ON4CRD

Volume 05

Il calcolo dei filtri



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Volume 05 · 48 pagine

Note legali

Volume 05 · Il calcolo dei filtri

Editore del sito web : Radio Club Durnal ON4CRD

Responsabile della pubblicazione : Comitato del Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Note legali

Proprietà intellettuale

Testi, immagini, documenti, loghi e materiali pubblicati sul sito restano di proprietà dei rispettivi autori o del club. Qualsiasi riproduzione o riutilizzo deve rispettare la fonte, i diritti applicabili e qualsiasi autorizzazione dell'autore.

Responsabilità

Il club si impegna a pubblicare informazioni utili e verificate, ma non garantisce l'assenza di errori, omissioni o interruzioni. Le informazioni tecniche o normative devono essere confrontate con fonti ufficiali quando supportano una decisione.

Illustrazioni create con l’assistenza dell’intelligenza artificiale.

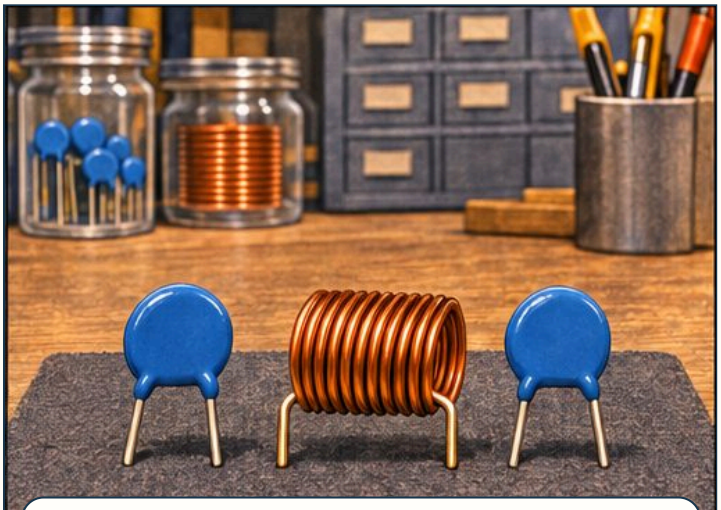
Una nuova missione



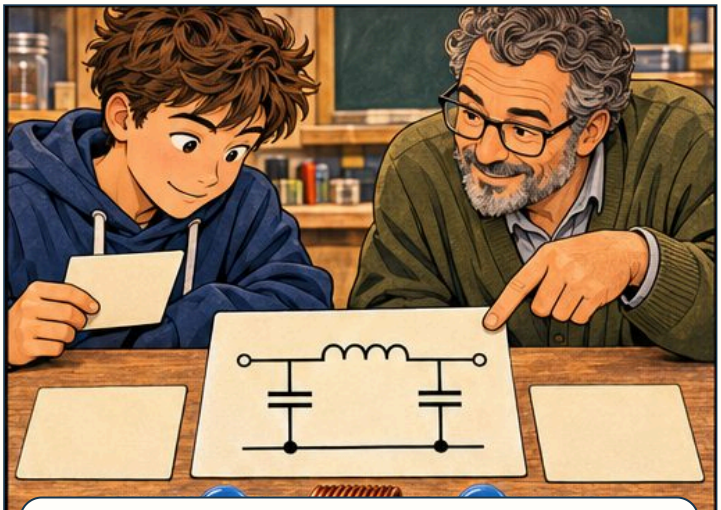
Al club, Lucas ritrova il quaderno dopo il laboratorio di elettricità.



Henri prepara una dimostrazione sulla qualità dei segnali.



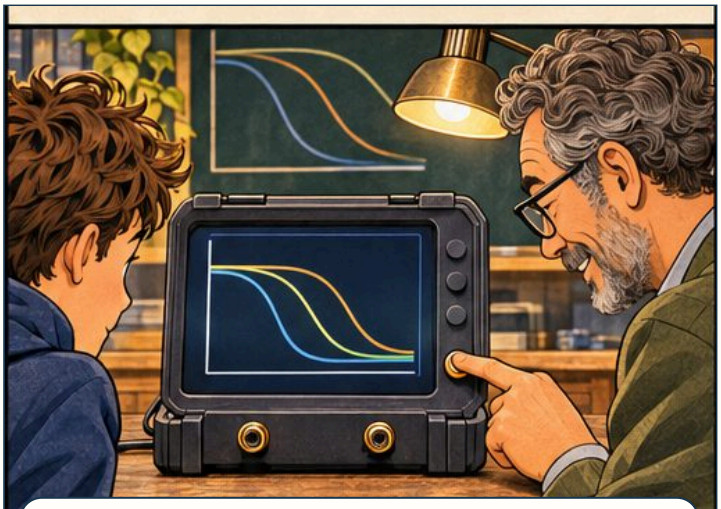
Sul tavolo aspettano due condensatori e una bobina.



La sfida: capire, calcolare e misurare un filtro passa-basso.

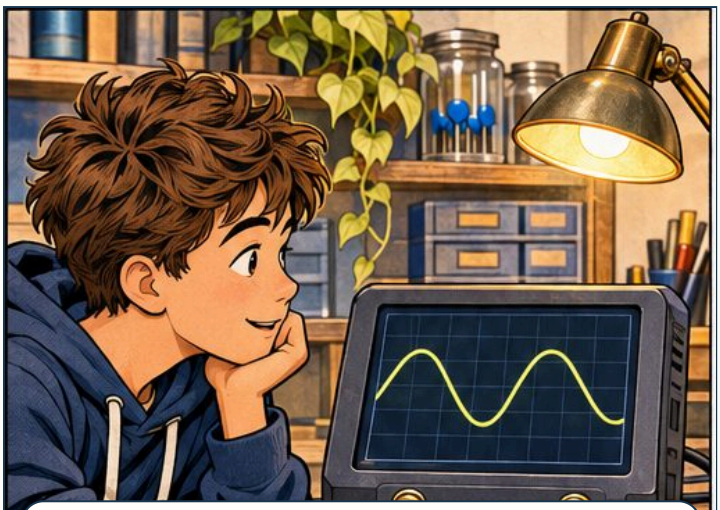


Il ragazzo vuole capire come tre componenti possano cambiare tutto.

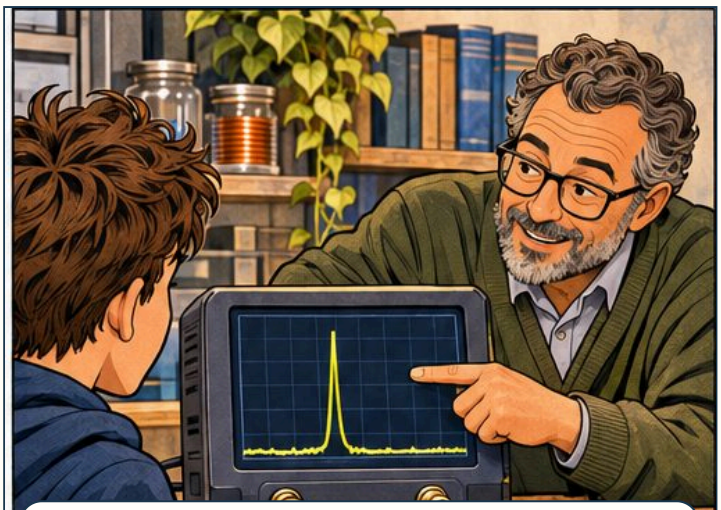


Cominciano osservando che cosa contiene un segnale.

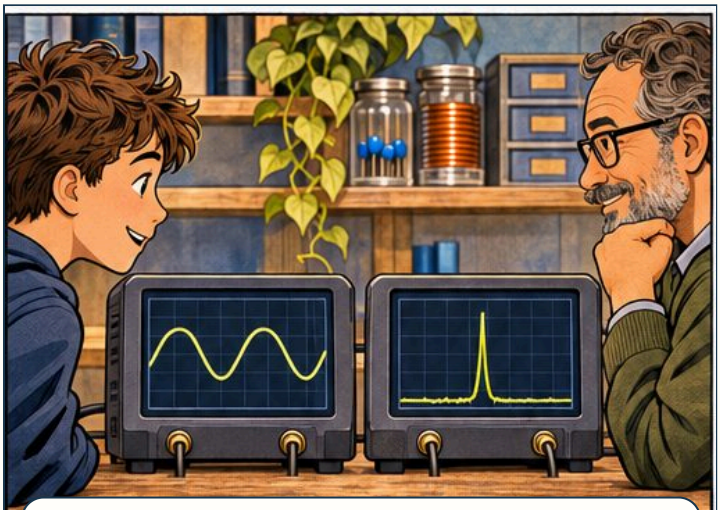
Il segnale e il suo ritratto



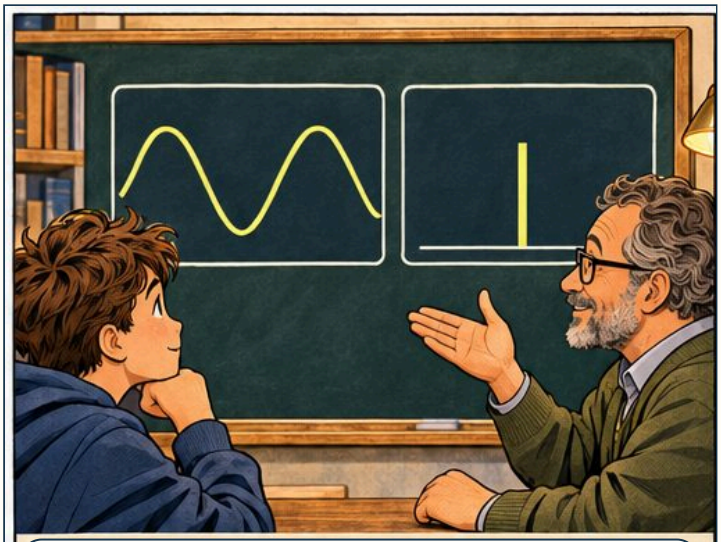
Una curva nel tempo mostra come cambia un segnale.



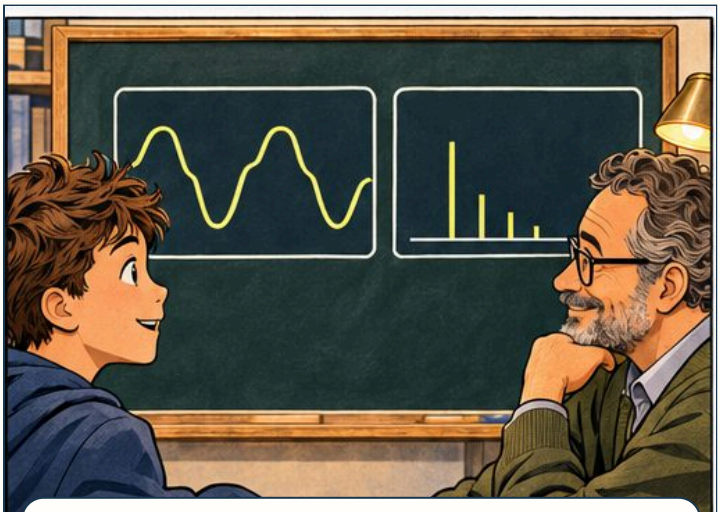
Uno spettro ne presenta le componenti secondo la frequenza.



Le due viste descrivono diversamente lo stesso segnale.



Una sinusoide ideale ha una sola frequenza.

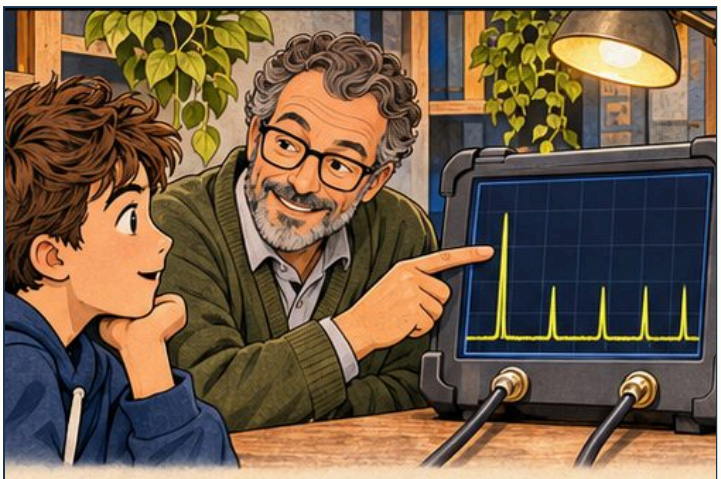


Una forma distorta può contenere più componenti.



Il ragazzo scopre un ritratto che non sapeva leggere.

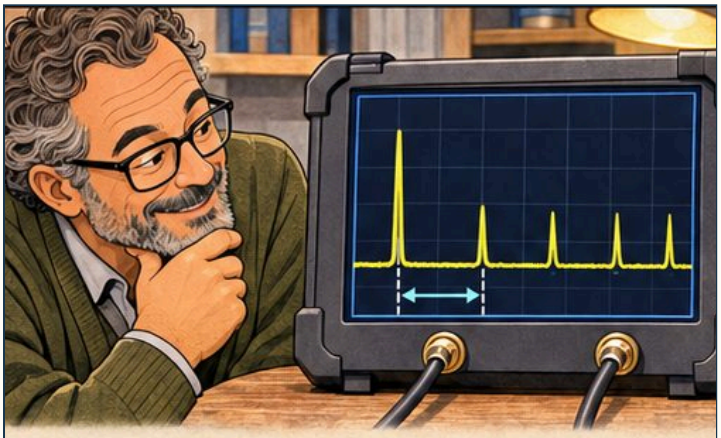
Si rivelano le armoniche



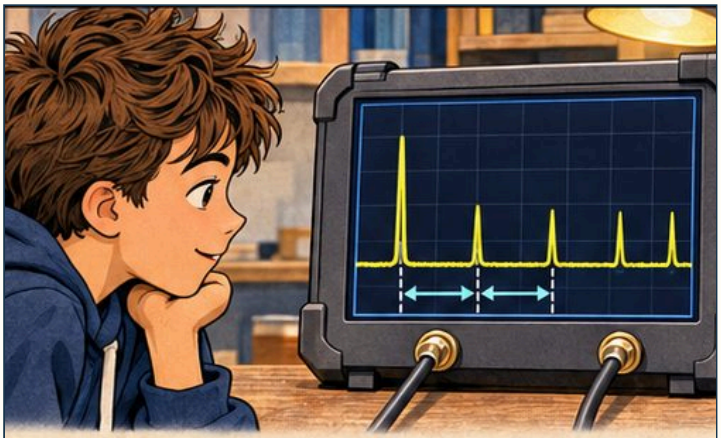
La frequenza fondamentale è il primo riferimento di un segnale periodico.



Le armoniche sono multipli interi di questa frequenza.



La seconda si trova al doppio della fondamentale.



La terza si trova al triplo di questa frequenza.

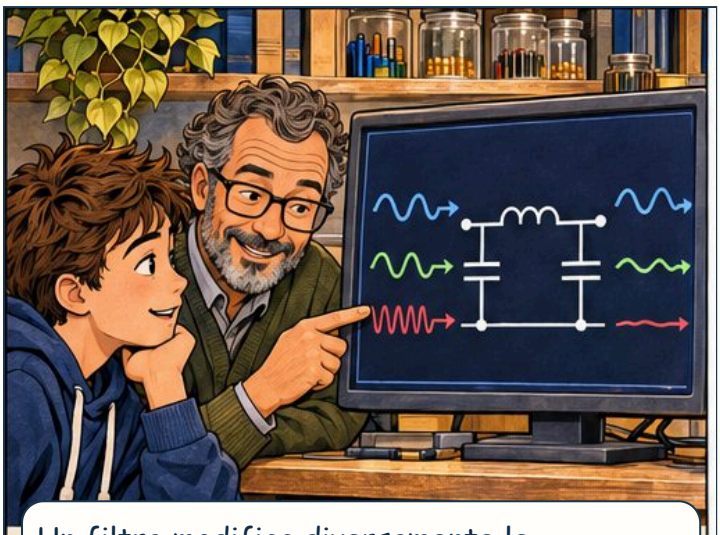


Non tutte le componenti indesiderate sono però armoniche.

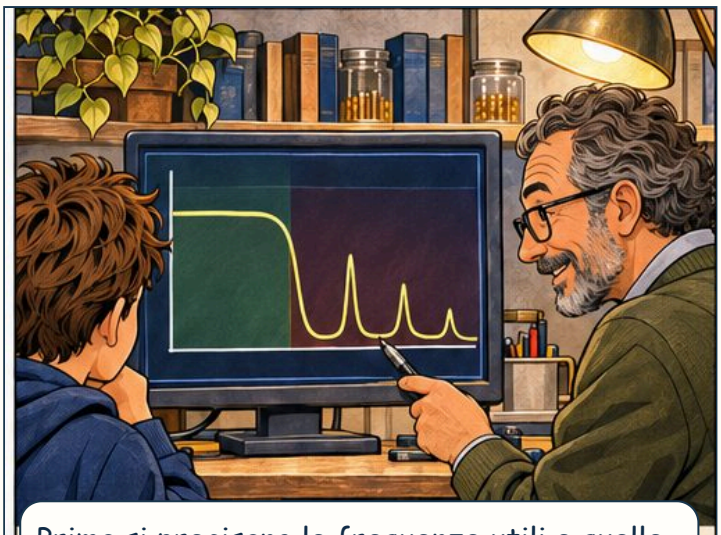


Il filtro dovrà rispondere a un'esigenza ben definita.

Scegliere che cosa conservare



Un filtro modifica diversamente le componenti secondo la frequenza.



Prima si precisano le frequenze utili e quelle disturbanti.



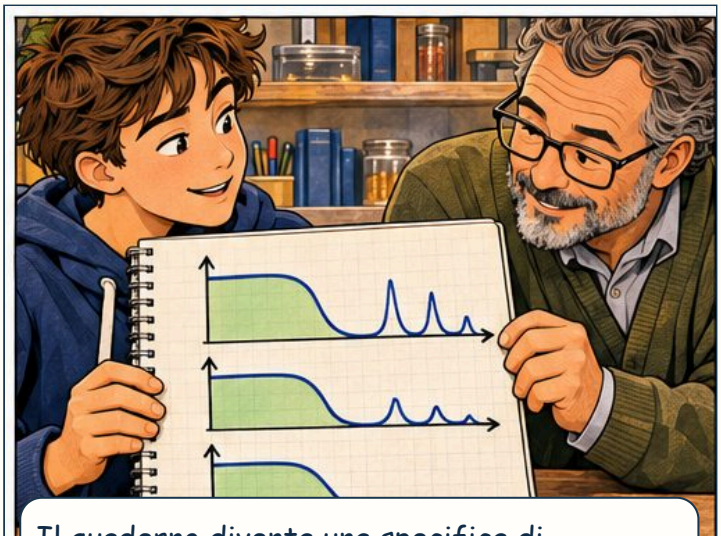
Si fissano anche le attenuazioni desiderate.



Senza questi obiettivi, calcolare componenti avrebbe poco senso.

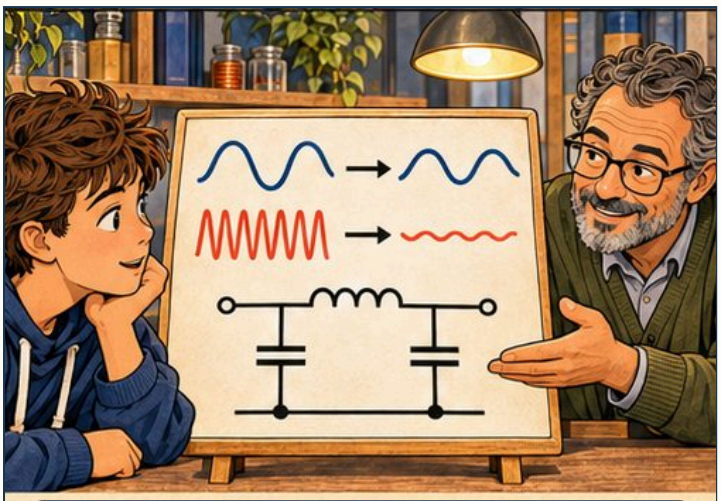


Il ragazzo cerchia la zona utile di uno spettro d'esempio.



Il quaderno diventa una specifica di progetto.

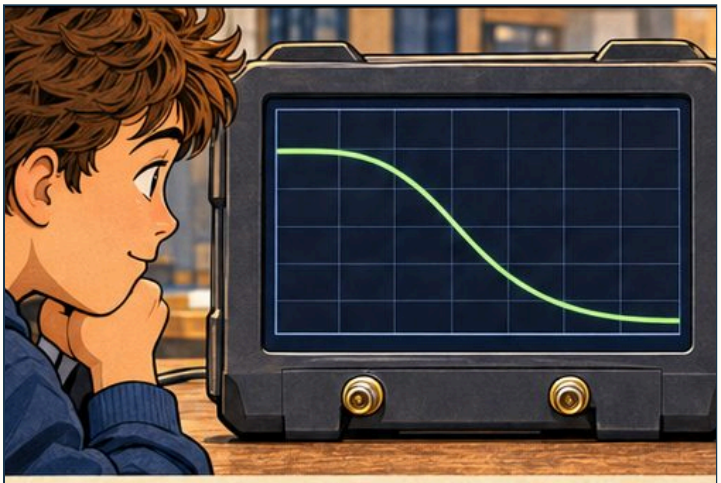
La scelta del passa-basso



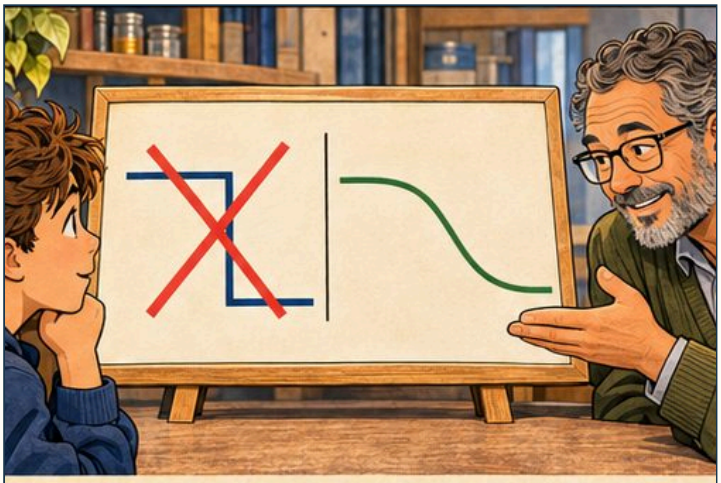
Un passa-basso trasmette meglio le frequenze basse di quelle alte.



La sua banda passante occupa il lato delle basse frequenze.



Più in alto, l'attenuazione aumenta gradualmente.



La transizione reale non è mai un muro verticale perfetto.



Questo tipo va bene per la dimostrazione odierna.



Il ragazzo disegna una pendenza invece di una barriera.

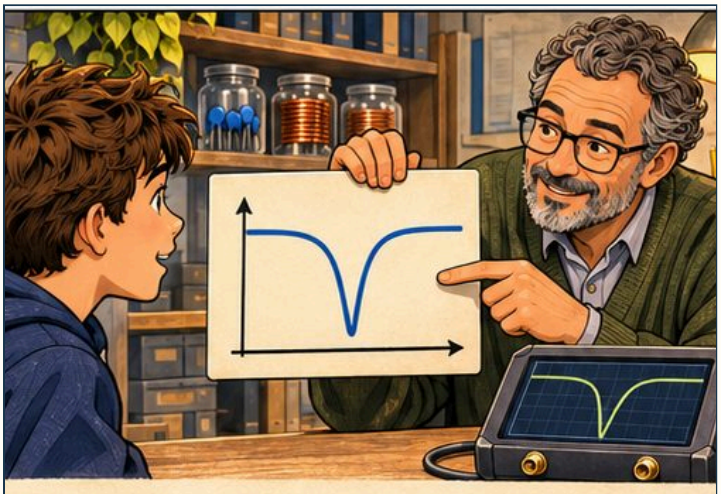
Altri percorsi possibili



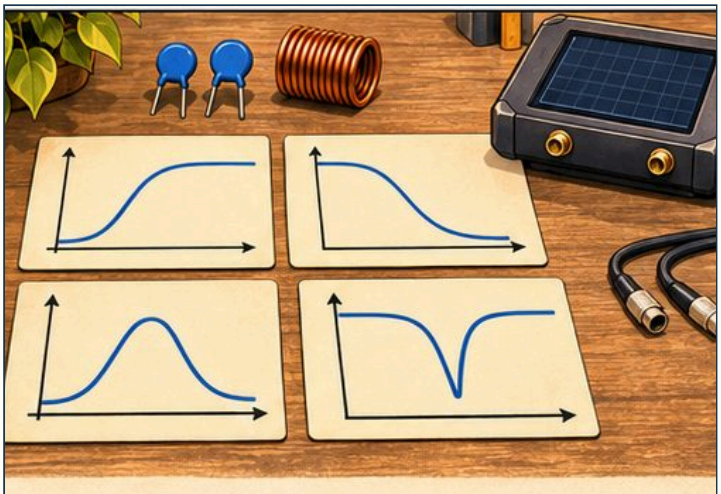
Un passa-alto attenua le basse frequenze e conserva le alte.



