essere un parametro utile, dice qual è la massima prestazione elettrica del circuito, senza considerare eventuali limitazioni termiche o di alimentazione. In campo audio la potenza di picco o musicale spesso è solo un numero più o meno casuale basta che sia consistentemente più grande della potenza media.

Infine c'è la mitica potenza PMPO, che è un valore casuale che può essere svariate decine di volte maggiore della potenza media. PMPO significa Peak Music Power Output, oppure Peak

Momentary Performance Output, che qualcuno ha definito come la potenza erogabile dall'amplificatore scaricando completamente in 10ms i condensatori di alimentazione.

Perché proprio 10ms? Perché no! In questo modo si ottiene un valore molto grande. Se non basta, è sufficiente prendere un tempo più piccolo 😊

Ad esempio, usando questa definizione, un onesto amplificatore alimentato a ± 40 V, che se fatto bene potrebbe erogare una ottantina di watt su un carico da 8Ω , con condensatori da 10 mF su ogni ramo di alimentazione, può essere dichiarato con una potenza PMPO di 1.6 kW , perché ogni condensatore immagazzina 8 J e se si scaricano 16 J in 10 ms si ha una potenza di 1.6 kW . Mi pare ovvio che siano sciocchezze immani!

In realtà il vero significato di **PMPO** è: **Purely Mythical Power Output** 😊

Il sito della Rane ha un [glossario](#) che alla voci incriminate dice:

RMS power *No such thing.* A misnomer, or application of a wrong name. There is no such thing as "RMS power." *Average* or *apparent* power is calculated using RMS values but that does not equal "RMS power;" it equals continuous sine wave power output into a resistive load.

PMPO (peak music power output or peak momentary performance output) An *arbitrary* made-up specification (marketing gimmick) that supposedly measures the total maximum power output from an amplifier at a given THD+N level during a brief transient. Also used to express dubious loudspeaker power ratings. Typically there is a 12-to-1 difference between PMPO and average power (67:1 is the record).

Ho visto delle piccole casse da PC (potenza media probabilmente un paio di watt) dichiarate come 800 W PMPO.

Conclusion

Sono perfettamente consapevole che quanto scritto sopra non avrà nessun effetto, ma talvolta mi piacciono le cause perse in partenza! Questa chiacchierata è solo per puntualizzare l'uso di parametri *fantasiosi* di potenza.

Non dovendo parlare di progettazione, non ho tenuto conto di molti fattori che invece devono essere considerati quando si progetta un amplificatore. Ad esempio il carico non è sicuramente resistivo e questo fa aumentare la potenza dissipata dall'amplificatore.

Inoltre il segnale audio ha una distribuzione di ampiezza che è una via di mezzo fra una gaussiana e una laplaciana troncata con fattori di cresta abbastanza elevati, e si può sfruttare questa caratteristica per ottenere amplificatori più leggeri a pari potenza di picco e potenza media del segnale audio. Un amplificatore del genere non potrebbe lavorare con un segnale sinusoidale permanente, che invece è il segnale da usarsi nei test.

Bibliografia

Un riferimento generale è Wikipedia in inglese, alla voce [Audio power](#). Da leggere anche la bibliografia associata alla voce, in particolare gli articoli di Eliott. Invece Wikipedia in italiano, alla voce [PMPO](#) parla tranquillamente di potenza RMS, dimostrando l'incompetenza dell'estensore della voce.

Estratto da "<https://www.electroyou.it/mediawiki/index.php?title=UsersPages:Isidorokz:potenza-efficace-e-watt-rms>"