

Tutti i condensatori sono uguali ...

"Tutti i condensatori sono uguali". E su questo molti concordano, dato che il condensatore è un componente abbastanza misterioso.

Certamente ci sono condensatori cilindrici, parallelepipedali, a pastiglia o con altre strane forme; e neri, verdi, rossi, bianchi. Ci sono condensatori polarizzati e condensatori non polarizzati e si differenziano per la capacità e la tensione di lavoro.

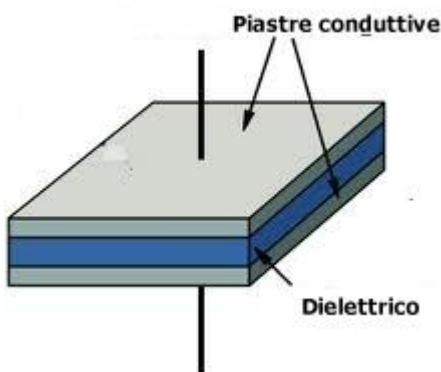
E nei circuiti si piazzano condensatori scelti solo in base a questi dati, senza porsi altri problemi: un 10 uF è sempre un 10 uF.

Sfortunatamente questo non è il modo di operare migliore in ogni circostanza. Vediamo perchè.

Il Condensatore

Occorre come prima cosa un breve riepilogo di cosa è il condensatore.

Tutti dovrebbero sapere, dalle ore di fisica elementare della scuola superiore, che un condensatore è un dispositivo costituito da due piastre conduttive parallele, separate da un materiale isolante (dielettrico) in grado di conservare una carica elettrica (e la relativa energia).



Quando si applica una tensione, il campo elettrico nel dielettrico sposta cariche e quindi immagazzina energia. Il modello teorico presume che non esistano cariche libere nel dielettrico e che non siano neppure in grado di muoversi come in un conduttore. Il dielettrico è nel contempo un isolante perfetto.

Una analogia meccanica può essere un vaso di espansione o, ancora meglio, un serbatoio separato in due parti da un diaframma elastico impermeabile che immagazzina l'energia sotto forma di pressione.

Caratteristica del condensatore ideale è un unico parametro, la **capacità C**.



e il suo simbolo unificato è costituito dalla siluette delle due piastre parallele separate dal dielettrico (che può anche essere l'aria).

Dal momento che è stato inventato il primo condensatore, la bottiglia di Leida, quasi ogni concepibile materiale dielettrico e forma è stato provato. **Vetro, cera, carta, plastica, ceramica, oli, minerali, film plastici, aria, ossidi metallici, ecc., da soli o in combinazione, come carta/cera, carta/resina epossidica, plastica/plastica, carta/olio, plastica/olio** sono stati sperimentati, dando

origine ad una vastissima gamma di prodotti, diversi sia per il materiale impiegato che per la tecnologia costruttiva.

Raramente un componente elettronico è disponibile in una così grande varietà di forme, materiali e caratteristiche costruttive !

Eccone alcuni e molto limitati esempi



Condensatori elettrolitici polimero-Alluminio e double layer capacitors ([SAMWHA](#))



Condensatori in policarbonato metallizzato, poliestere, polipropilene, polisterene. Snubber per IGBT e soppressione di scintilla ([CTR](#)).



Condensatori per alte tensioni ([MacroPlus](#)).



Condensatori per forni ad induzione ([ICAR](#))



Condensatore variabili (trimmer) [Murata](#) e [Wima](#)



Condensatori a "scatoletta" in film plastico (polipropilene o poliestere) metallizzato. ([Wima](#))



Supercap, 200 F con energia specifica 20 kJ, 3 mOhm e IP fino a 2400 A. ([Wima](#))



Condensatori SMD [AVX](#), tantalio e MLCC ceramici multistrato



Condensatori [Cornell Dubilier](#) ad alta tensione e alta corrente (1400 V, 75A)



Array di condensatori ([AVX](#)) e condensatore variabile ([Murata](#)) per SMD.

E queste sono solo **una minima parte** delle molteplici forme del condensatore: una ricerca sul WEB può fornire una impressionante serie di altre possibilità, modelli, tecnologie, aree di impiego, costruttori.

E' evidente, anche per un non esperto, che deve esserci **una valida ragione per l' esistenza di così tanti tipi e modelli** di condensatori, che, evidentemente, **non sono tutti uguali**.