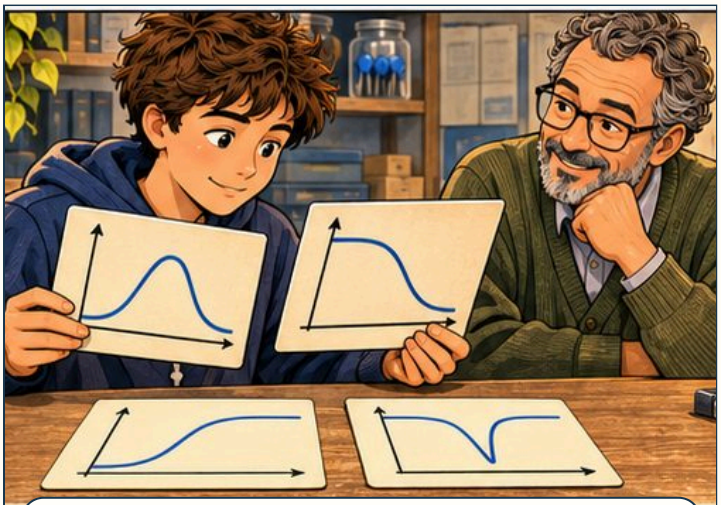
Un passa-banda privilegia un intervallo tra due limiti.



Un elimina-banda attenua invece un intervallo scelto.



Queste famiglie rispondono a esigenze diverse.

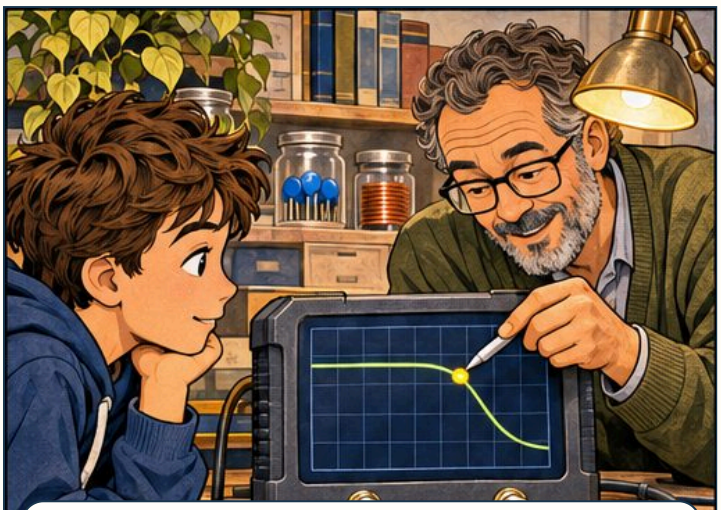


Il nome descrive una risposta, non una qualità universale.



Il ragazzo ripone tre schede per un prossimo laboratorio.

Un taglio che lascia passare



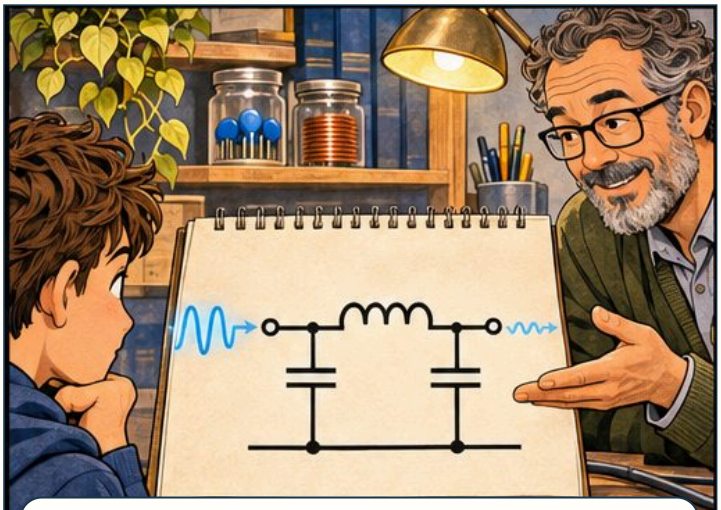
La frequenza di taglio indica qui un livello di riferimento.



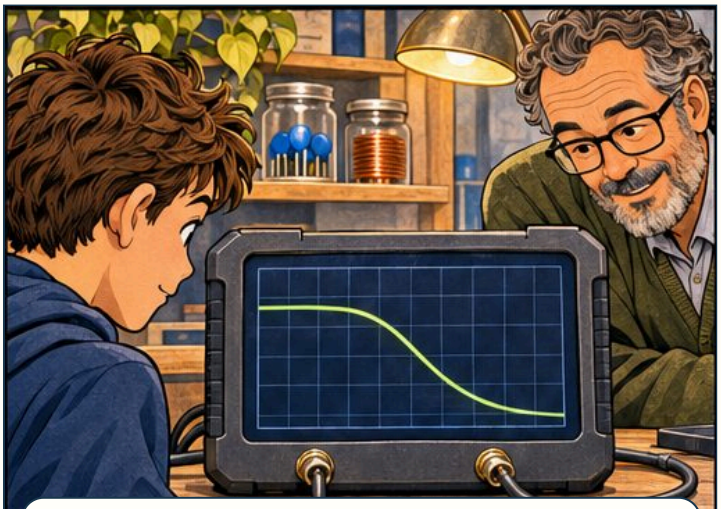
Non indica la scomparsa improvvisa del segnale.



Nel Butterworth ideale corrisponderà a circa −3 dB.



Il filtro trasmette quindi ancora energia a quella frequenza.



Oltre, l'attenuazione continuerà ad aumentare.

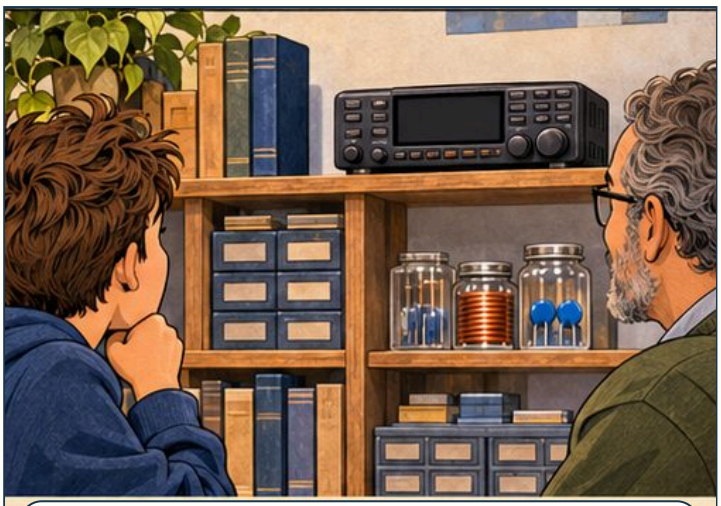


Questa precisazione evita un primo equivoco.

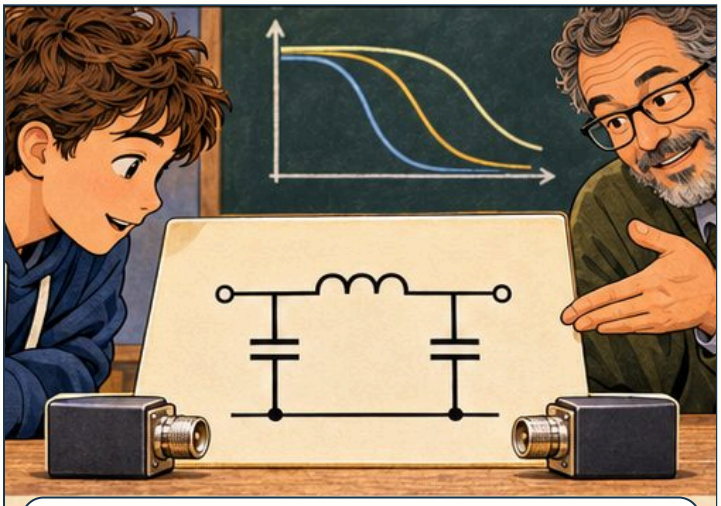
Un esempio di laboratorio



Scelgono un taglio teorico di 10 MHz.



Questo valore didattico non definisce una frequenza di trasmissione.



Sorgente e carico di riferimento saranno entrambi da 50 Ω.



Il circuito sarà studiato al banco con un piccolo segnale.



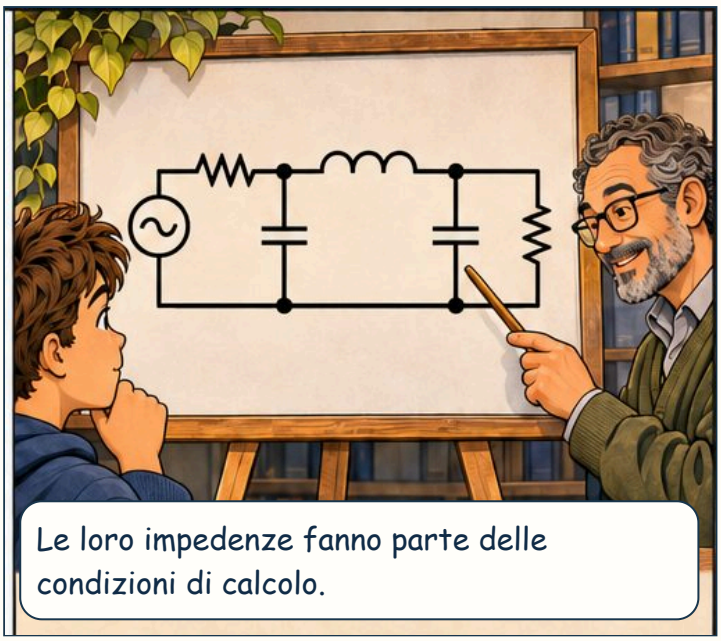
Non saranno collegati né antenne né trasmettitori.



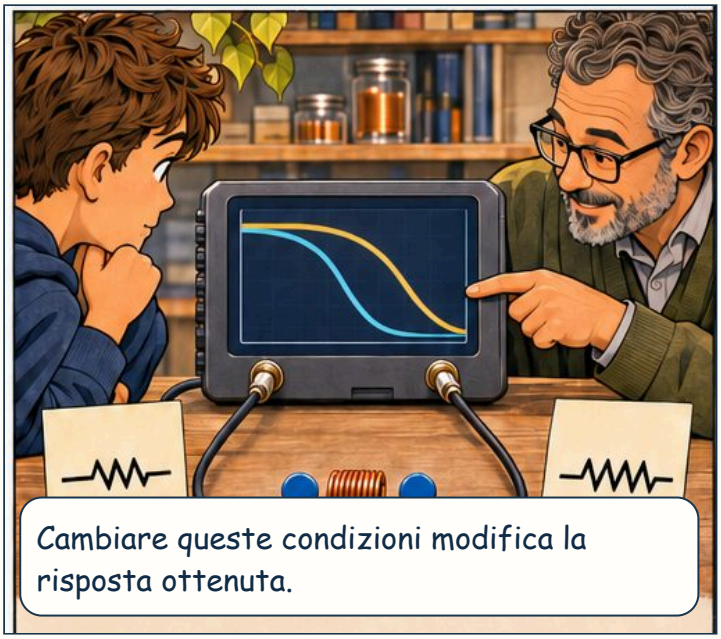
L'obiettivo è una risposta misurabile, non un contatto radio.

Perché precisare 50 ohm?





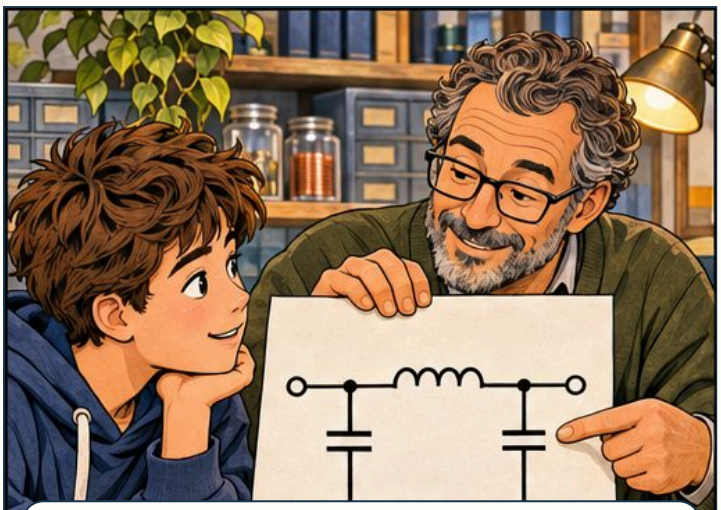








Il modello e il circuito



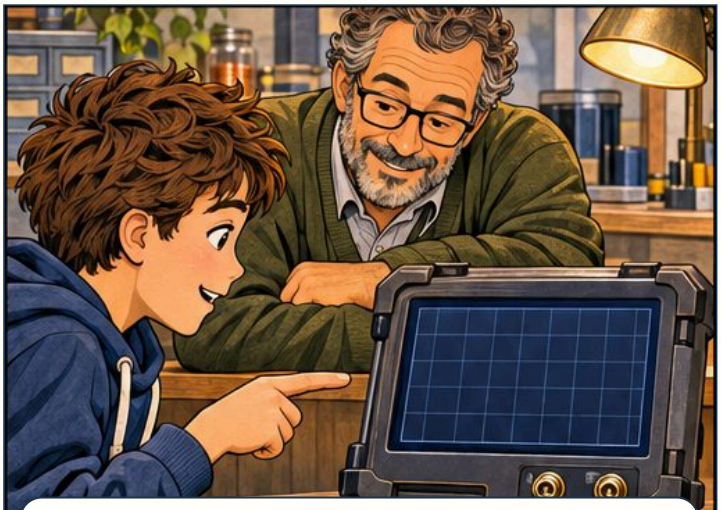
Il calcolo comincerà con componenti ideali, senza perdite.



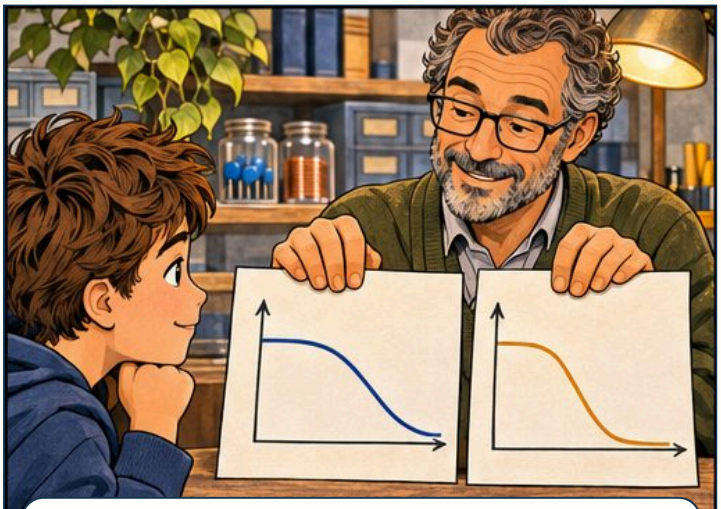
Il circuito reale avrà resistenze ed effetti parassiti.



Il modello permette di prevedere una prima risposta.



Le misure consentiranno poi di esaminare le differenze.

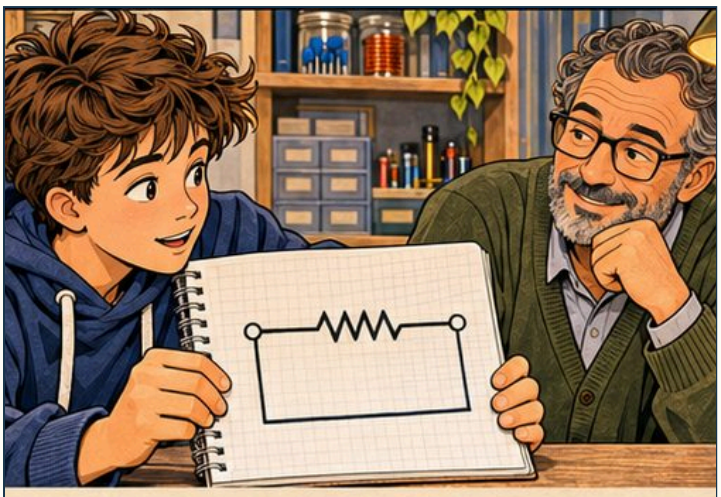


Confondere previsione e risultato impedirebbe di capire gli scostamenti.

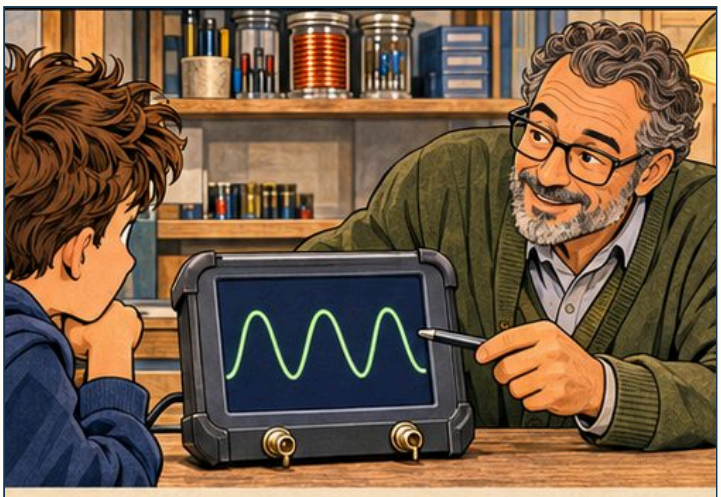


Il quaderno riserva uno spazio distinto a ciascuno.

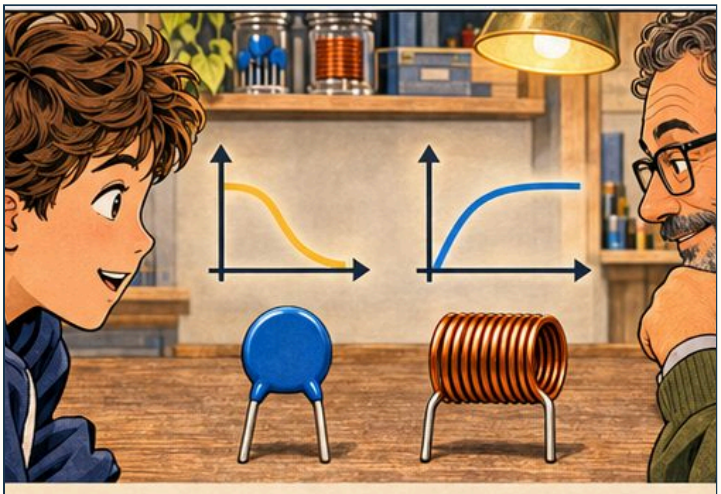
Una resistenza non basta più



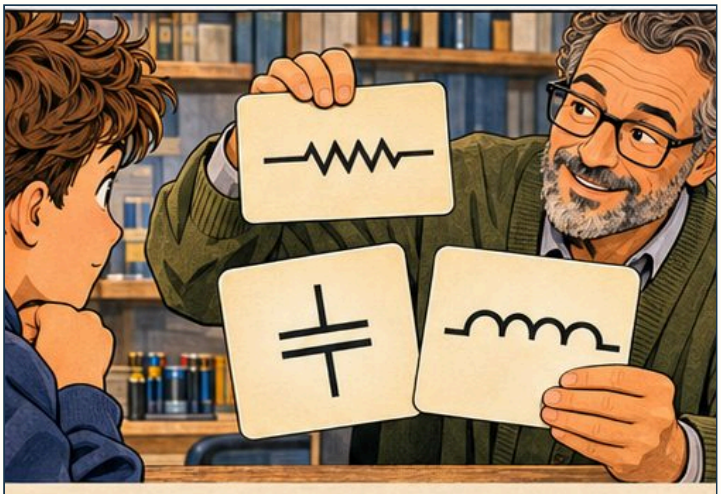
Il volume precedente collegava tensione, corrente e resistenza in continua.



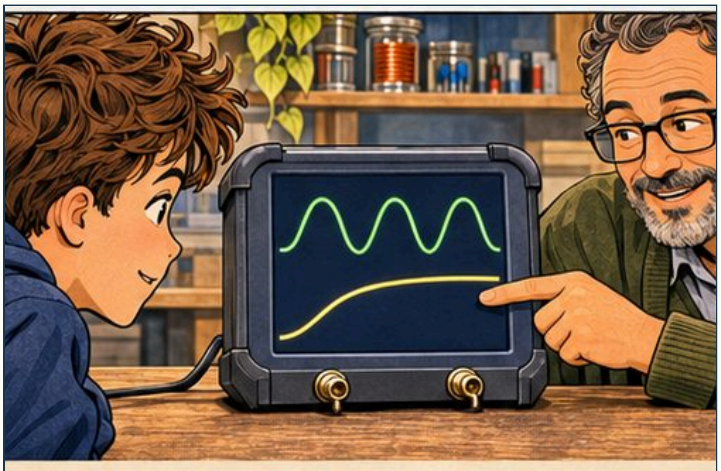
Qui il segnale varia rapidamente e la sua frequenza conta.



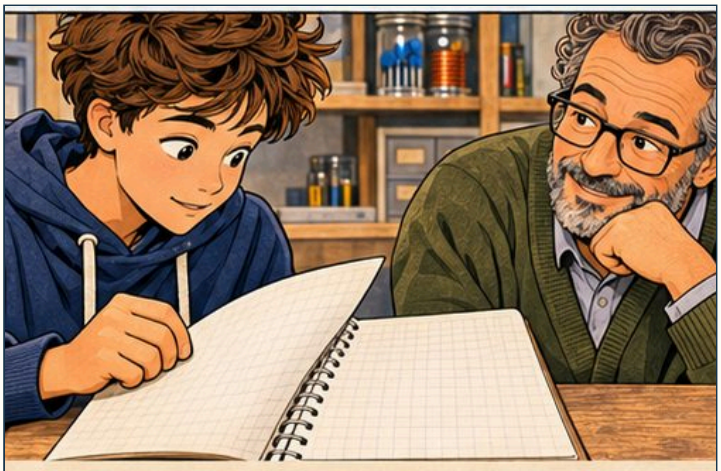
Condensatori e bobine oppongono una reattanza dipendente dalla frequenza.



Questa reattanza è diversa da una semplice resistenza.



L'impedenza descrive più ampiamente il comportamento elettrico in alternata.

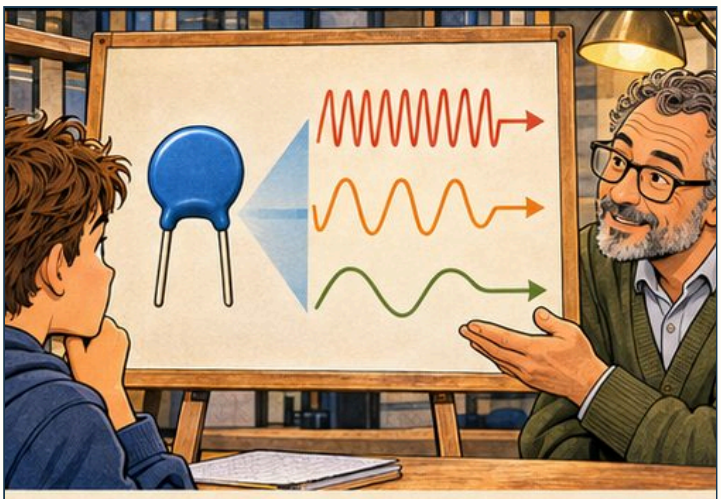


Il ragazzo capisce perché occorre un nuovo modello.

Il ruolo del condensatore



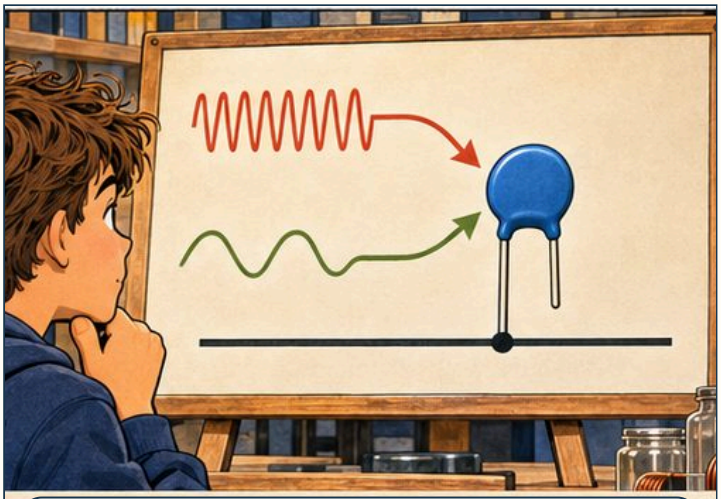
La capacità si indica con C e si misura in farad, F.



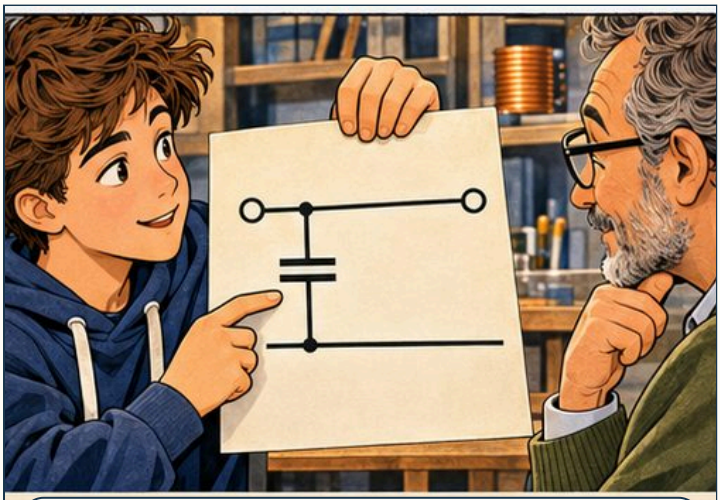
In un condensatore ideale, la reattanza diminuisce all'aumentare della frequenza.



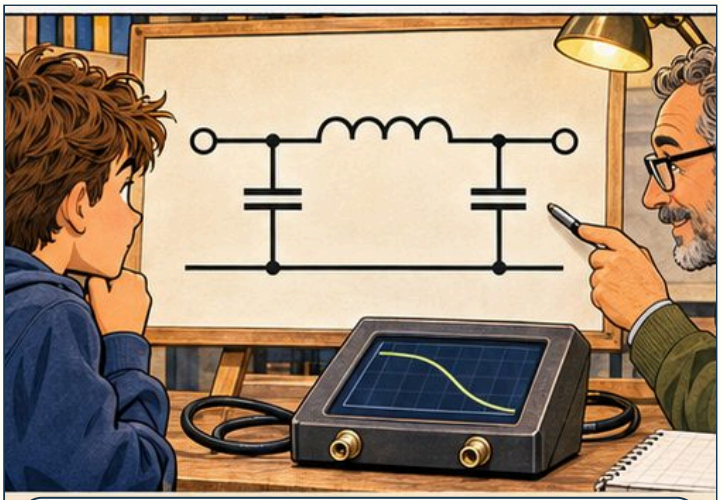
Il suo valore assoluto è $X_C = 1/(2\pi fC)$.



A capacità costante, le alte frequenze incontrano meno reattanza.



Nel filtro i condensatori saranno collegati alla massa.

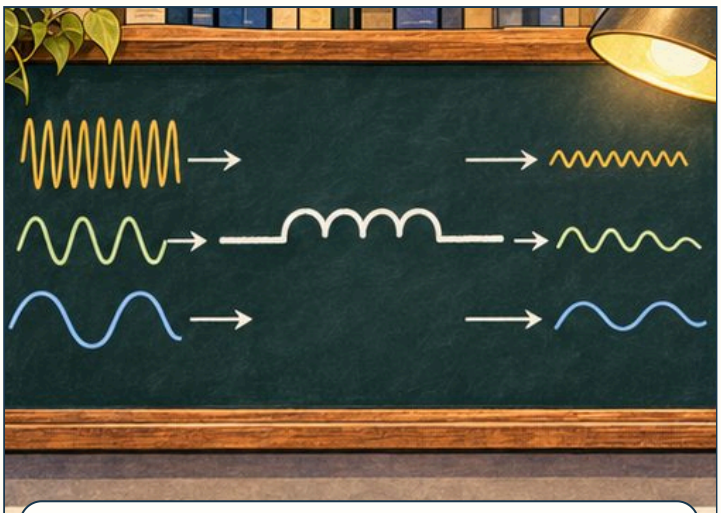


Il loro ruolo dipende anche dal resto del circuito.

Il ruolo della bobina



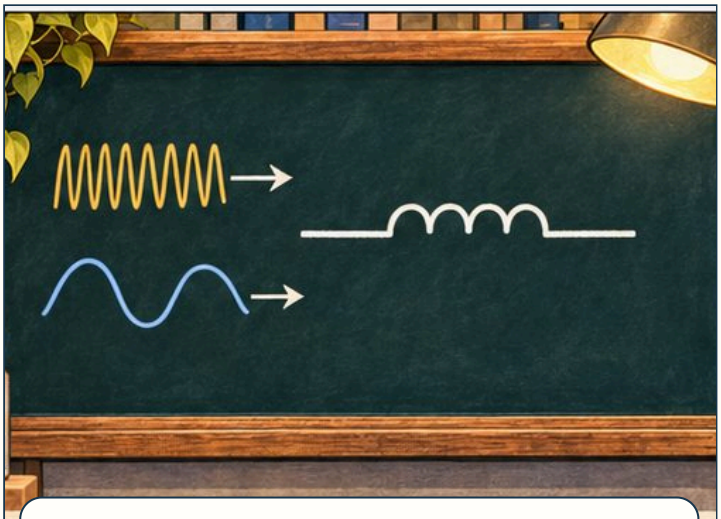
L'induttanza si indica con L e si misura in henry, H.



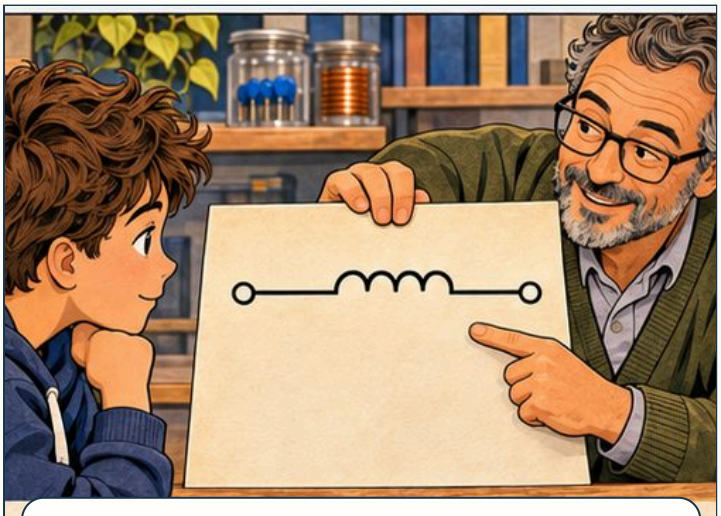
In una bobina ideale, la reattanza aumenta con la frequenza.



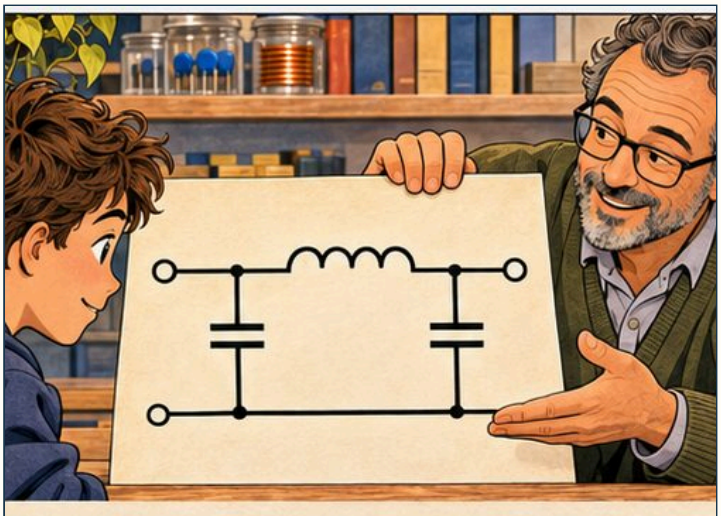
Il suo valore assoluto è XL = 2πfL.



A induttanza costante, le alte frequenze incontrano più reattanza.

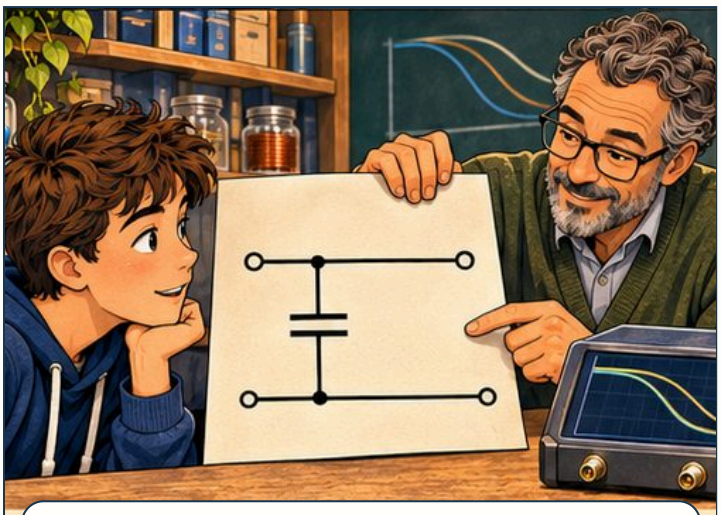


Nel filtro la bobina sarà sul percorso del segnale.

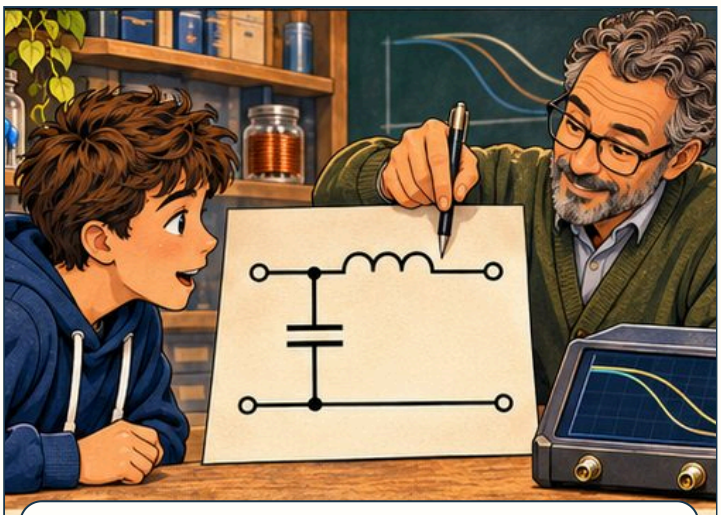


I due tipi di componenti agiranno insieme.

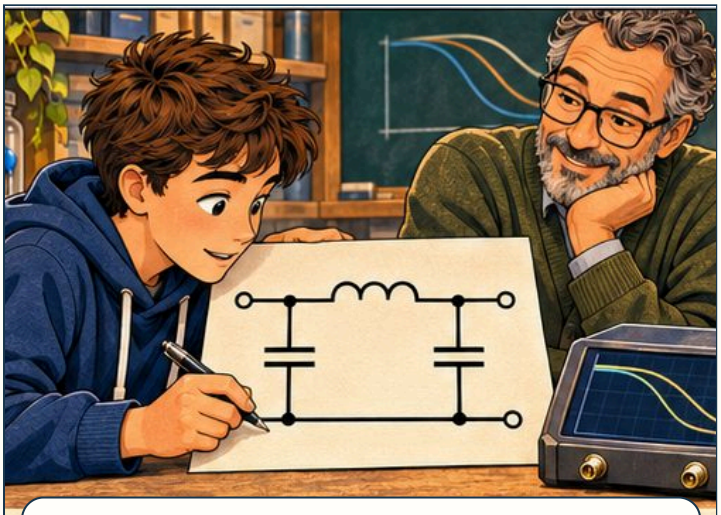
Lo schema prende forma di π



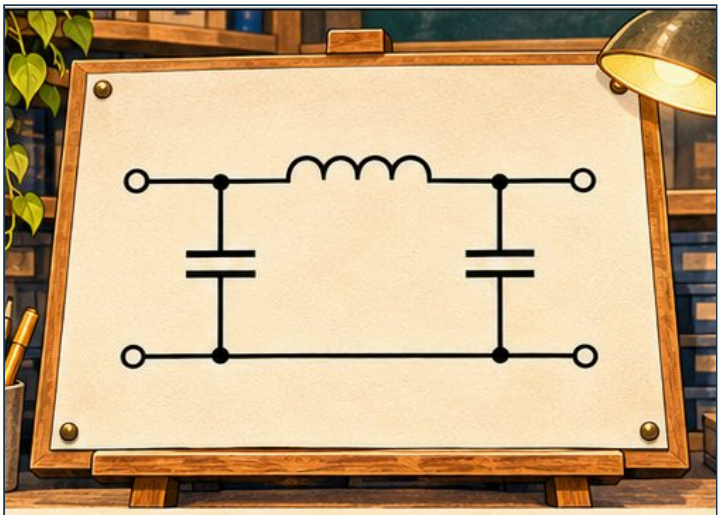
L'ingresso raggiunge un primo condensatore collegato a massa.



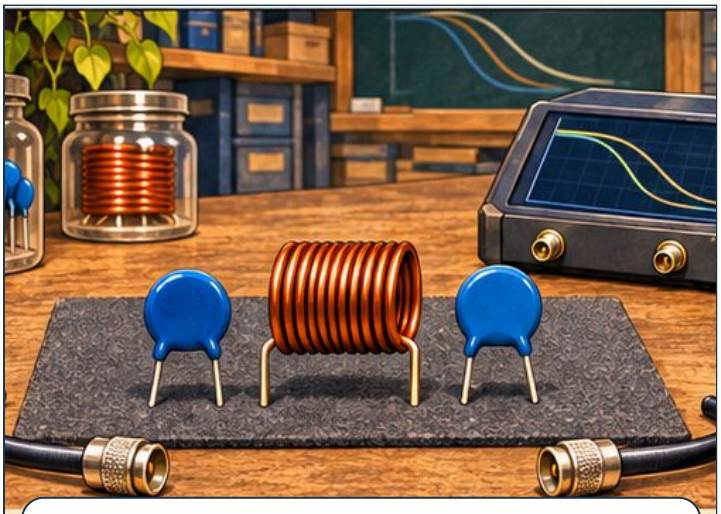
Una bobina collega poi ingresso e uscita in serie.



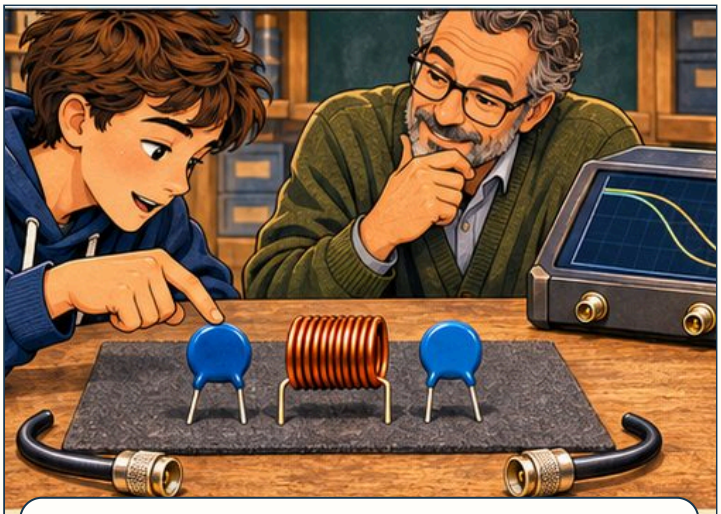
Un secondo condensatore collega l'uscita alla stessa massa.



Due rami scendono ai lati della bobina.



Questa disposizione ricorda la lettera greca π.

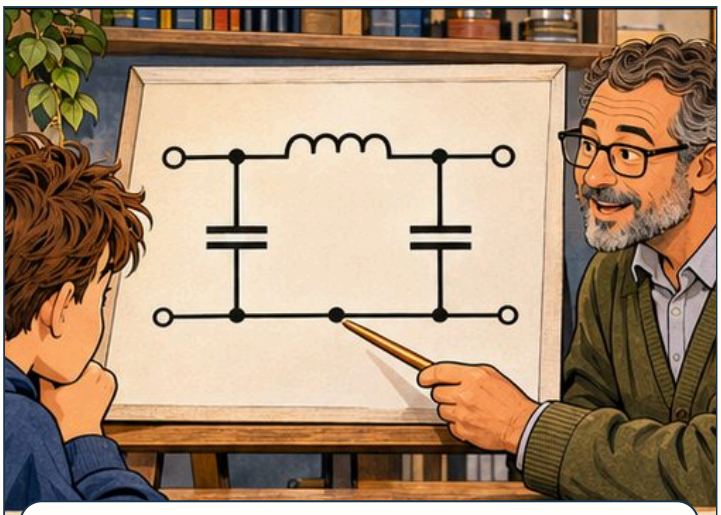


Il ragazzo segue ogni collegamento con la matita.

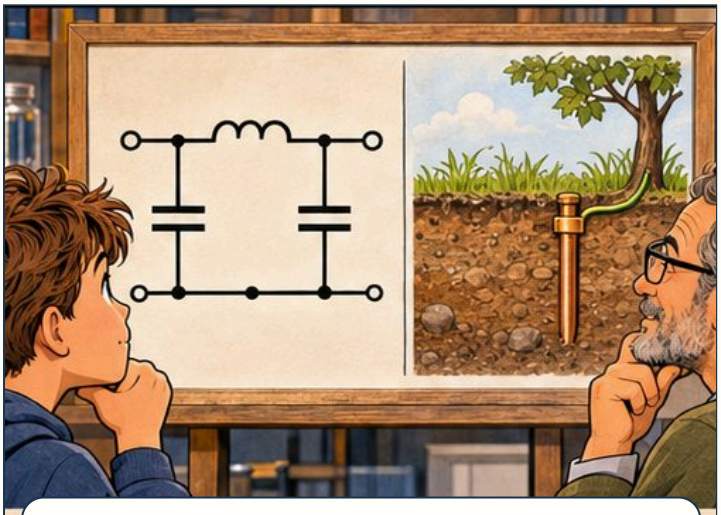
La massa dello schema



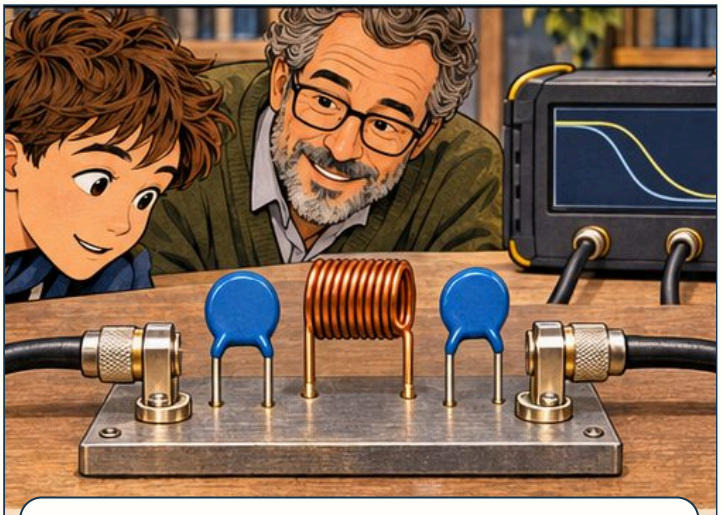
I due condensatori condividono un riferimento elettrico comune.



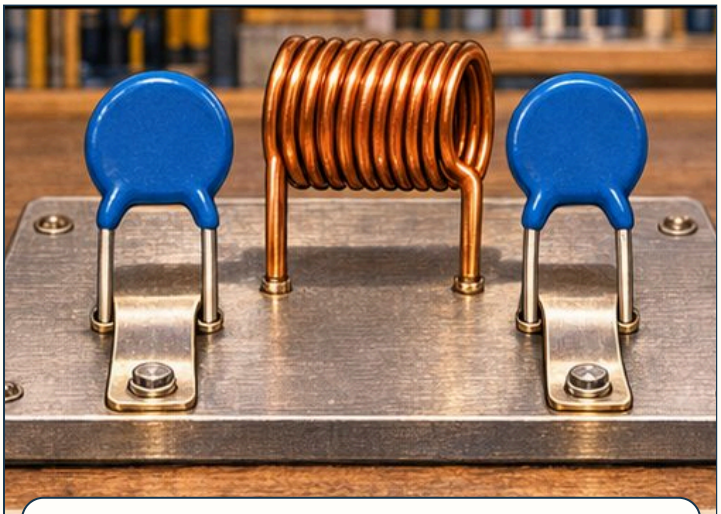
Il simbolo di massa rappresenta qui questo riferimento del circuito.



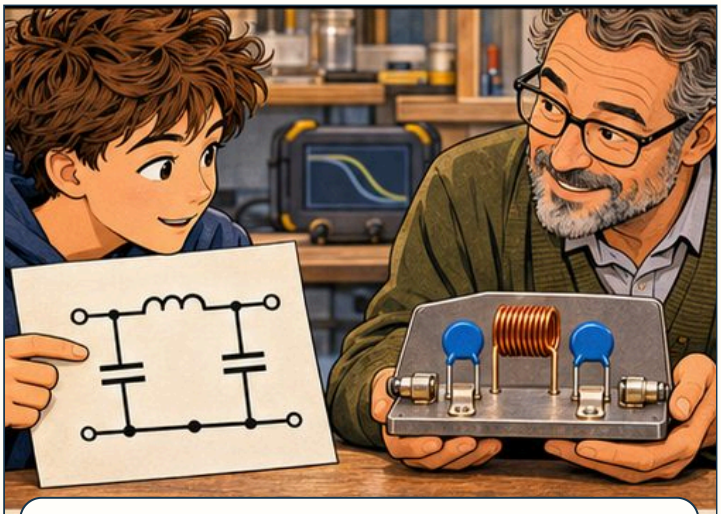
Non indica automaticamente un collegamento alla terra.



Le schermature coassiali raggiungono questa massa secondo il progetto.



Un collegamento corto limita alcuni effetti parassiti.

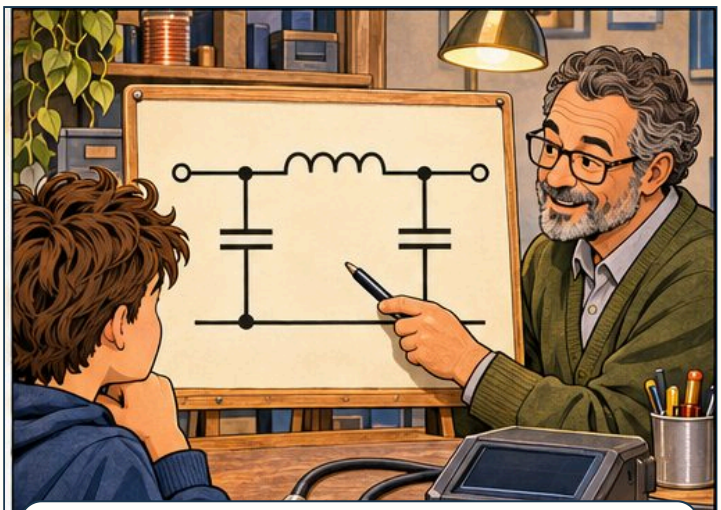


Il ragazzo distingue il simbolo dalla realizzazione concreta.

Tre elementi, un ordine



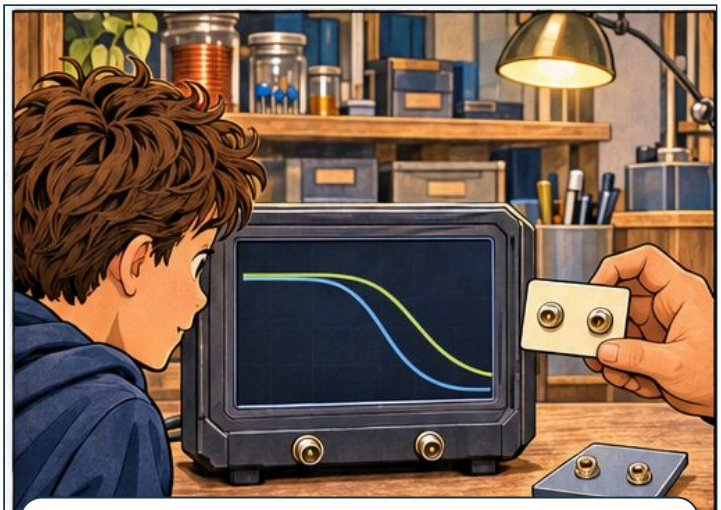
Questa rete ideale contiene tre elementi reattivi: C, L e C.