Quindi, si può desumere che condensatori diversi siano adatti ad applicazioni diverse.

Non solo C

Ma il condensatore è solo capacità?



Certamente anche il più sprovvisto esiterà nel sostituire il condensatore di avviamento di un motore con un' altro qualsiasi di uguale valore (anche solo per le dimensioni...). Entrambi i componenti nella foto a lato sono elementi da 10 uF-400V, però il primo è un carta-olio per un motore asincrono e il secondo è un poliestere per uso generico. Provare a scambiarli...

Come pure ci potrà essere qualche esitazione nel piazzare un elettrolitico al posto di uno a film.

Dimensioni, forme, colori, non sono solo identificatori di questo o quel costruttore e la capacità non è il solo parametro da considerare nella scelta del condensatore.

Quando si dà per vera l' affermazione che "tutti i condensatori sono uguali", non è ben chiaro che

se un condensatore teorico ha un solo parametro, la capacità, nessun condensatore reale è un elemento "teorico" e quindi non è solo pura capacità !

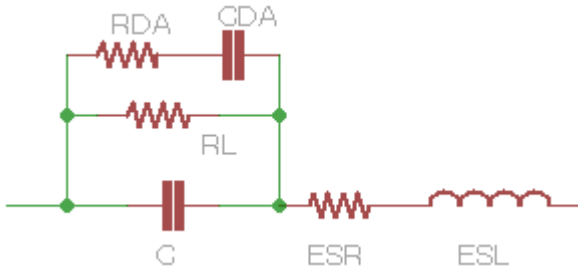
Ogni tipo di condensatore **reale, realizzato con materiali reali**, ha un certo numero di **elementi indesiderati**, di perdita, e di elementi limite" la cui non conoscenza, o perfino l' ignoranza dell' esistenza, rende difficile selezionare il condensatore giusto per ogni applicazione.

Il condensatore "reale" è un componente complesso, risultato di un processo costruttivo che utilizza materiali "reali": le caratteristiche di questi due fattori rendono il condensatore reale diverso da quello teorico.

E dovrebbe essere ovvio che ogni differenza dal modello teorico è, in pratica, **una causa riduttiva**.

Se, come abbiamo appena visto, il simbolo del condensatore riporta solamente capacità, il condensatore reale è caratterizzato da un modello più complesso, del quale fanno parte varie componenti parassitarie.

Possiamo raccogliere le principali di queste componenti e rappresentarle sotto forma di elementi induttivi e resistivi:



- **ESR** (resistenza in serie equivalente)
- **ESL** (induttanza in serie equivalente)
- **DA** (*Dielectrical Absobtion*) - assorbimento del dielettrico
- **RL** (*Resistance of Leakage*) - componente di autoscarica

Alla capacità **C** del condensatore teorico si trovano collegate in serie una resistenza parassita (**ESR**) ed una induttanza parassita (**ESL**). Inoltre il dielettrico reale ha una componente di assorbimento **DA**, rappresentata da una capacità **CDA** in serie con una resistenza di elevato valore **RDA**, ed una certa resistenza di isolamento **RL**, la quale è responsabile del parametro leakage.

Questi sono i parametri di dispersione, parassitari, che distinguono l' oggetto reale dall' archetipo teorico.

Vediamoli in maggiore dettaglio.

ESR

ESR (*Equivalent Serie Resistance - resistenza in serie equivalente*) è attribuibile principalmente a tre componenti: i reofori, la resistenza dell'elettrodo e la perdita del dielettrico. Va ricordato che

il condensatore teorico ha solo componente reattiva, quindi non dissipa energia in calore.

però

il condensatore reale, a causa della ESR, dissiperà potenza attiva in calore per effetto Joule., dovuto alla corrente che attraversa la resistenza serie.

Queste perdite (di potenza attiva) diventano sensibili quando sono in gioco correnti elevate, come nel caso di condensatori utilizzati per rifasamento, motori, trasmettitori radio, disaccoppiamento o rettifica della corrente alternata e dove si verificano ripple elevati, come alimentatori switching, alimentazione di carichi impulsivi, motori passo-passo, solenoidi, sistemi digitali, ecc. L' effetto della ESR è limitato o non importante nei circuiti dove le correnti sono basse a causa l' alta impedenza dei circuiti.