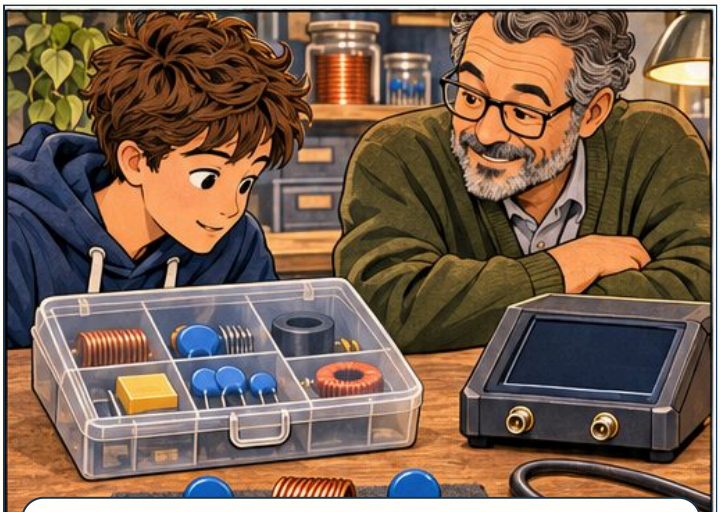
Qui realizzano un passa-basso del terzo ordine.



L'ordine caratterizza, fra l'altro, la pendenza asintotica del modello.



Un'impedenza inadatta cambierebbe comunque la risposta.



Aggiungere componenti a caso non crea il filtro desiderato.

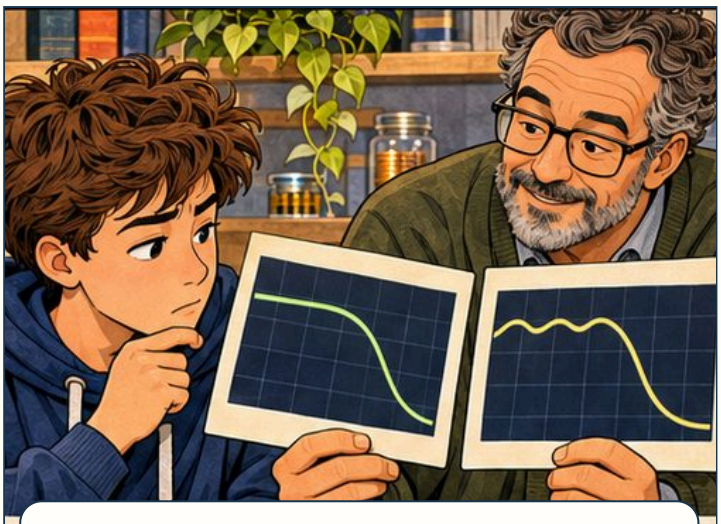


La topologia dello schema deve accompagnare il calcolo.

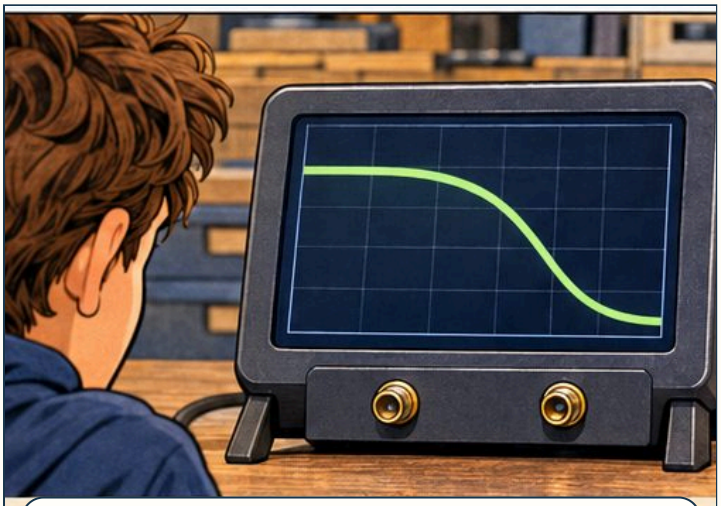
Perché Butterworth?



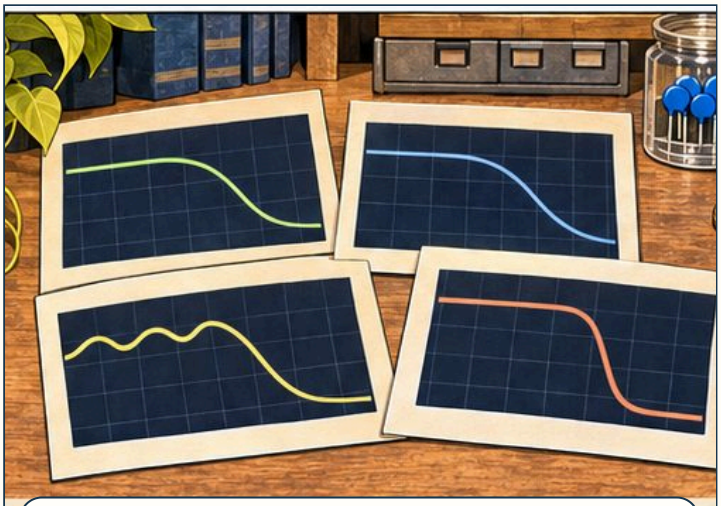
La risposta Butterworth è massimamente piatta in banda passante.



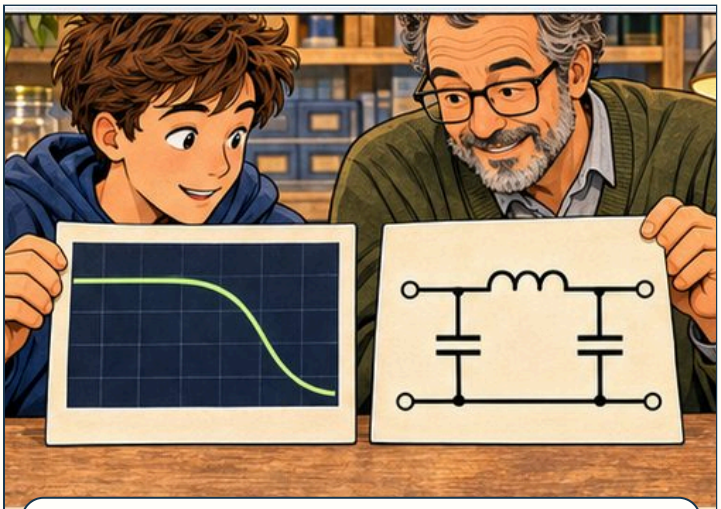
Il modello ideale non presenta ondulazioni in questa banda.



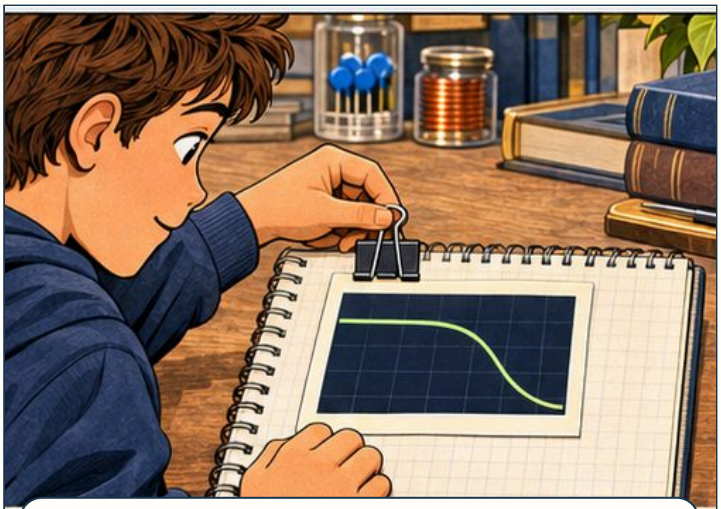
La transizione resta graduale, con una curvatura caratteristica.



Altre risposte accettano compromessi diversi.



Scelgono questa famiglia per un primo progetto chiaro.



Il nome precisa quindi più della sola parola passa-basso.

Un prototipo per cominciare



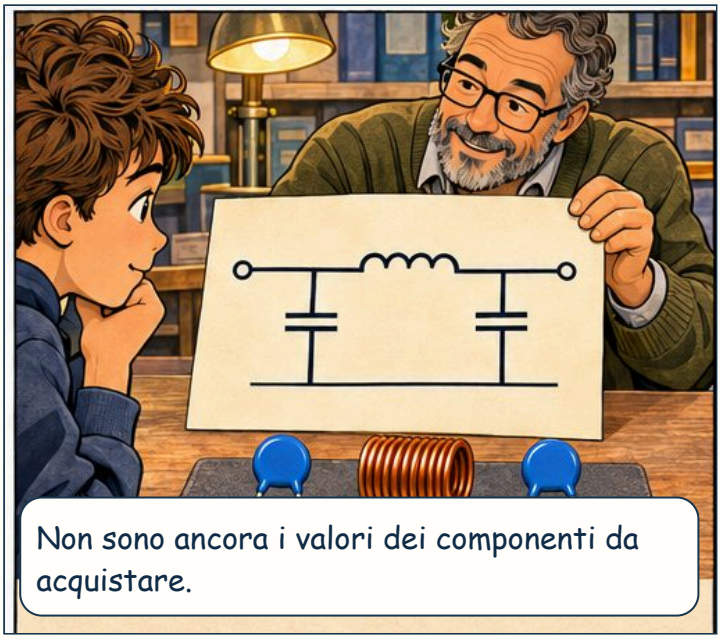
Un prototipo normalizzato fornisce i coefficienti del progetto.



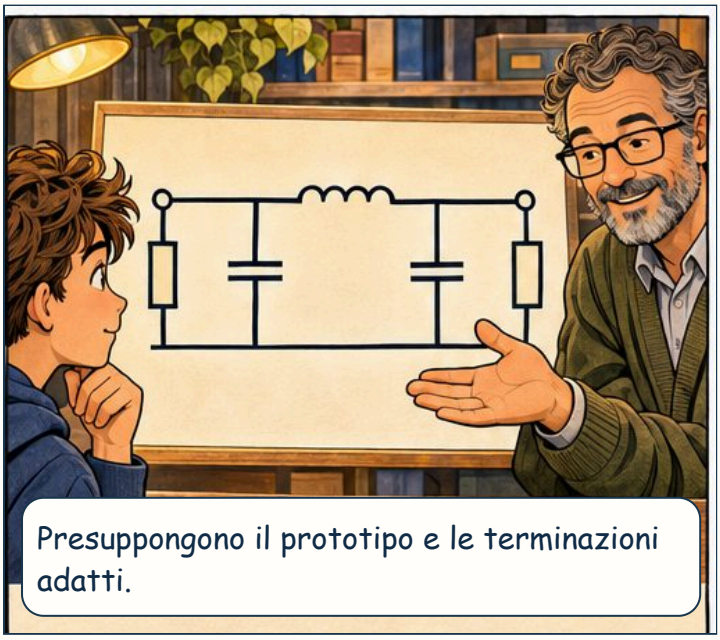
Per questo Butterworth del terzo ordine sono 1, 2 e 1.



Corrispondono, nell'ordine, a condensatore, bobina e condensatore.



Non sono ancora i valori dei componenti da acquistare.



Presuppongono il prototipo e le terminazioni adatti.



Restano da stabilire le scale di frequenza e impedenza.

Cambiare scala



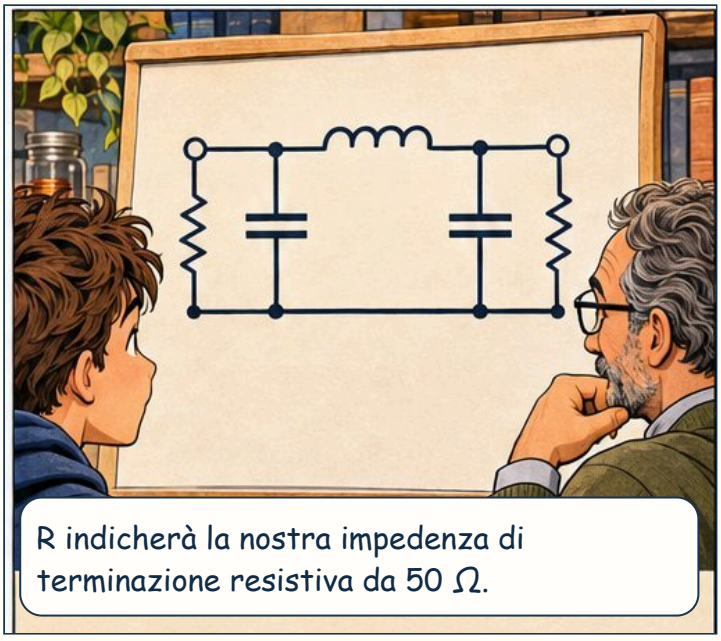
La pulsazione di taglio vale $\omega c = 2\pi fc$.



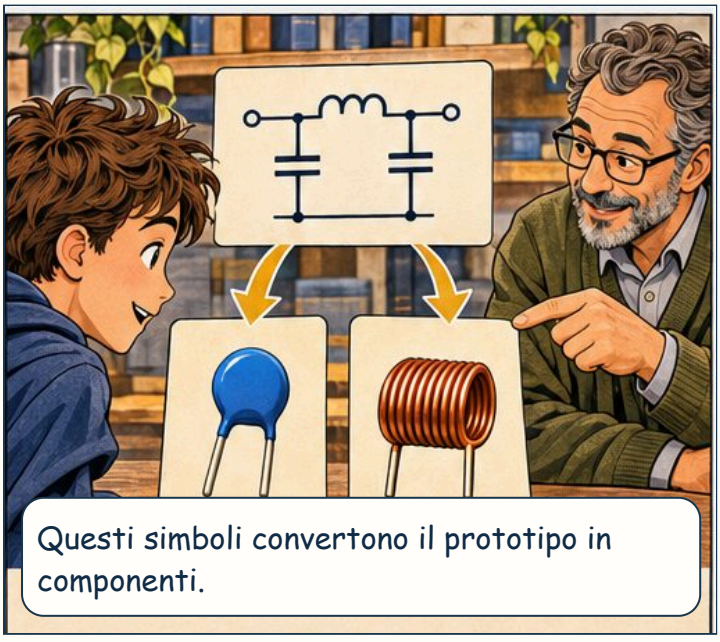
Qui fc indica la frequenza di taglio in hertz.



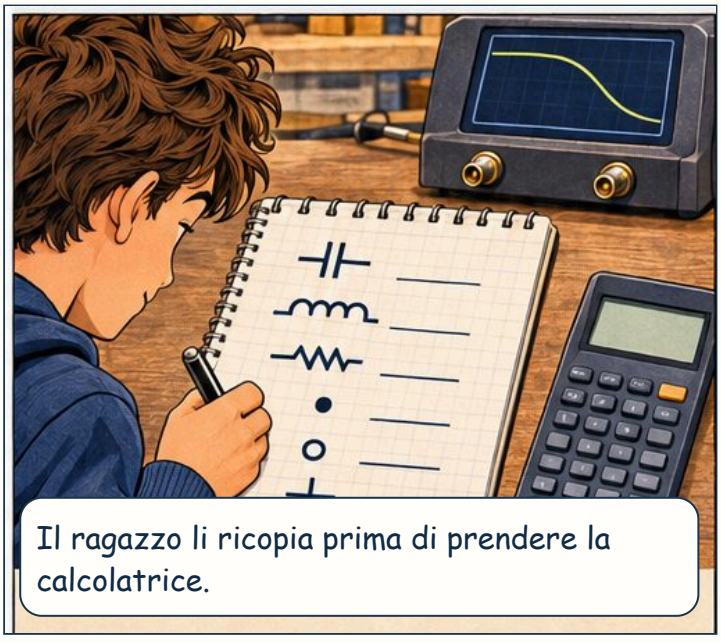
La pulsazione ωc si esprime in radianti al secondo.



R indicherà la nostra impedenza di terminazione resistiva da 50 Ω.



Questi simboli convertono il prototipo in componenti.

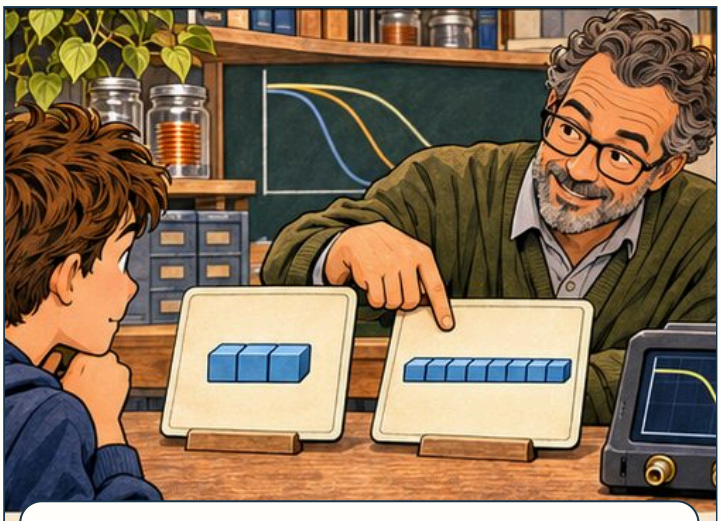


Il ragazzo li ricopia prima di prendere la calcolatrice.

Le unità prima dei numeri



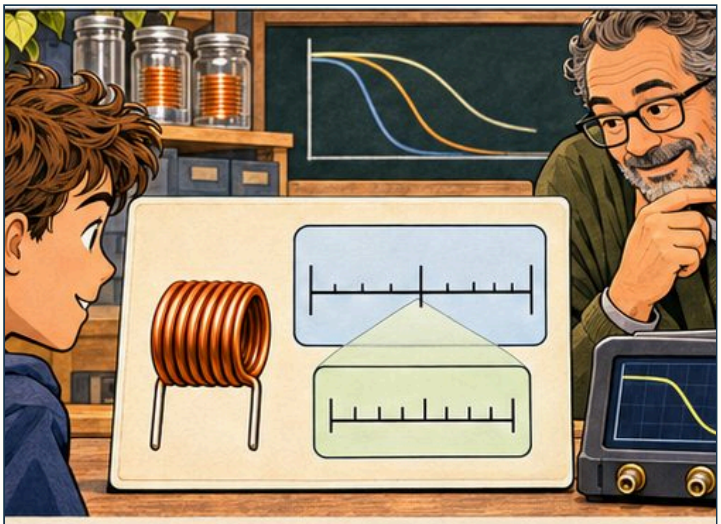
Un megahertz vale un milione di hertz.



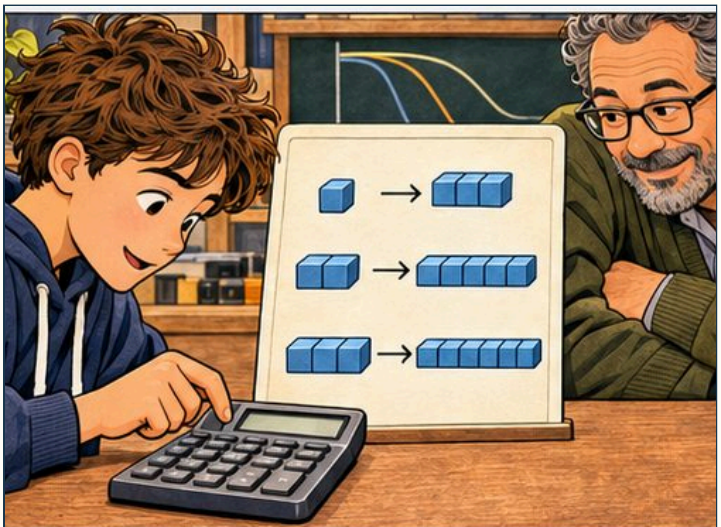
Il taglio di 10 MHz vale quindi 10 000 000 Hz.



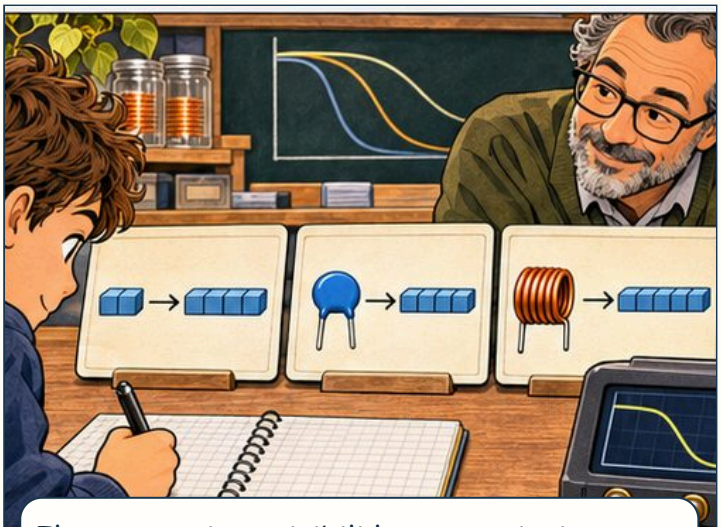
Un picofarad vale 10^{-12} F.



Un microhenry vale 10^{-6} H.



Le formule useranno prima le unità di base.



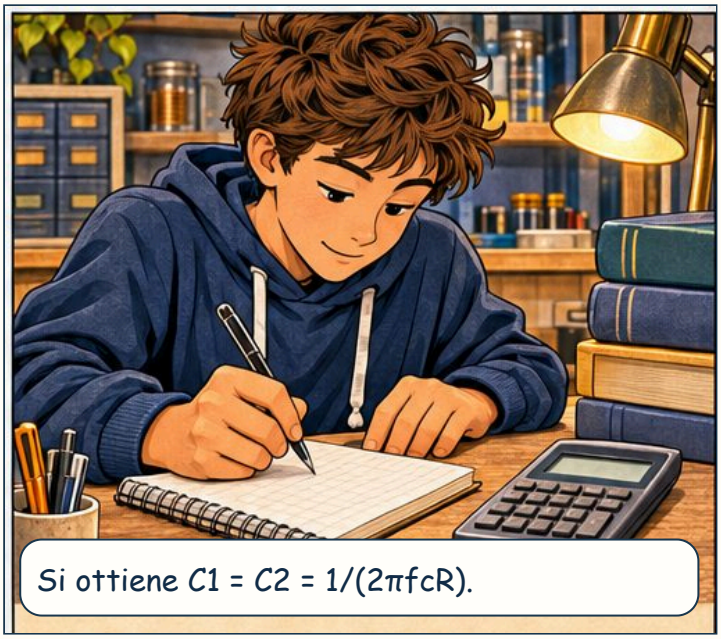
Il ragazzo tiene visibili le conversioni accanto ai calcoli.

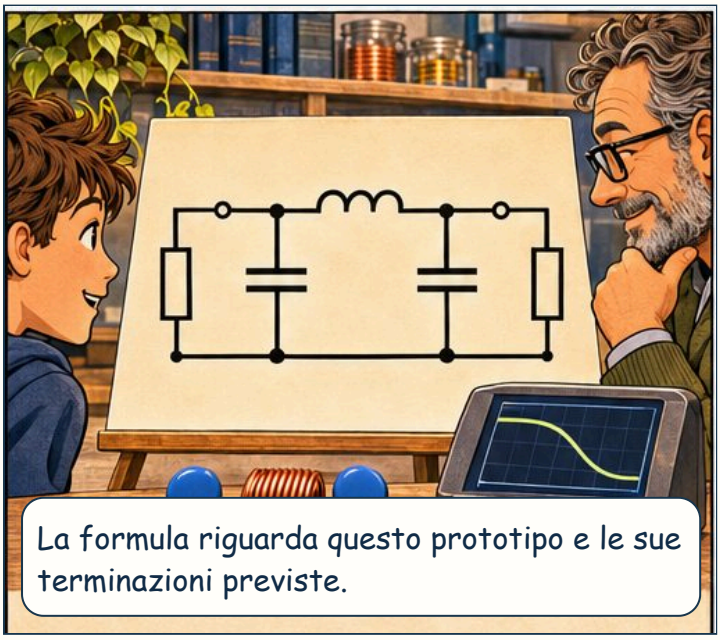
Le formule dei condensatori













Calcolare le capacità



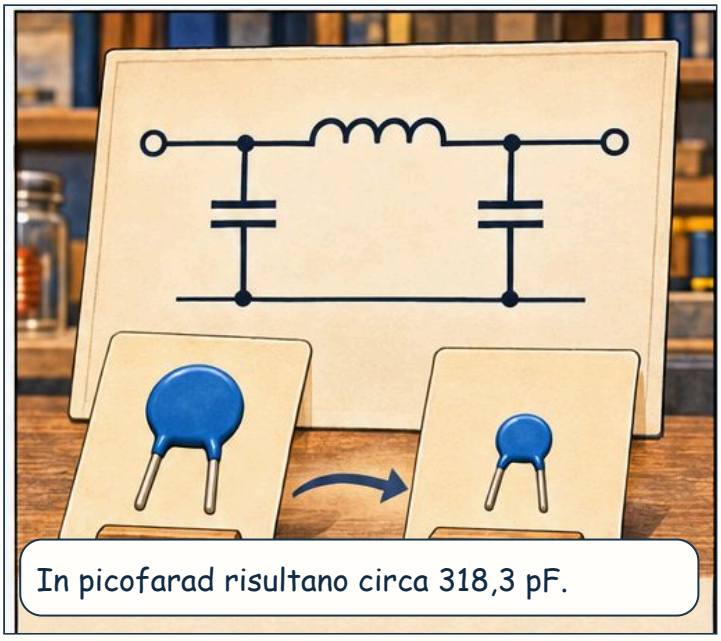
Sostituiscono fc con 10 000 000 Hz e R con 50 Ω.