Va da se che il riscaldamento del condensatore si riflette in una variazione dei parametri del dielettrico ed una eccessiva dissipazione di potenza rispetto a quanto previsto dal costruttore porta, se non alla distruzione del componente, ad una decisa riduzione della sua vita utile.

Ma anche nei circuiti a correnti limitate, l' avere una resistenza indesiderata in serie alla capacità altera il funzionamento del circuito, creando una rete R-C che limita la capacità di carica e scarica del condensatore.

ESR è misurata a frequenze diverse, a seconda di come verrà utilizzato il

condensatore. Per elettrolitici utilizzati come filtraggio dopo il raddrizzamento della rete si utilizza una frequenza di 100 o 120 Hz (per le reti a 60Hz); per condensatori standard si utilizza la frequenza di 1 kHz. Per altri modelli la frequenza sarà di 100 kHz. E va notato che, anche se **ESR è misurata in ohm, non è indipendente dalla frequenza**, a causa delle caratteristiche costruttive del condensatore.

ESR è il principale fattore limitante dell'impiego di un condensatore ad alte frequenze, come ad esempio in sistemi a commutazione, alimentatori switch mode, ecc. Anche per condensatori di filtro, una elevata resistenza equivalente serie è un fattore negativo e, in pratica, i progettisti di sistemi switching pensano più in termini di ESR che di capacità, in quanto una elevata capacità accompagnata da una elevata ESR sarà meno utile di una capacità minore, ma con più bassa ESR.

ESR dipende dalle tecnologie costruttive: uno stesso produttore potrà offrire una ampia gamma di condensatori simili per campo applicativo, ma con valori di resistenza molto diversi.

In generale, lo sforzo per abbassare l'ESR si traduce in un aumento del costo del componente. L'indicazione "**Low ESR**" va verificata con le specifiche fornite dal costruttore per quel determinato prodotto.

Condensatori con dielettrico ceramico o con alcuni film plastici o combinazioni di materiali, ad esempio polimero-alluminio, tendono ad avere ESR minore.

Il parametro ESR è indicato sempre in condensatori elettrolitici con classe di temperatura di 105 °C o 125 °C, ma raramente in quelli da 85 °C e praticamente mai nei prodotti a basso costo. Questo perchè il dato è fornito per una temperatura di 25 °C e alcuni elettrolitici di fascia bassa possono variare la loro resistenza interna in un range di 50:1 agli estremi della gamma termica di impiego.

Va anche ricordato che, principalmente per gli elettrolitici, **l' invecchiamento del dielettrico** porterà ad un drastico aumento del valore di ESR,

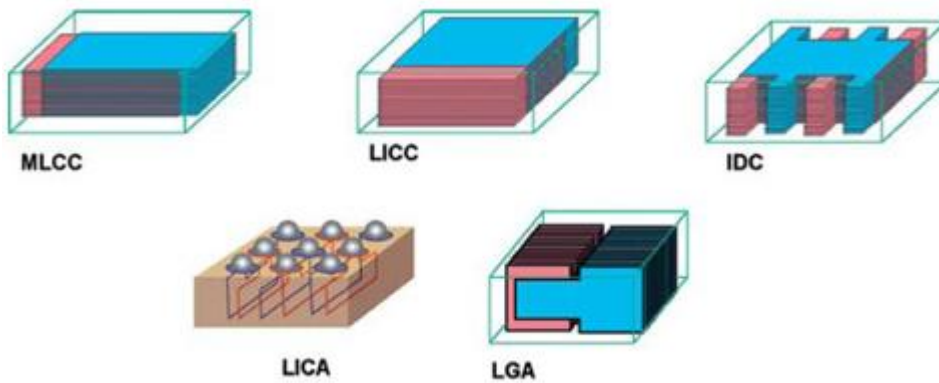


e questa è una delle ragioni per cui **si sconsiglia di riutilizzare vecchi condensatori recuperati da surplus** o apparati in disuso senza averli prima verificati

Condensatori al tantalio solido o ceramici sono decisamente più stabili col tempo. Anche condensatori in film plastico hanno buona durata nel tempo, a patto che non si siano verificate infiltrazioni di umidità, di solito alla giunzione dei reofori con le resine isolanti del package.

ESR può variare da qualche decina di ohm a qualche millesimo di ohm.