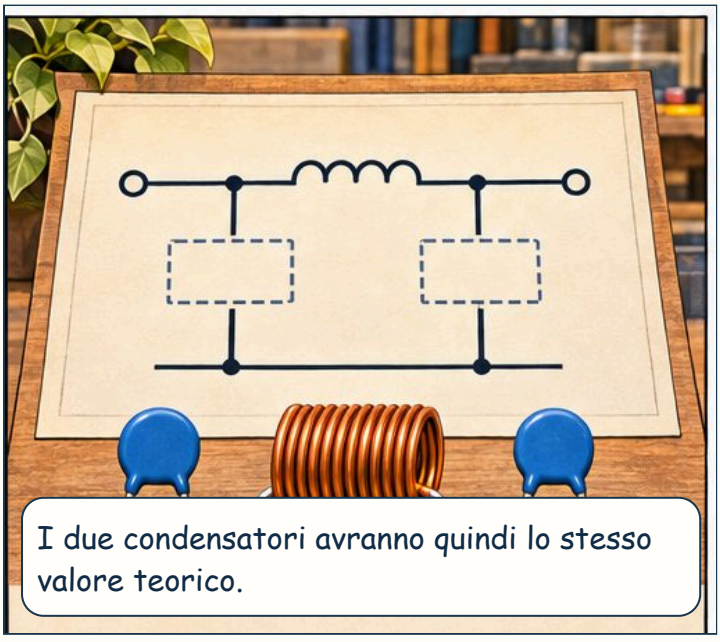
Il denominatore vale circa $3{,}142 \times 10^{9}$.



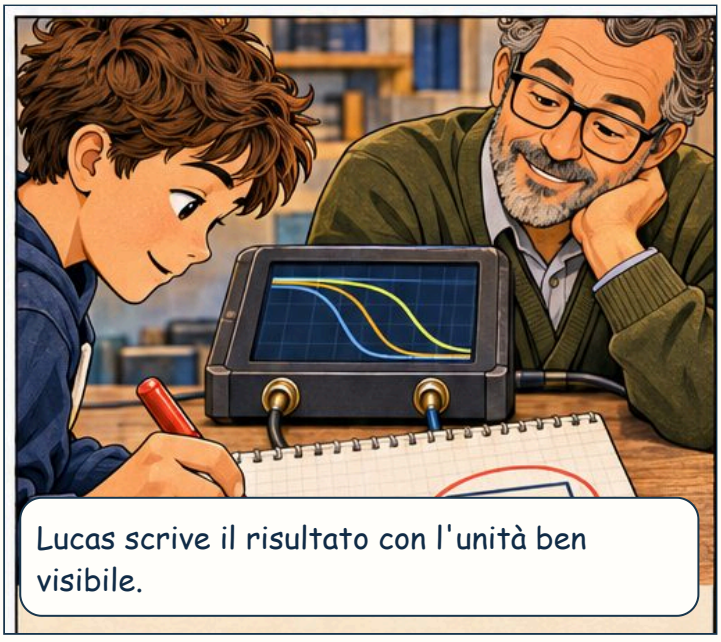
Ogni capacità ideale vale circa $3{,}183 \times 10^{-10}$ F.



In picofarad risultano circa 318,3 pF.

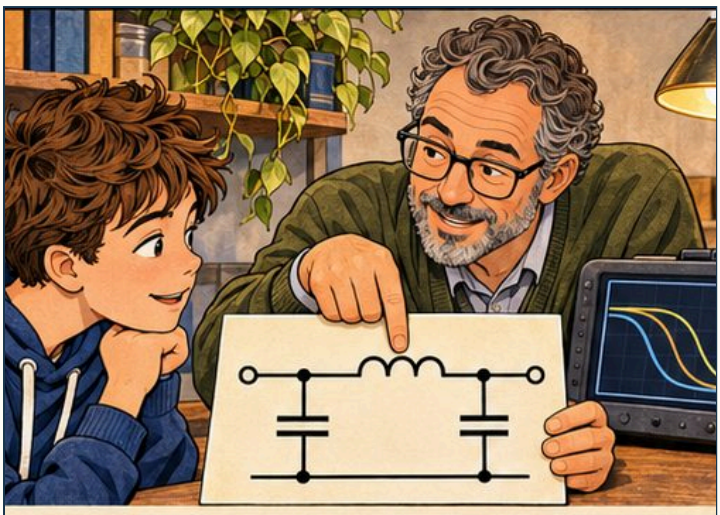


I due condensatori avranno quindi lo stesso valore teorico.



Lucas scrive il risultato con l'unità ben visibile.

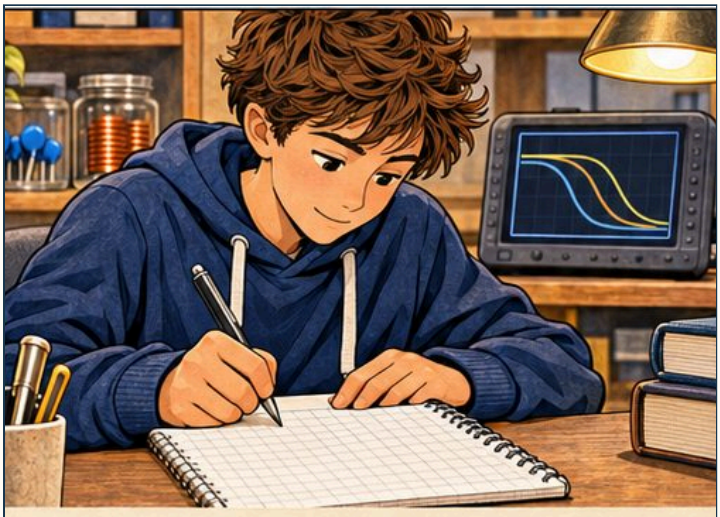
La formula della bobina



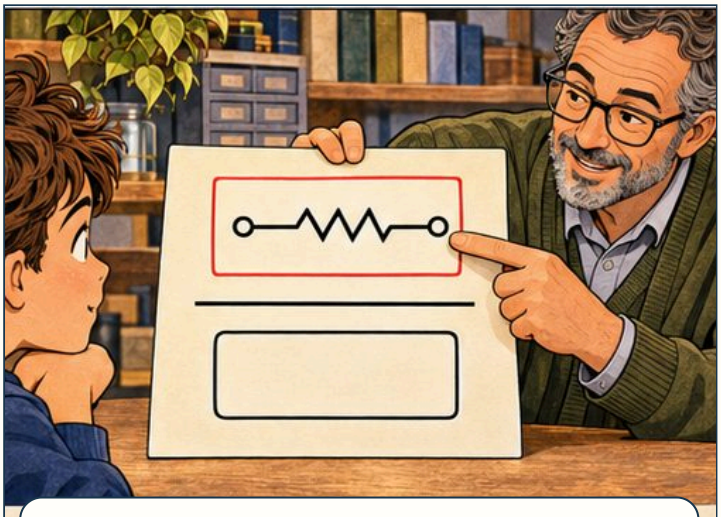
Per la bobina in serie, L = g2R/ωc.



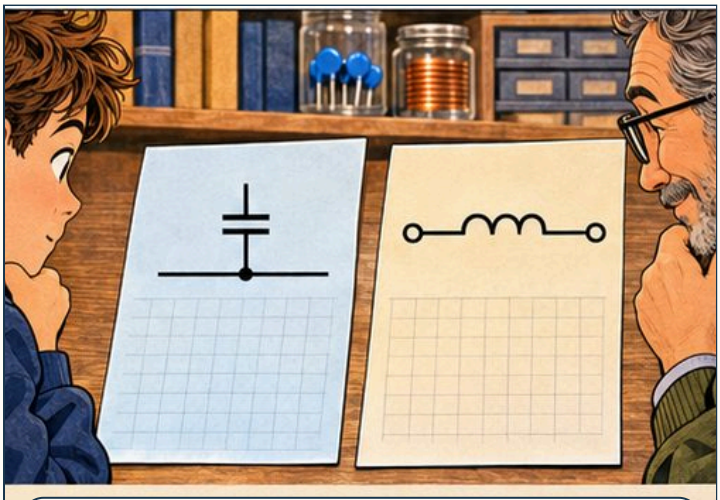
Il coefficiente centrale vale qui g2 = 2.



Si ottiene quindi L = 2R/(2πfc).



La resistenza di terminazione è questa volta al numeratore.



Il ragazzo confronta la formula con quella dei condensatori.

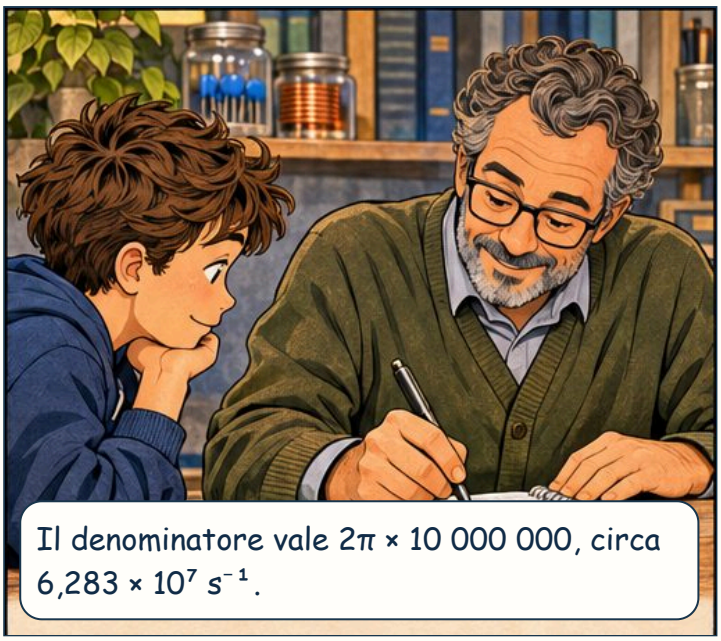


Una somiglianza visiva non esonera dal rileggere.

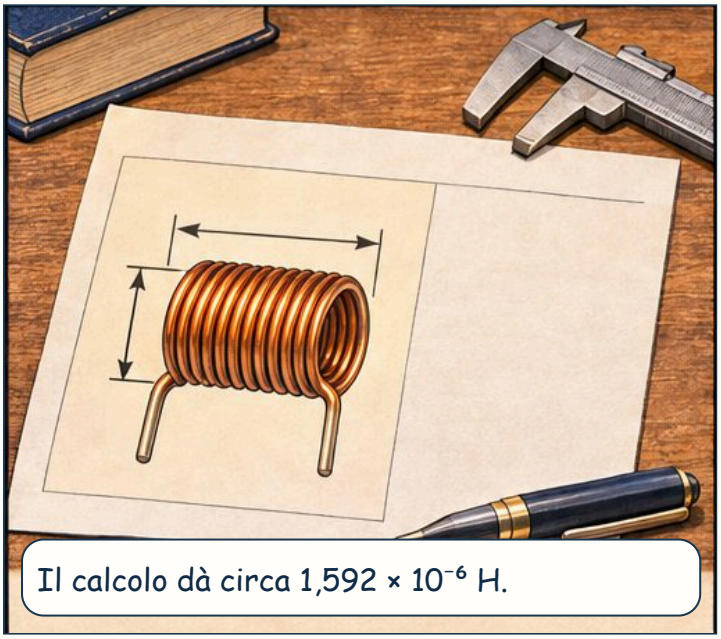
Calcolare l'induttanza



Il numeratore vale 2 × 50, cioè 100 Ω.



Il denominatore vale 2π × 10 000 000, circa $6{,}283 \times 10^{7}\ s^{-1}$.



Il calcolo dà circa $1{,}592 \times 10^{-6}$ H.



La bobina ideale avrà quindi circa 1,59 µH d'induttanza.



Riuniscono i tre risultati sullo stesso schema.



Il progetto ha ora una prima definizione completa.

L'errore del milione



Il ragazzo prova a ridigitare il calcolo rapidamente.



Inserisce 10 invece di 10 000 000.



Il risultato diventa un milione di volte troppo grande.



Il confronto con i componenti attesi rivela subito il problema.



Corregge l'inserimento e ripete il calcolo separatamente.



Controllare l'ordine di grandezza diventa una buona abitudine.

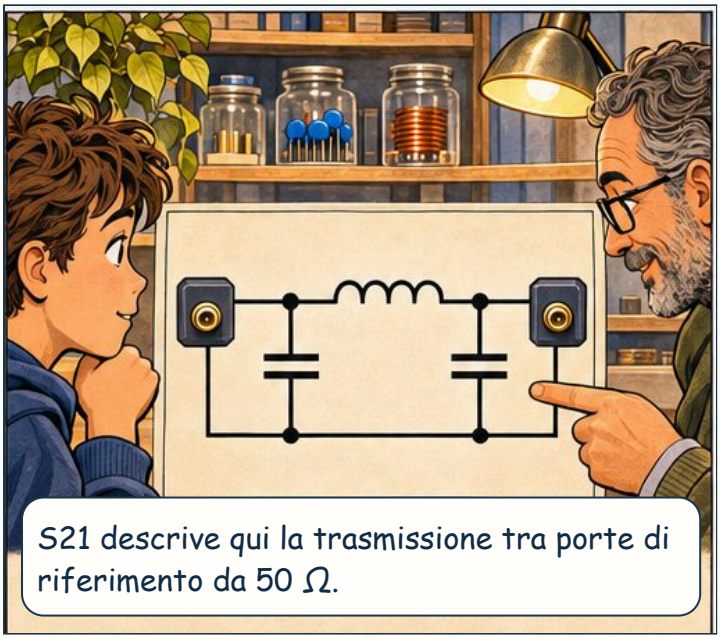
Prevedere un'intera curva



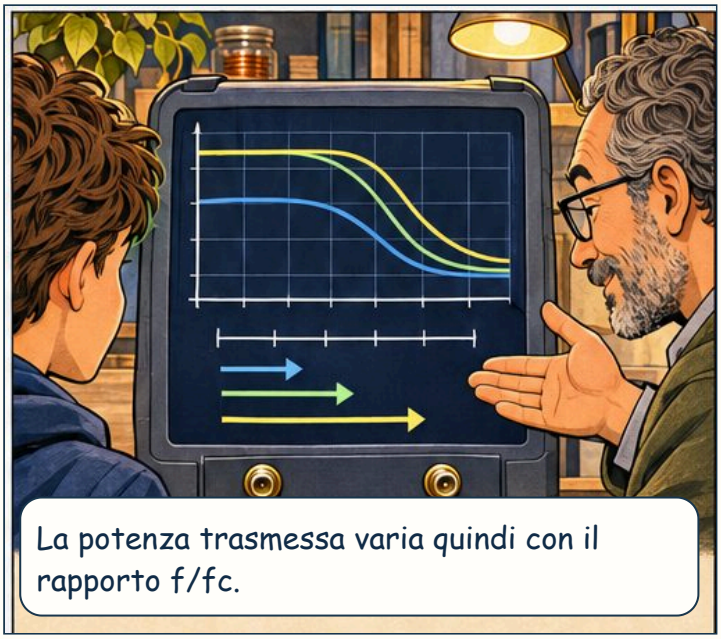
Tre valori non raccontano ancora tutta la risposta.



Nel modello ideale, il quadrato del modulo di S21 vale $1/[1 + (f/fc)^6]$.



S21 descrive qui la trasmissione tra porte di riferimento da 50 Ω.



La potenza trasmessa varia quindi con il rapporto f/fc.



La curva teorica serve da riferimento prima della misura.



Il ragazzo prepara diverse frequenze di confronto.

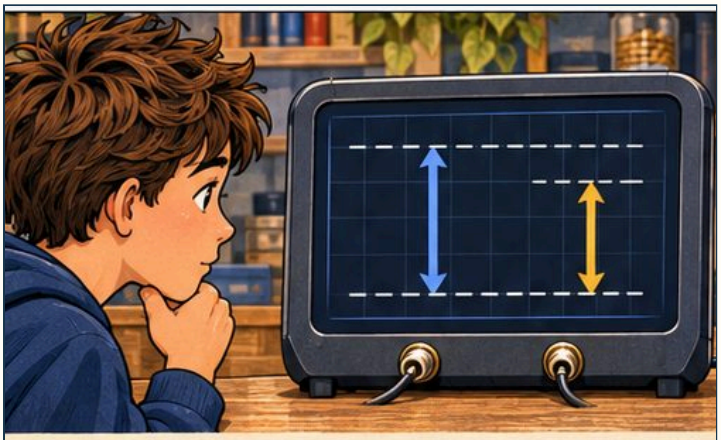
Che significa meno tre decibel?



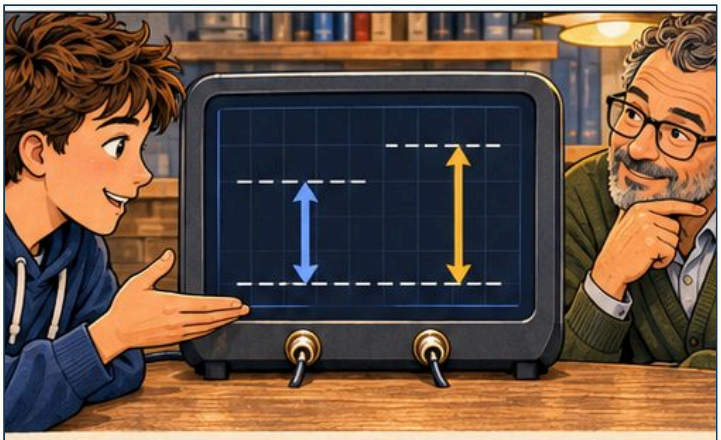
A f = fc, il rapporto ideale di potenza trasmessa vale 1/2.



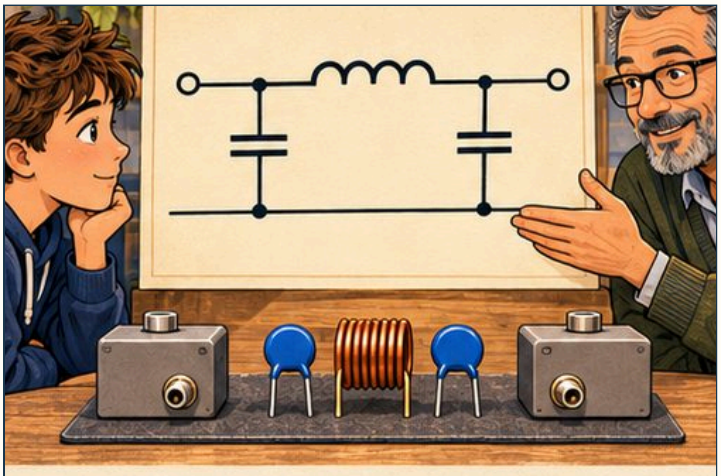
In decibel, 10 log10(1/2) dà circa −3,01 dB.



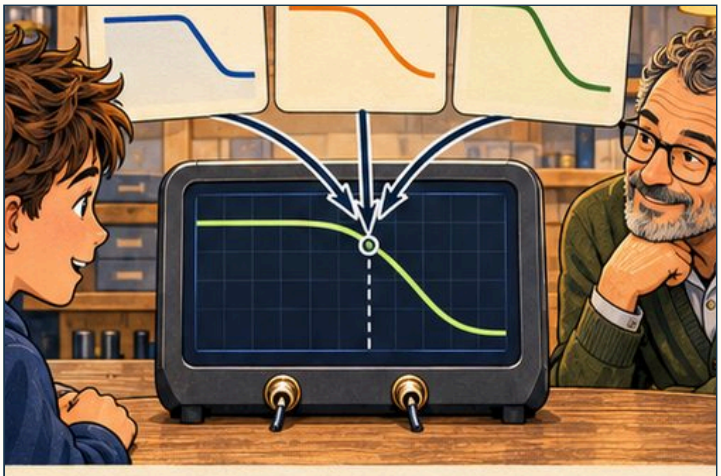
Il modulo di S21 vale allora circa 0,707.



Questa ampiezza non vale quindi la metà.



Il calcolo usa i riferimenti adatti da 50 Ω.

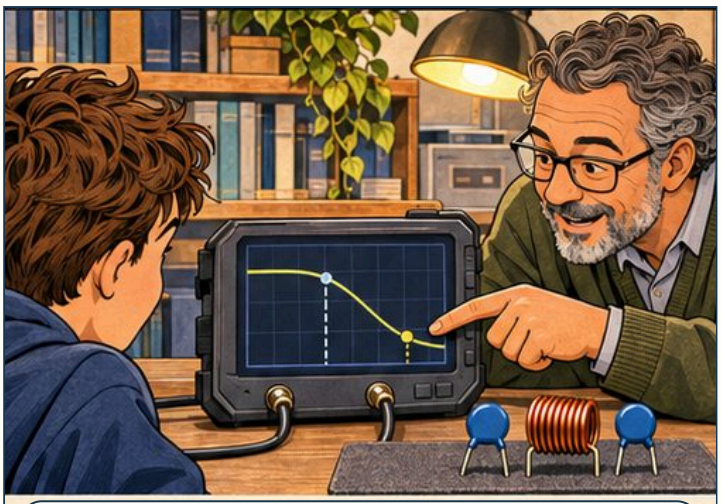


Il ragazzo collega tre espressioni dello stesso punto della curva.

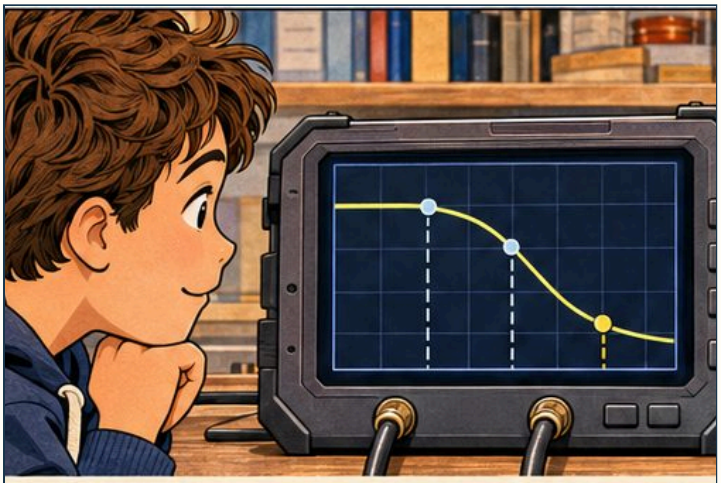
Oltre il taglio



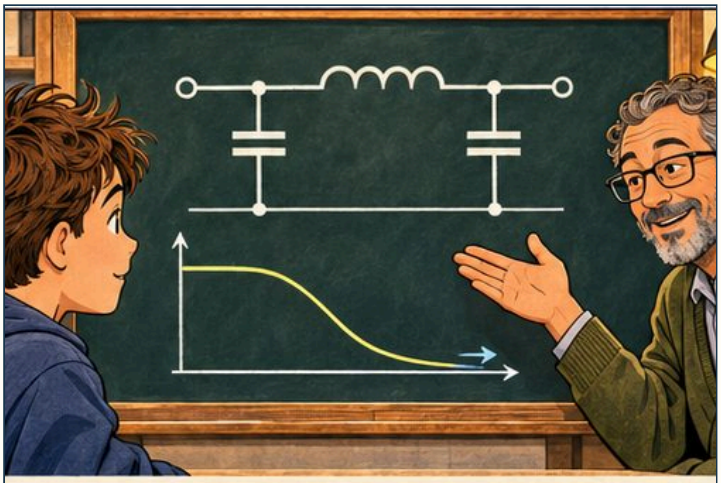
A 20 MHz, f/fc vale 2.



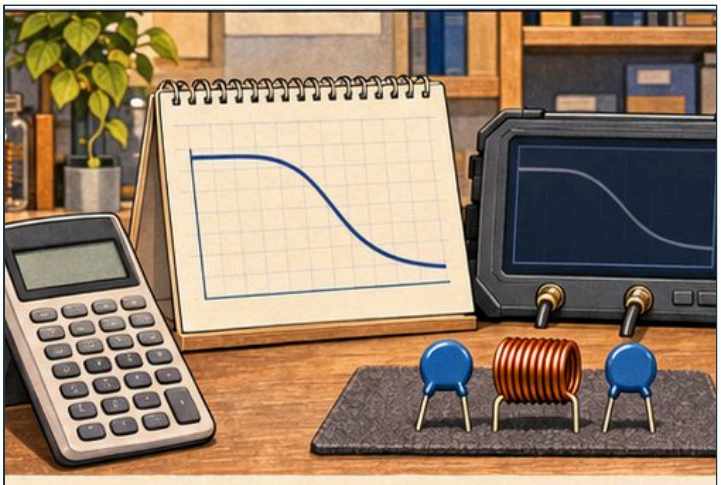
La trasmissione ideale diventa circa −18,13 dB.



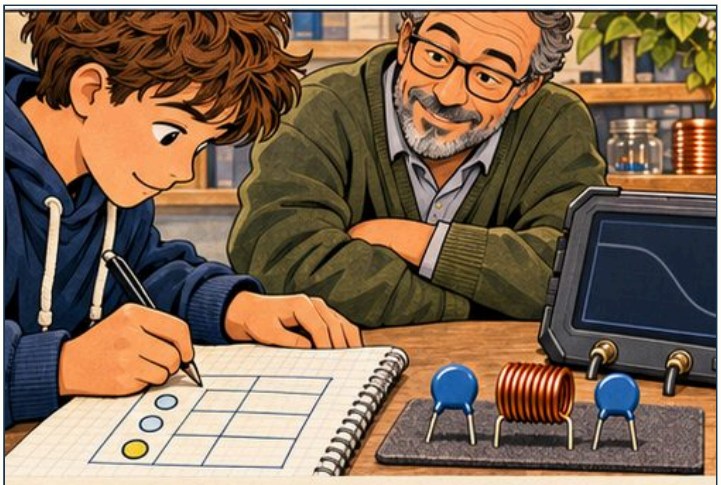
A 30 MHz, f/fc vale 3: circa −28,63 dB.



L'attenuazione aumenta, ma resta finita.

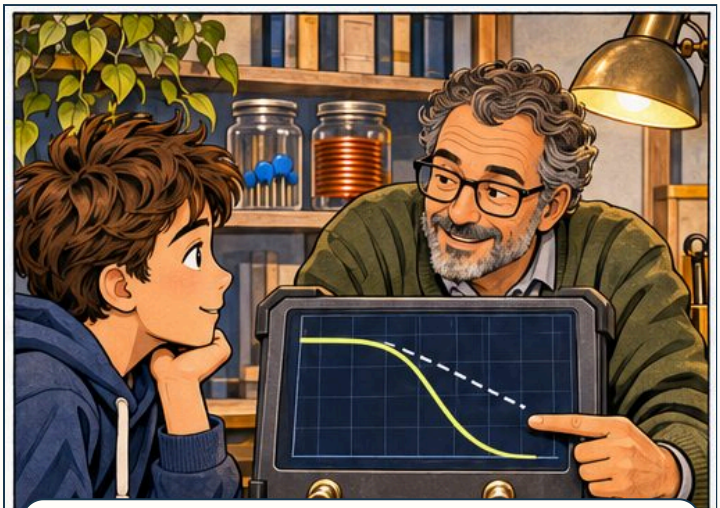


Questi numeri sono calcolati, non misurati sul loro circuito.

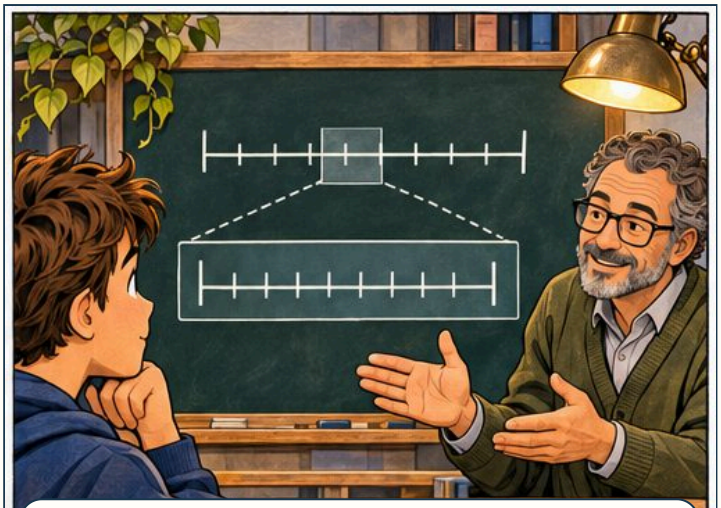


Il ragazzo li inserisce nella colonna delle previsioni.

La pendenza non è una promessa



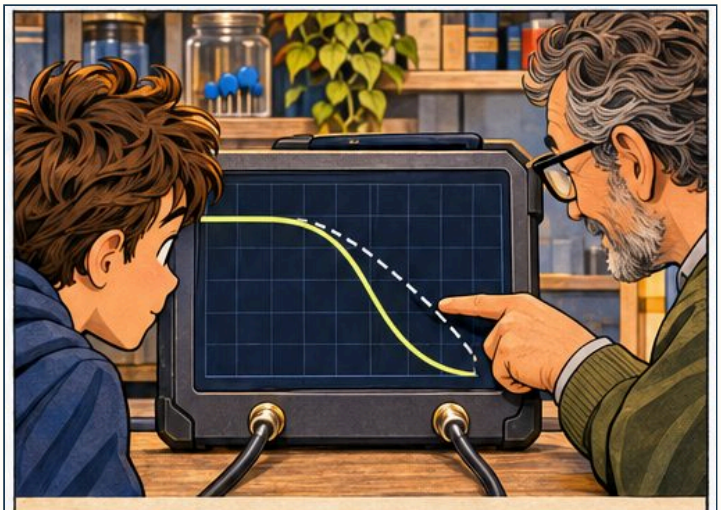
Lontano dal taglio, l'attenuazione ideale tende a 60 dB per decade.



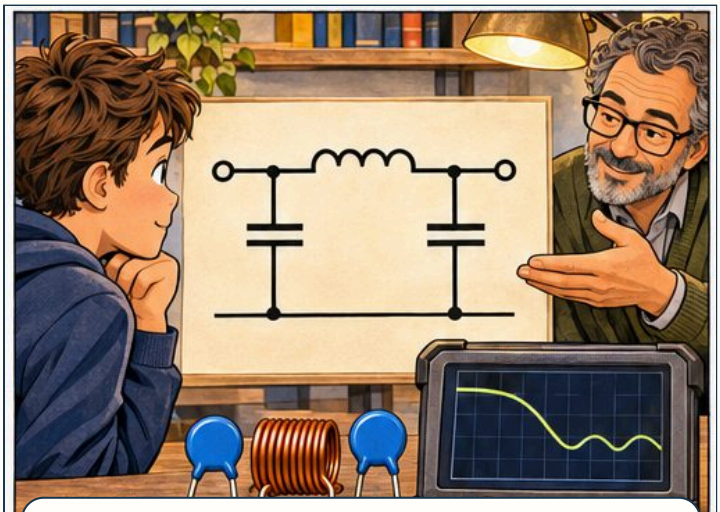
Una decade significa una frequenza moltiplicata per dieci.



Questa pendenza asintotica appartiene al modello del terzo ordine.



Vicino al taglio, la curva non è una retta.

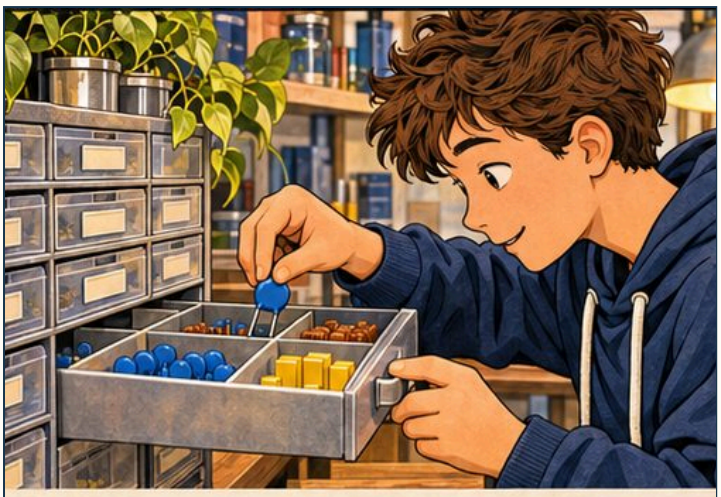


I componenti reali limiteranno anche questo andamento.

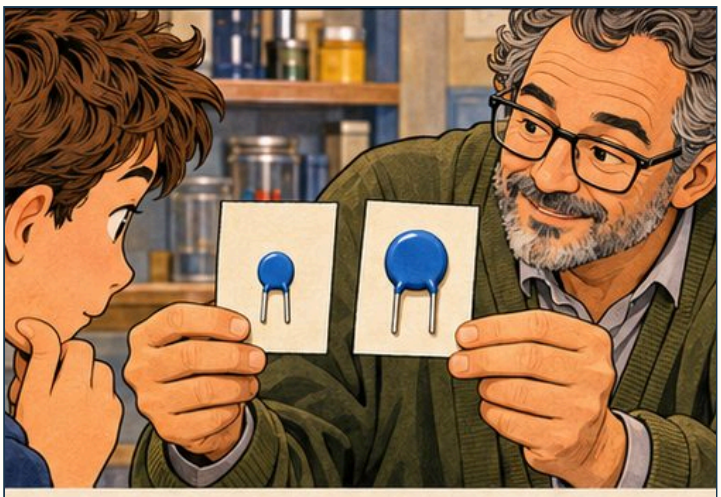


Il ragazzo non estende una regola oltre le sue condizioni.

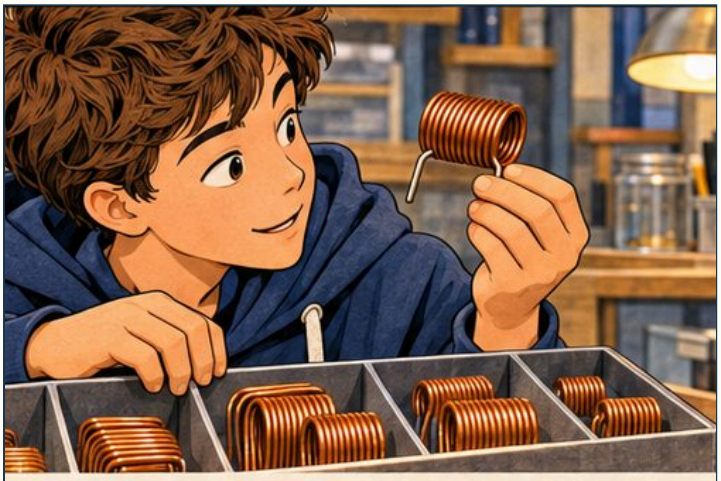
I valori disponibili



Il cassetto non contiene necessariamente condensatori da 318,3 pF.



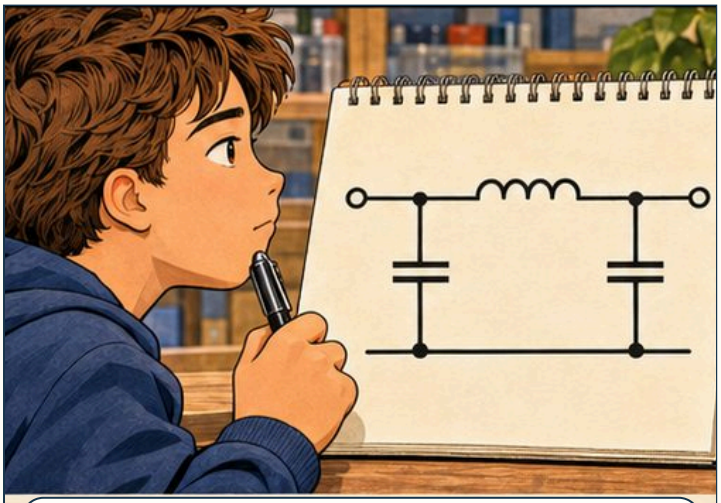
Un valore comune di 330 pF non è identico.



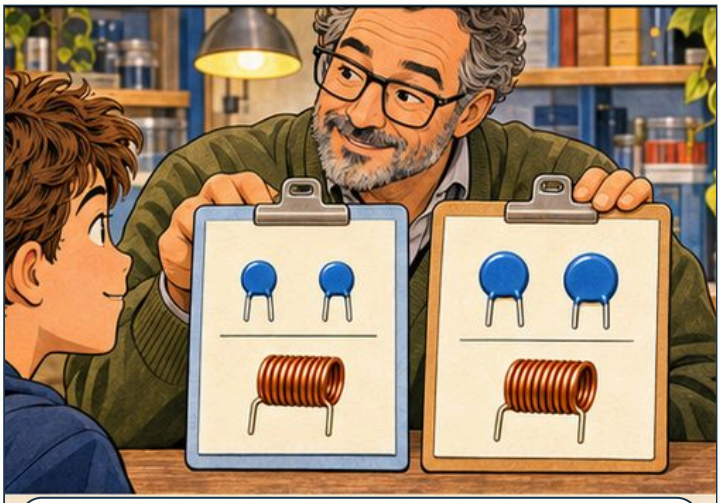
Una bobina da 1,6 µH si avvicina al valore calcolato.



Scegliere questi valori impone di ricalcolare o simulare la risposta.



Non si definisce automaticamente questo circuito «esattamente 10 MHz».



Il ragazzo tiene separati valori ideali e valori scelti.

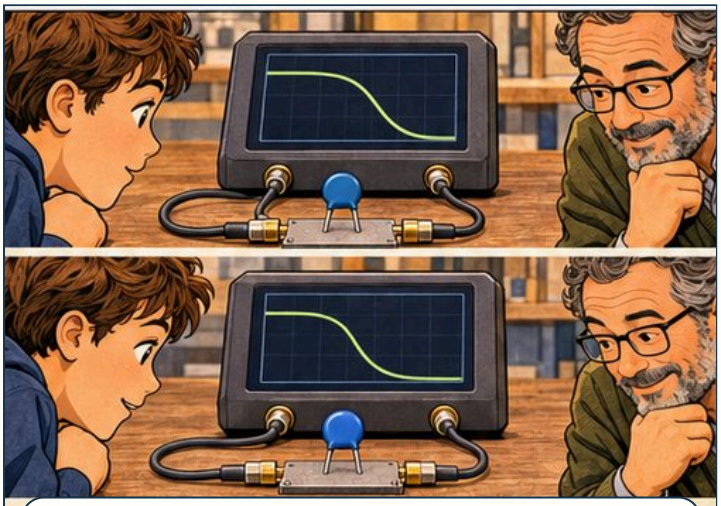
Ogni pezzo ha una tolleranza



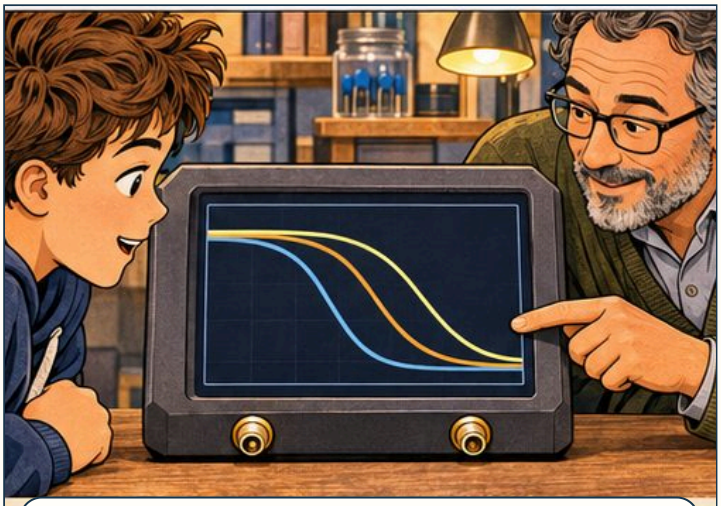
Un valore nominale non è un valore esatto garantito.



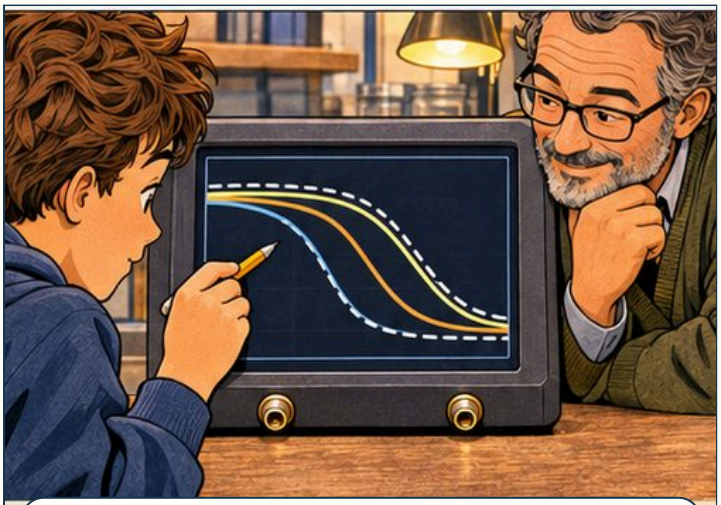
Le tolleranze di condensatori e bobina contano.



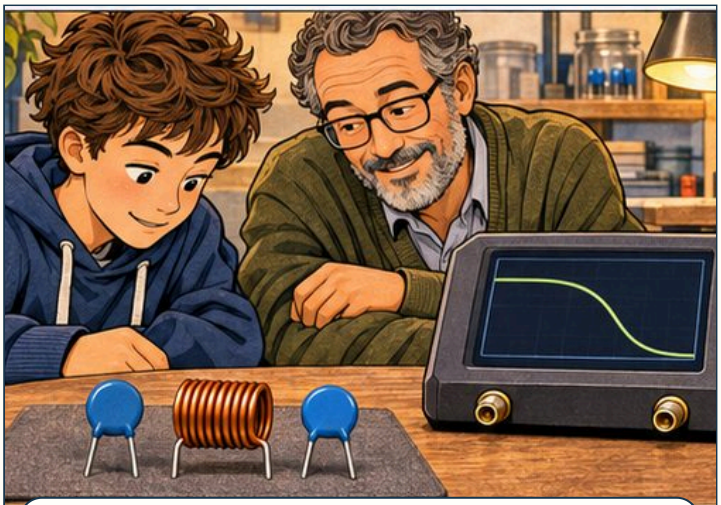
Componenti con la stessa scritta possono differire leggermente.



Una simulazione può esplorare più combinazioni di valori.



Aiuta a prevedere un intervallo di risposte possibili.



La misura esaminerà poi i pezzi realmente usati.

I componenti nascosti



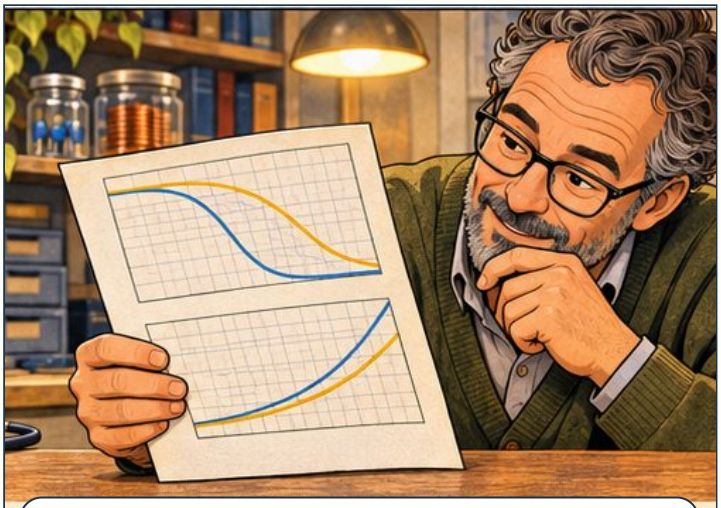
Una bobina reale ha anche resistenza e capacità parassita.



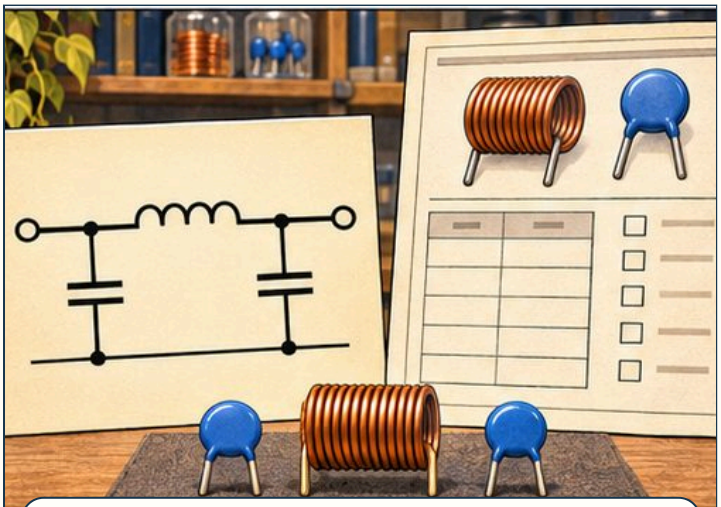
Un condensatore ha, fra l'altro, perdite e induttanza parassita.



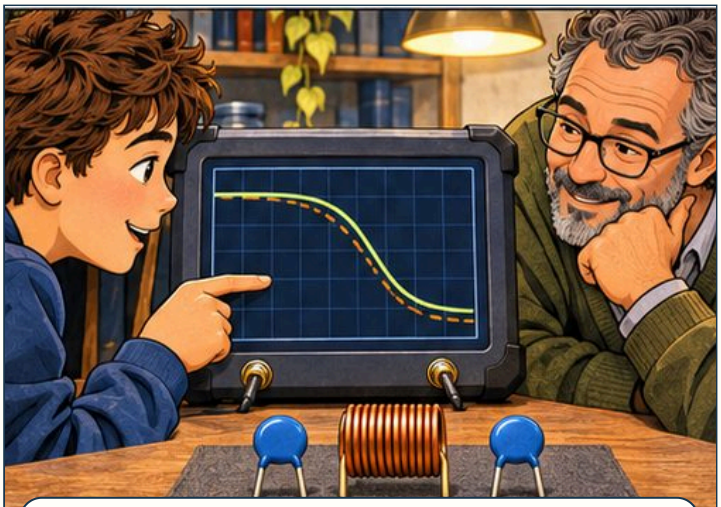
Il loro comportamento cambia vicino a certe risonanze.



Le schede tecniche indicano limiti da esaminare.



Il valore in picofarad o microhenry quindi non basta.



Il ragazzo impara a leggere oltre la prima riga.

Il banco non qualifica un trasmettitore



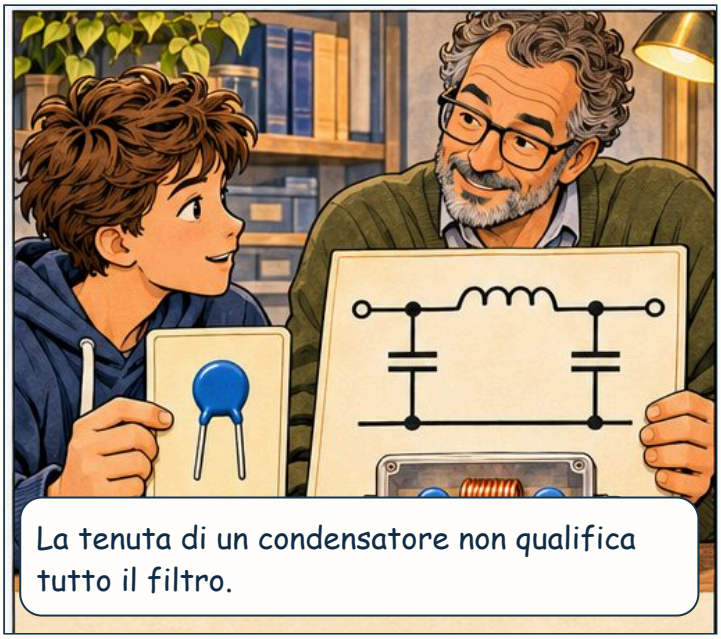
Il dimostratore riceve solo il piccolo segnale previsto dall'analizzatore.



L'impiego in trasmissione richiederebbe ulteriori verifiche.



Andrebbero studiati tensioni, correnti, riscaldamento e potenza ammissibile.



La tenuta di un condensatore non qualifica tutto il filtro.

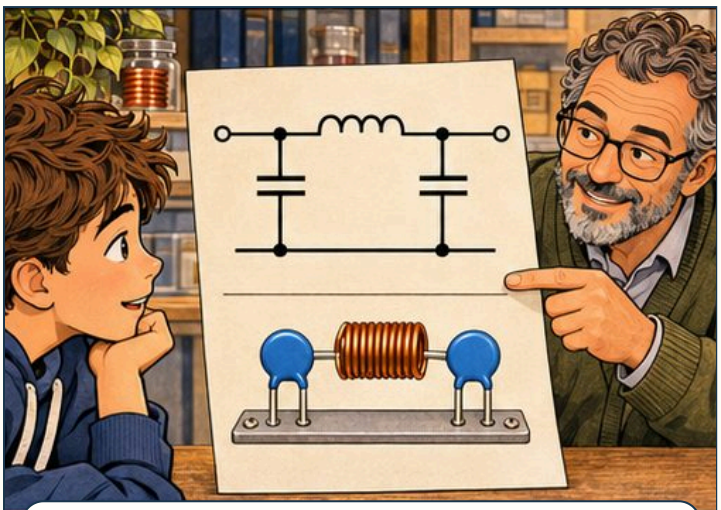


Questo laboratorio non prevede prove di potenza.

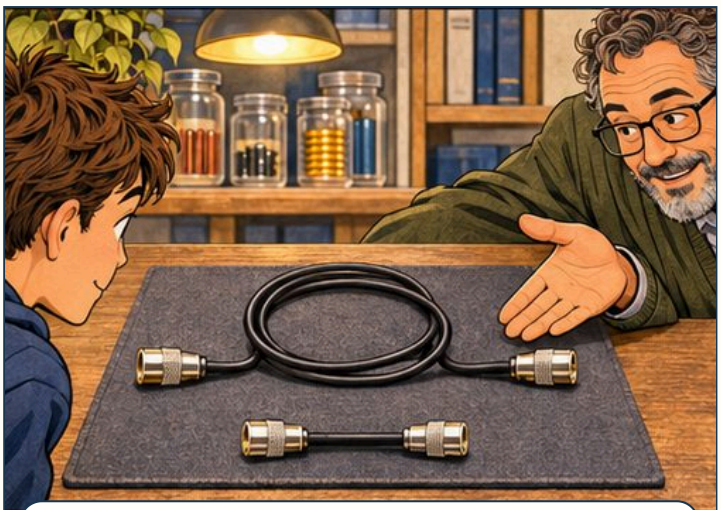


Il ragazzo scrive chiaramente i limiti della realizzazione.

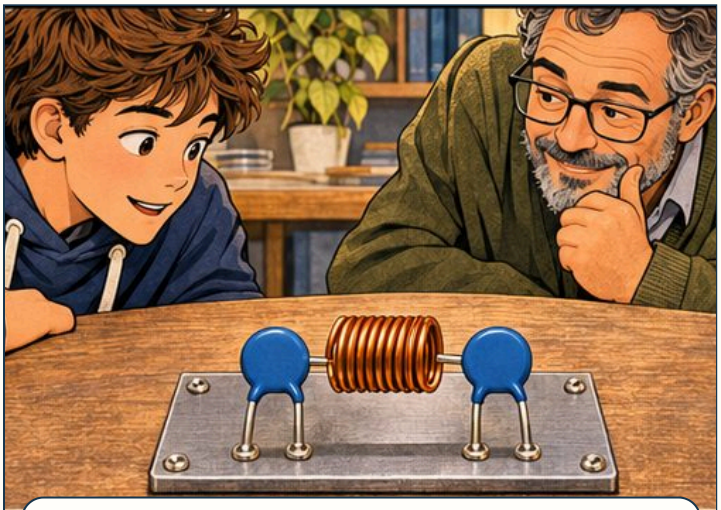
Disegnare la disposizione



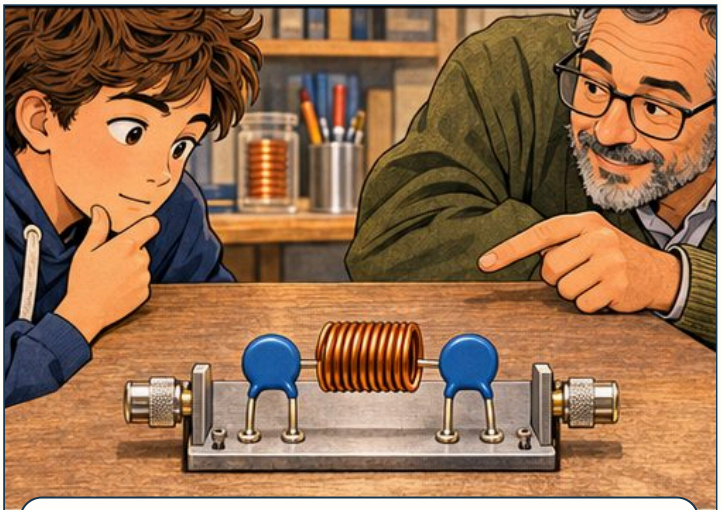
Lo schema indica i collegamenti, non tutta la loro geometria.



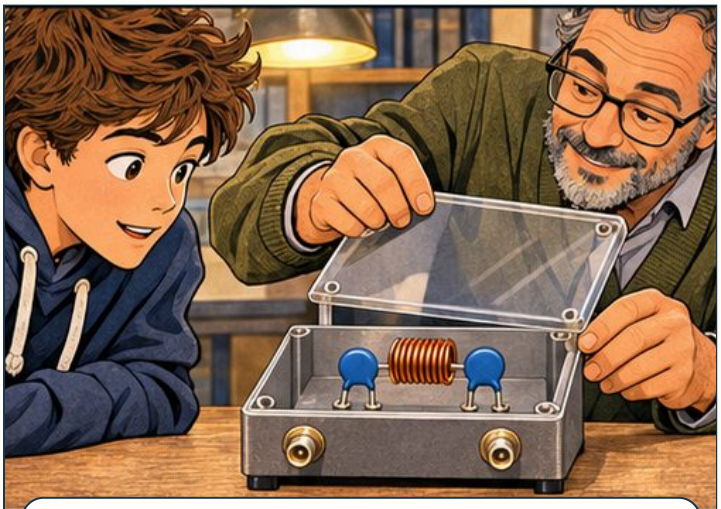
A queste frequenze contano lunghezze dei collegamenti e disposizione.



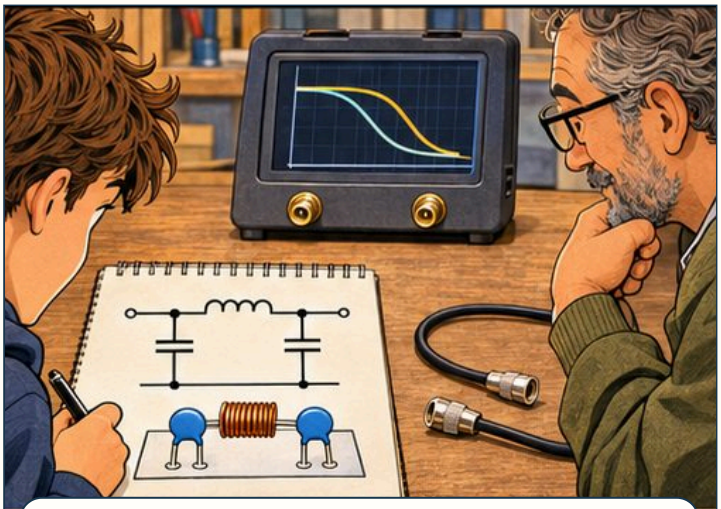
Prevedono una massa comune e collegamenti corti.



Separano anche percorsi che potrebbero accoppiarsi direttamente.



Henri prepara un dimostratore adatto alla misura.

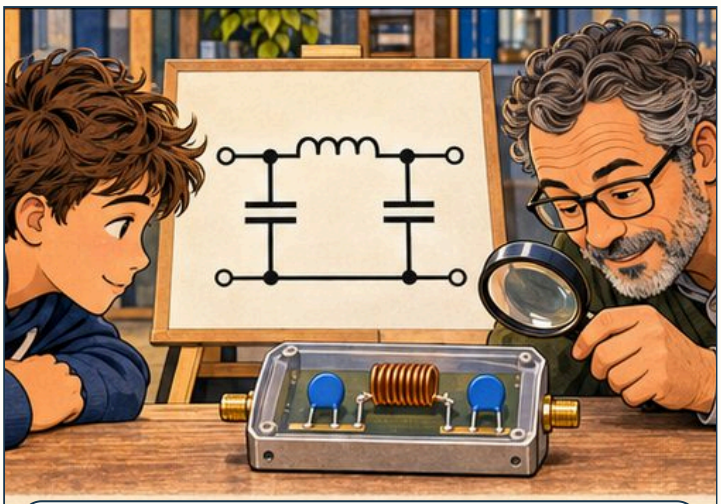


Lucas confronta disposizione e schema, collegamento per collegamento.

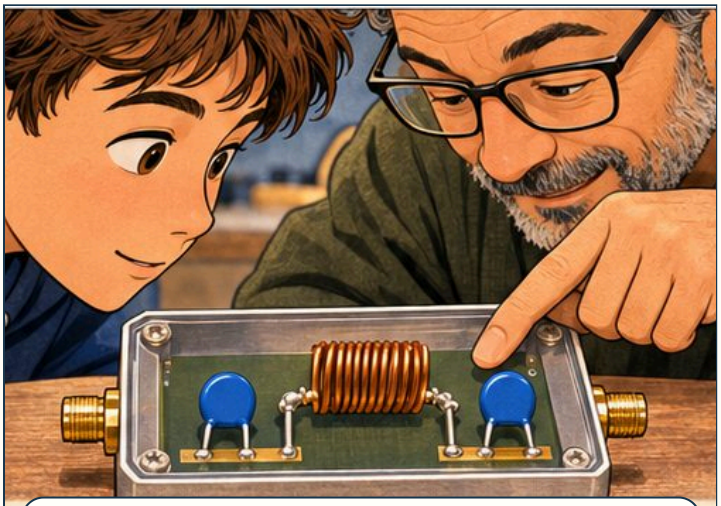
Verificare prima di collegare



La sorgente di misura resta spenta durante la preparazione.



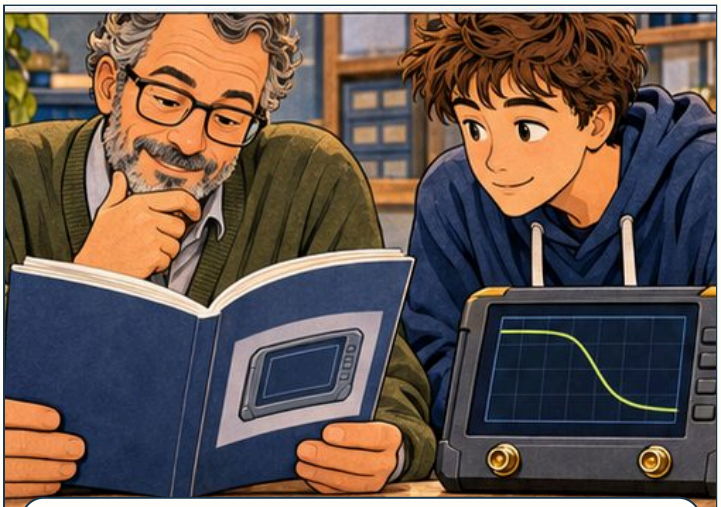
Controllano collegamenti, componenti e massa comune.



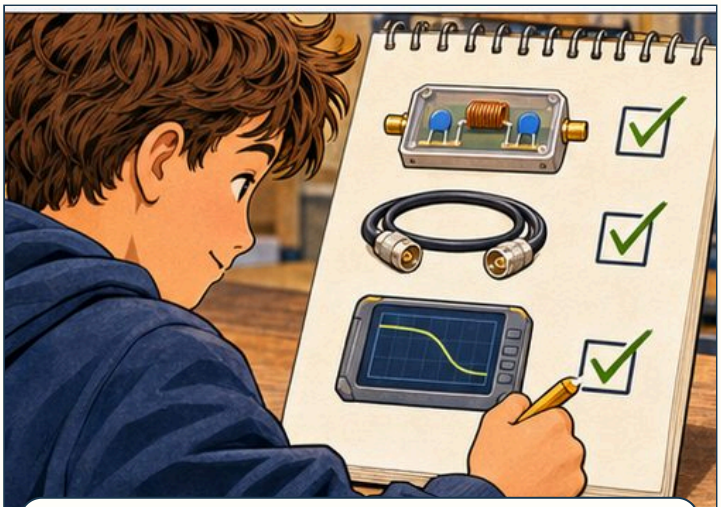
Cercano cortocircuiti, errori di collegamento e pezzi danneggiati.



Ispezionano poi connettori e cavi.



Il mentore controlla i limiti d'ingresso dello strumento.



Il ragazzo completa la lista prima della prima scansione.

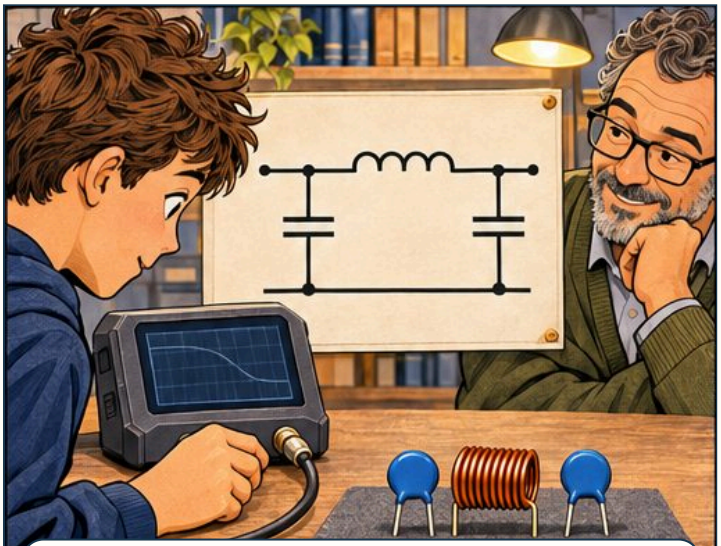
L'analizzatore pone domande



L'analizzatore di rete invia un piccolo segnale noto.



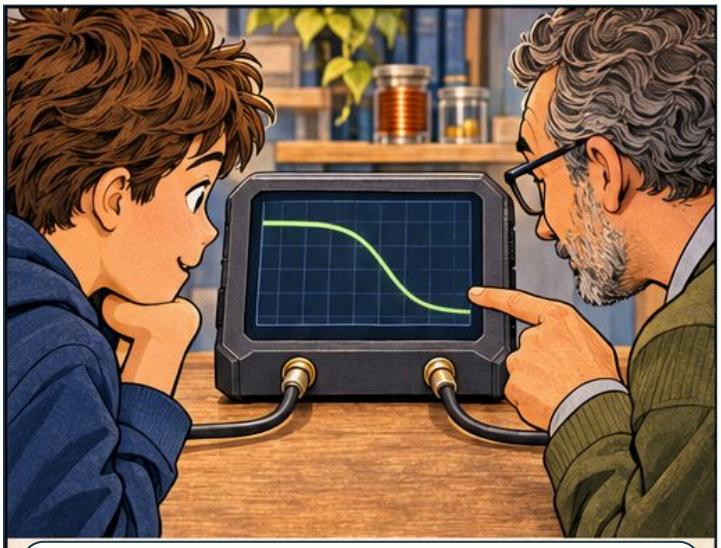
Esplora un intervallo di frequenze scelto.



La porta 1 alimenta l'ingresso del filtro.



La porta 2 osserva la trasmissione all'uscita.



Il parametro S21 permette di seguirla.



Le porte forniscono i riferimenti da 50 Ω previsti.

Calibrare nel punto giusto



Cavi e adattatori partecipano alla misura.



Seguono quindi la procedura di calibrazione dello strumento.



Gli standard adatti vengono collegati secondo il manuale.



I piani di riferimento sono posti alle estremità dei cavi.



Dopo la calibrazione conservano quanto possibile questi collegamenti.



Il ragazzo annota configurazione e impostazioni della scansione.

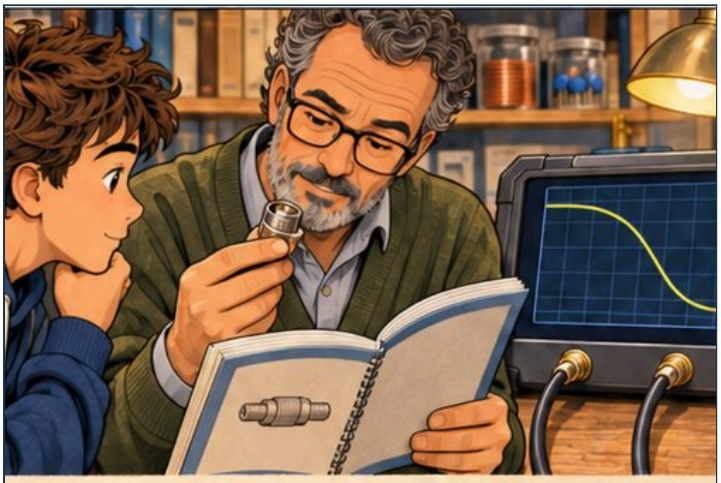
Controllare il percorso diretto



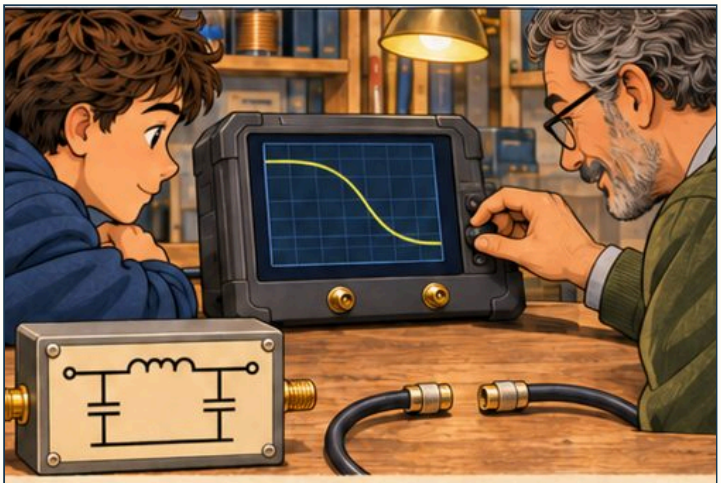
Prima del filtro, un collegamento diretto verifica il riferimento.



La trasmissione attesa deve essere coerente con quel collegamento.



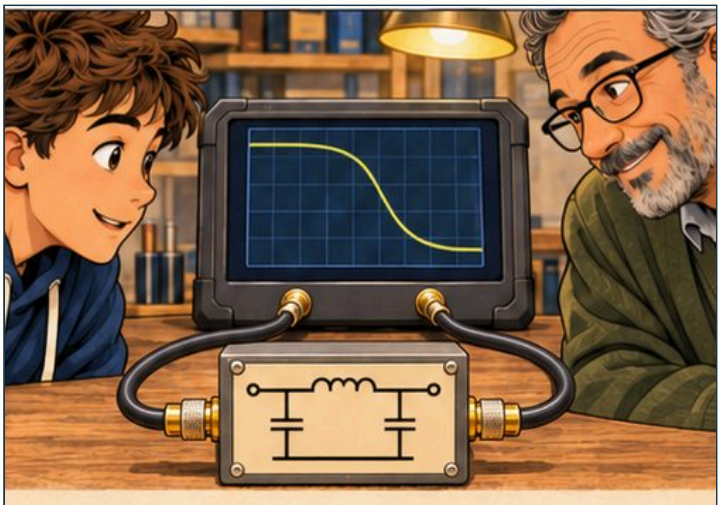
Un'anomalia impone di esaminare cavi, calibrazione e impostazioni.



Non si corregge un filtro per nascondere un difetto del banco.



Finita la verifica, fermano la sorgente per collegare.

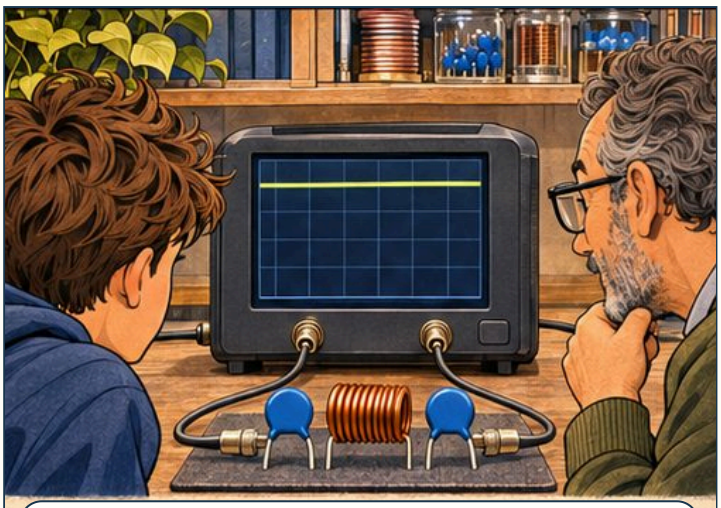


Il filtro prende poi posto tra i due cavi.

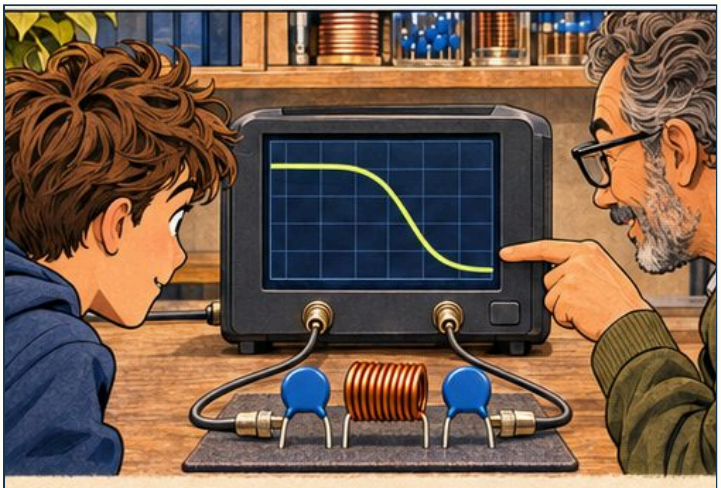
La prima scansione



Avviano una scansione che comprende banda utile e transizione.



La traccia resta più alta alle basse frequenze.



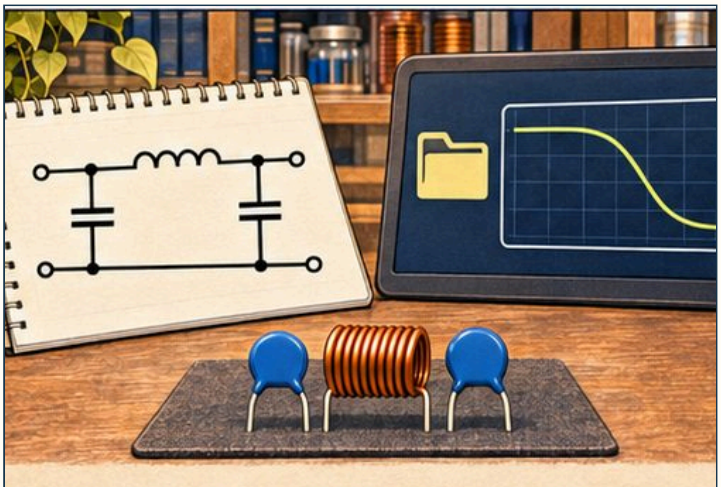
Poi scende quando la frequenza aumenta.



Il ragazzo ritrova la forma prevista senza presumere un'uguaglianza perfetta.

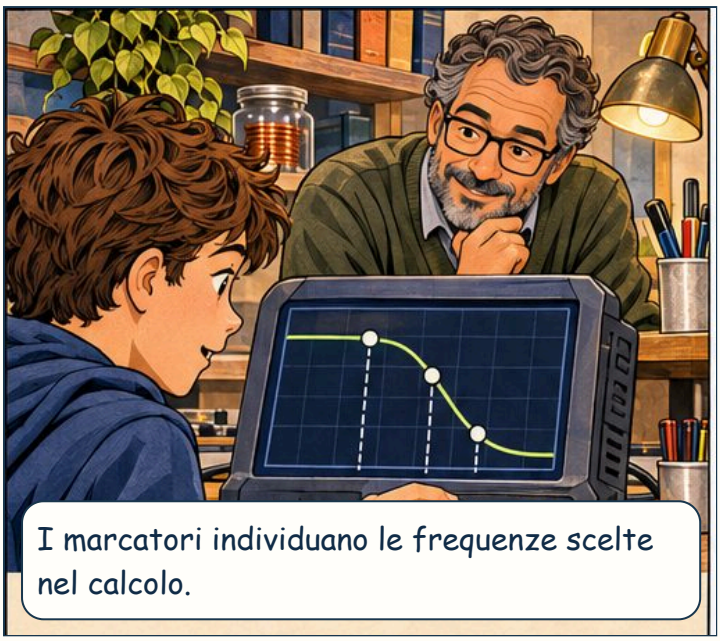


Salva la traccia e le condizioni di misura.



Un risultato conservato permette confronti dopo ogni modifica.

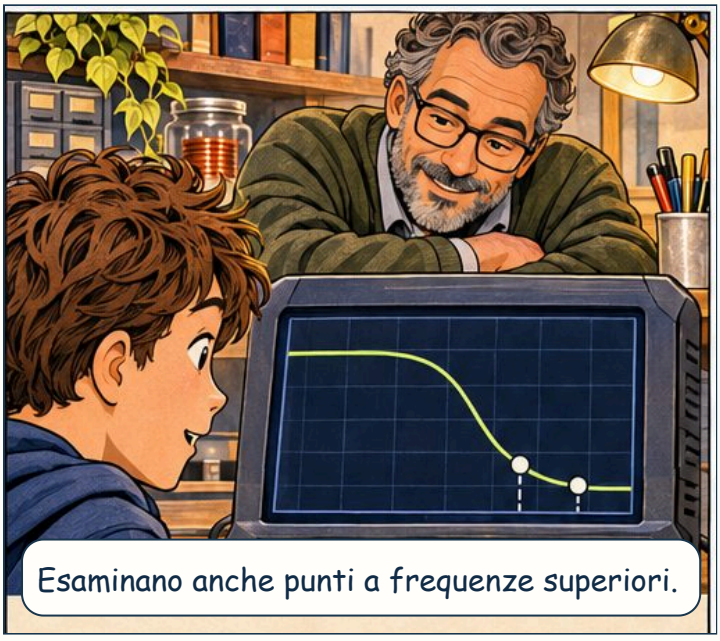
Leggere punti precisi



I marcatori individuano le frequenze scelte nel calcolo.



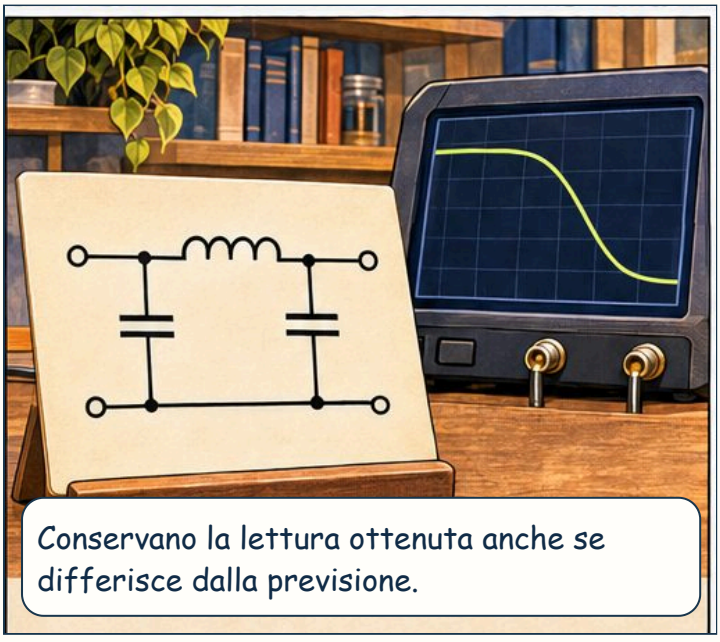
Leggono la trasmissione attorno al taglio atteso.



Esaminano anche punti a frequenze superiori.



Le letture reali vanno nella colonna delle misure.



Conservano la lettura ottenuta anche se differisce dalla previsione.



Il ragazzo indica anche data e configurazione.

Capire uno scostamento



Il taglio osservato può differire da quello calcolato.



Valori scelti e tolleranze forniscono i primi indizi.



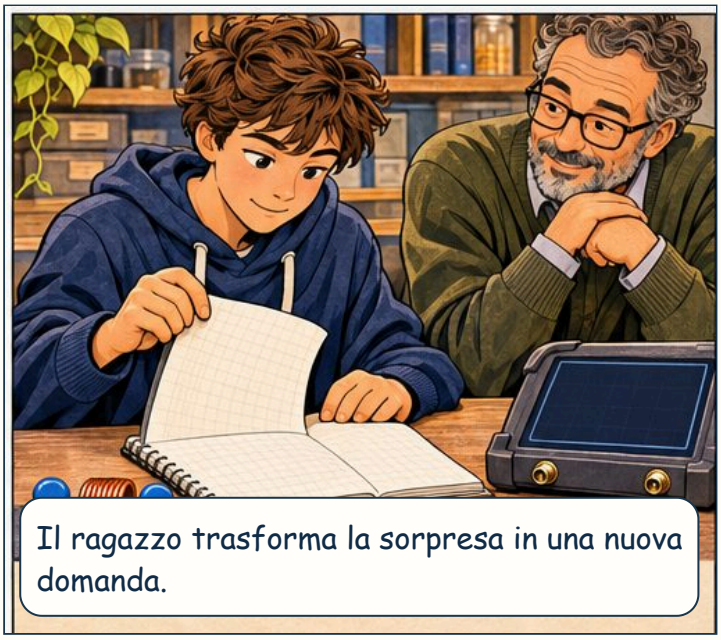
Anche perdite, disposizione e calibrazione meritano un esame.



Verificano queste ipotesi prima di accusare una formula.

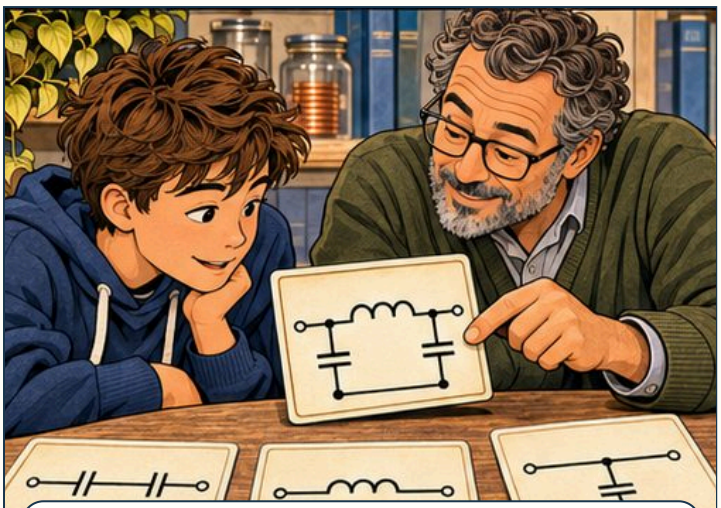


Una curva diversa non ne spiega da sola l'origine.

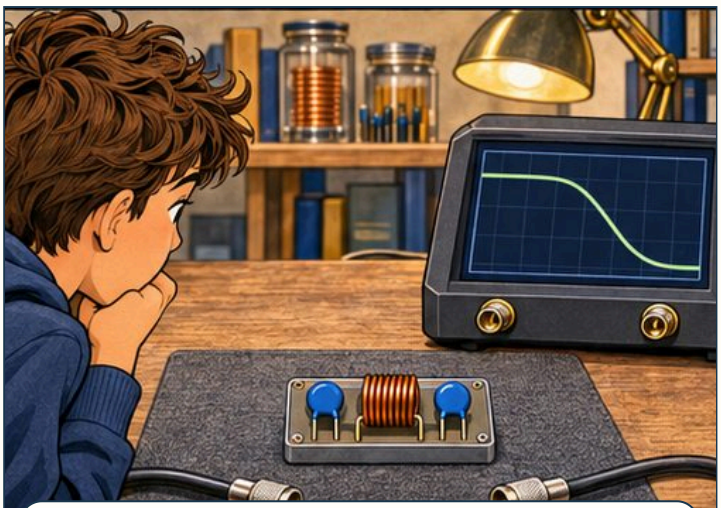


Il ragazzo trasforma la sorpresa in una nuova domanda.

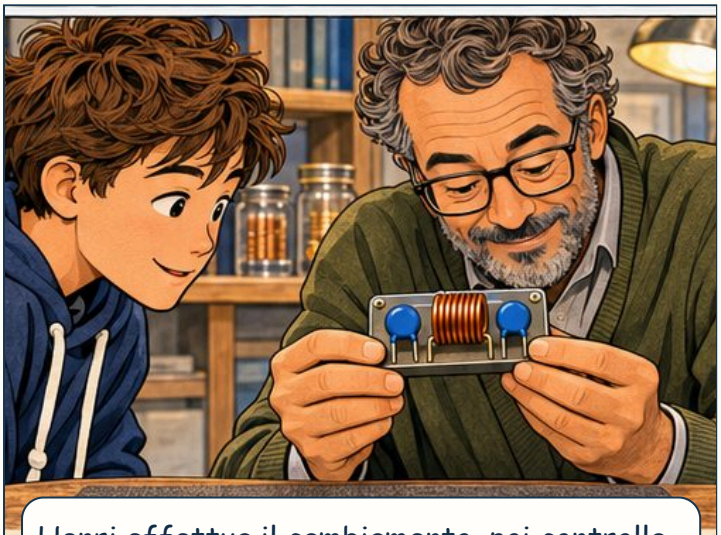
Una modifica alla volta



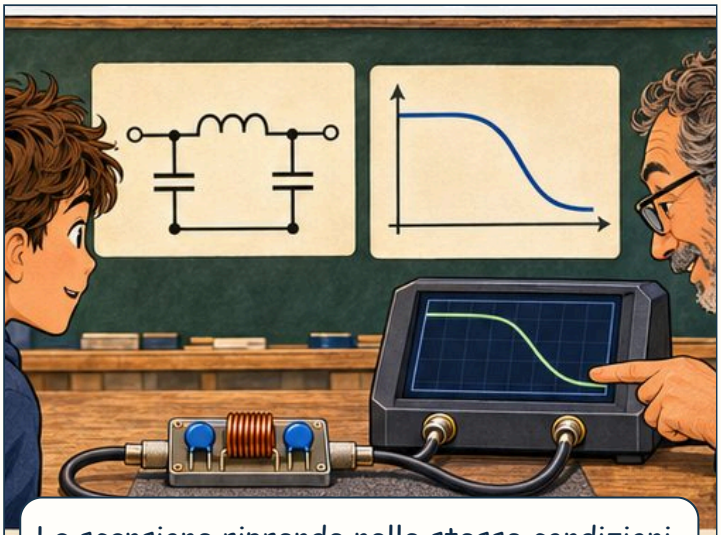
Scelgono una sola ipotesi e preparano una modifica motivata.



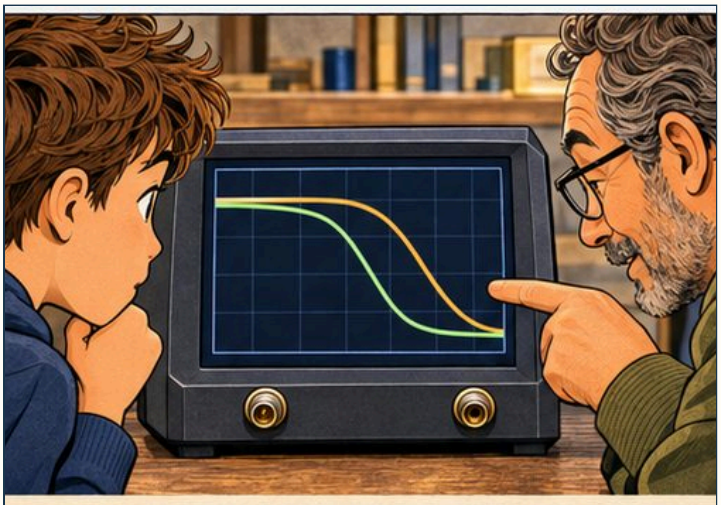
Fermano la sorgente e scollegano il modulo prima dell'intervento.



Henri effettua il cambiamento, poi controlla il circuito.



La scansione riprende nelle stesse condizioni documentate.

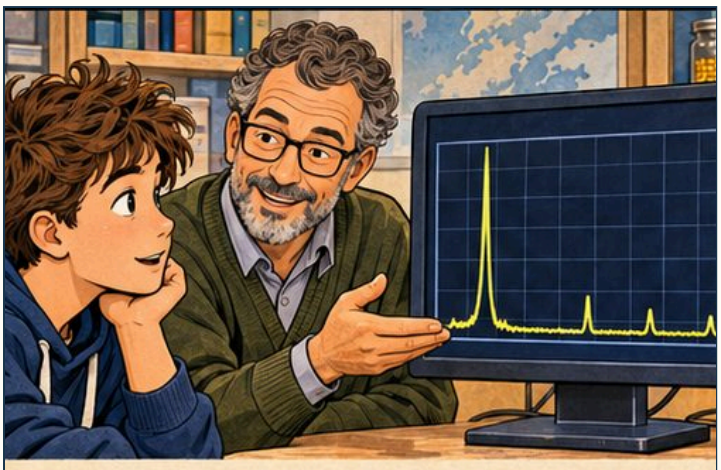


Confrontano la vecchia traccia con la nuova.

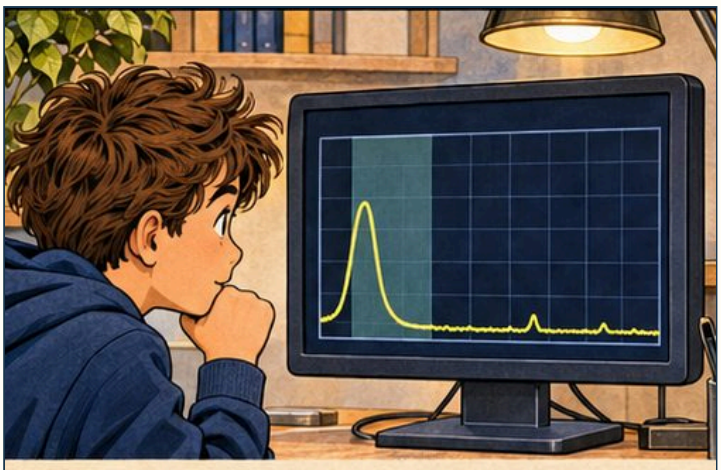


Il metodo evita di confondere più cause possibili.

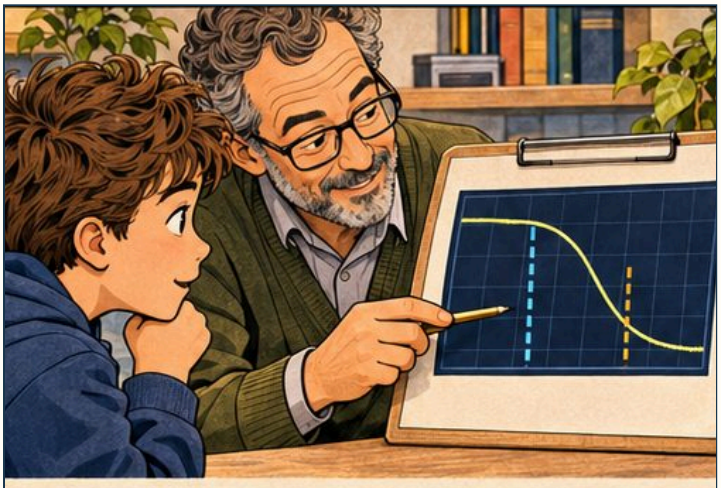
L'attenuazione ha dei limiti



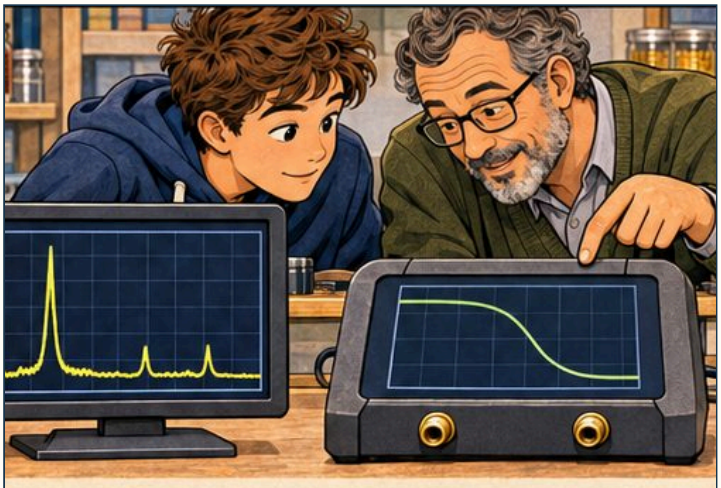
Un passa-basso non cancella tutte le componenti indesiderate.



Una componente nella banda passante sarà poco attenuata.



La reiezione dipende dalla frequenza e dalla realizzazione.



Un controllo spettrale completo richiederebbe ulteriori misure adatte.



La presenza del filtro non prova la conformità di una stazione.

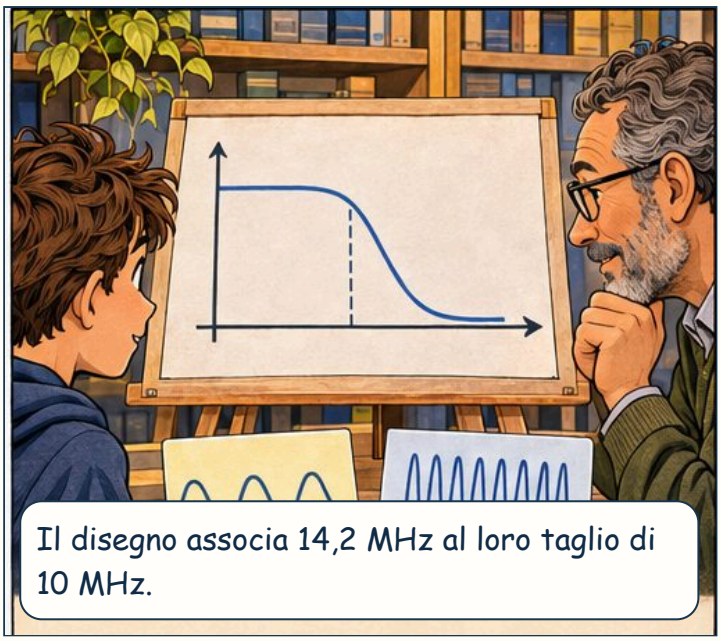


Il ragazzo distingue una funzione utile da una garanzia generale.

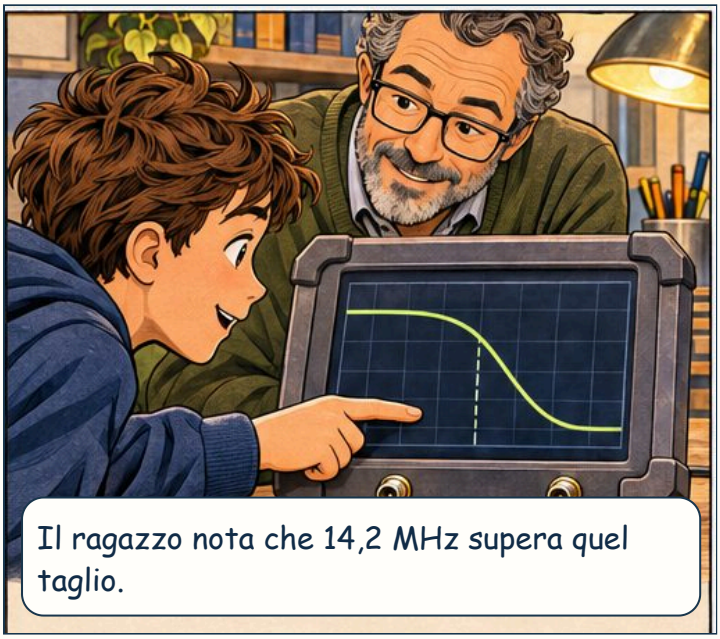
La frequenza utile deve passare



Il mentore propone infine un tranello nel disegno di una stazione.



Il disegno associa 14,2 MHz al loro taglio di 10 MHz.



Il ragazzo nota che 14,2 MHz supera quel taglio.



Questa scelta attenuerebbe anche il segnale da conservare.

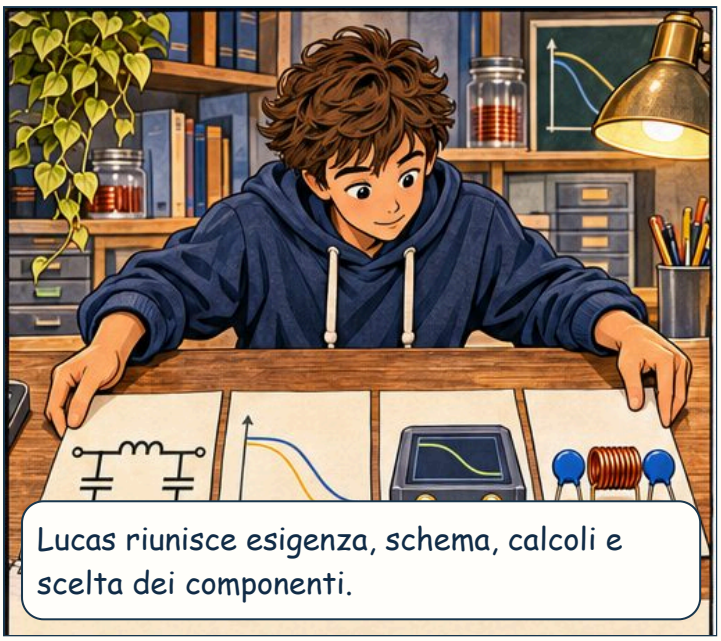


Bisogna rivedere le specifiche prima di qualsiasi utilizzo.



Un esempio di calcolo non è un filtro universale.

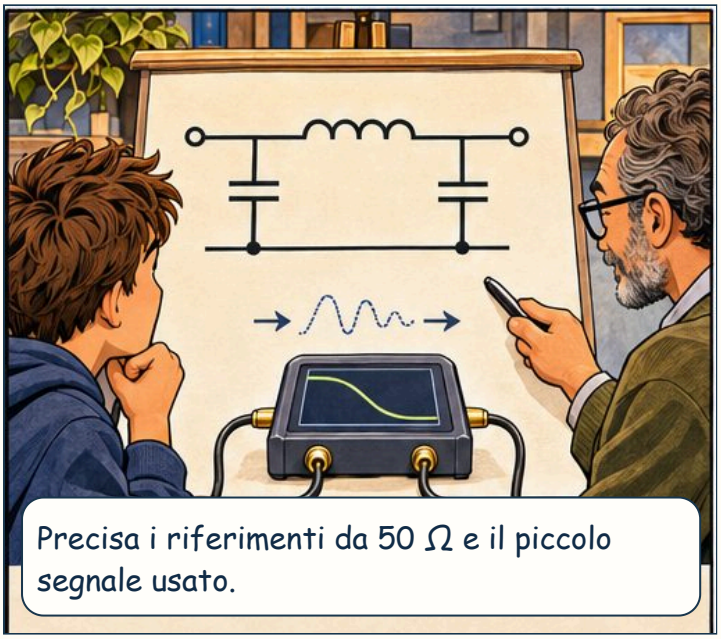
Preparare una spiegazione condivisibile



Lucas riunisce esigenza, schema, calcoli e scelta dei componenti.



Distingue le previsioni dai risultati realmente osservati.



Precisa i riferimenti da 50 Ω e il piccolo segnale usato.



Conserva tracce, calibrazione e limiti dell'esperimento.



Henri interpreta un visitatore e pone un'ultima domanda.



Ora il ragazzo sa spiegare perché ogni condizione conta.

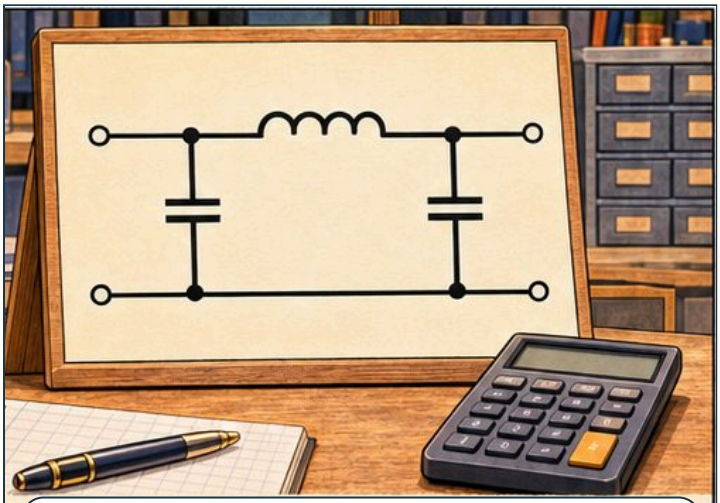
Capire, calcolare, misurare



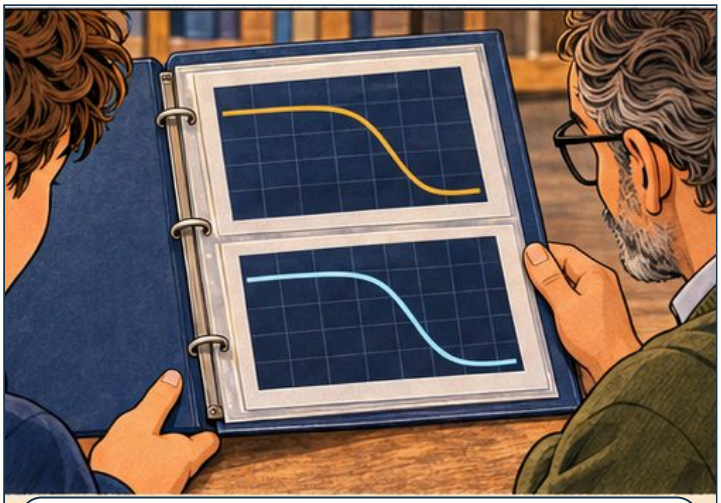
I tre componenti tornano nella scatola didattica.



Il ragazzo sa collegare un'esigenza alla risposta di un filtro.



Sa calcolare questo Butterworth a π e controllare le unità.



Sa anche misurare, confrontare e interrogare gli scostamenti.



Il quaderno conserva un metodo, con ipotesi e limiti.



Al club, la prossima scoperta comincia già da una domanda.