Condensatori OS-CON sono considerati tra quelli con le migliori caratteristiche (ma anche con il costo maggiore). Così pure i modelli multistrato MLCC e LICC, per montaggio superficiale.

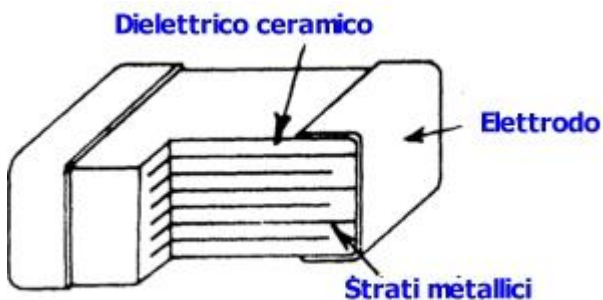


che sfruttano sia i materiali, sia le forme costruttive per minimizzare ESR e ESL.

ESL

ESL (*Equivalent Serie Inductance - induttanza in serie equivalente*)

rappresenta le induttanze distribuite, associate ad un condensatore reale. Dato che si tratta di una componente induttiva, il suo valore dipende strettamente dalla frequenza: non è un problema alle basse frequenze, ma diventa importante alle alte frequenze (RF). Ciò rende indispensabile il fatto che, alle alte frequenze, i terminali dell'alimentazione anche dei circuiti analogici di precisione siano disaccoppiati opportunamente. Ancor più nei sistemi digitali con clock dell'ordine di molte decine di MHz e nei sistemi a radio frequenza. Il condensatore ceramico monolitico è una scelta appropriata per il disaccoppiamento alle alte frequenze in quanto ha una induttanza in serie veramente bassa.



È costituito di un sandwich multistrato di film metallici e dielettrico ceramico e i film sono collegati in parallelo ai bus-bar degli elettrodi piuttosto che essere arrotolati.

Data la tecnica costruttiva con sottili spessori di dielettrico, si tratta di elementi a bassa tensione di lavoro.

I condensatori SMD sono, in genere, realizzati in questo modo, dato che tende a originare pacchetti rettangolari, molto adatti al montaggio superficiale.

Ma sono disponibili multistrato ceramici anche con terminali a foro passante.

Questo genere di condensatori è ormai molto comune e, nelle applicazioni di bypass e decoupling è decisamente migliore di quelli realizzati in film plastico.



Corrente di perdita

Leakage: In un **condensatore** ideale, la carica Q varia solo in conseguenza di una corrente che scorre nel circuito esterno che collega le due armature, senza attraversare il dielettrico. Nel condensatore reale, invece, il dielettrico non ha resistenza infinita, ma finita, anche se di valore molto elevato. Questa resistenza (**RL** resistenza di leakage) consente alla carica Q di scaricarsi più o meno lentamente, a seconda del suo valore, con una costante di tempo $RL \cdot C$.

La corrente di perdita ha valori, per i condensatori utilizzati in circuiti elettronici, solitamente bassi, dell'ordine dei microampere o meno.

Il leakage è un importante parametro nelle applicazioni in corrente alternata, nelle applicazioni in cui il condensatore è elemento di "memoria" della carica elettrica, come integratori analogici o sample&hold, e nei circuiti ad alta impedenza, dove la **RL** diventa sensibile rispetto alle elevatissime resistenze di ingresso di circuiti MOS.

La corrente di perdita sale con il degenerare del dielettrico nel tempo e per il calore.

Assorbimento del dielettrico

DA (Dielectric Absorption - assorbimento del dielettrico) è l'incapacità del condensatore a scaricarsi completamente, fino allo zero. Ciò succede perché il dielettrico del condensatore conserva una carica.

Il modello per DA è una serie di reti RC in parallelo alla capacità di primaria, dove il RDA ha valore molto grande e CDA inferiore alla capacità nominale (il modello RC è utile per prevedere come si comporterà DA, non rispecchia esattamente la fisica sottostante, abbastanza complessa).

Tutti i condensatori hanno un certo assorbimento del dielettrico, ma, se questo diventa eccessivo, può influenzare il funzionamento del circuito, ad esempio in integratori di precisione e circuiti sample-and-hold.

Grandi condensatori ad alta tensione, con dielettrico in olio possono avere un DA molto alto, tanto da poter essere cortocircuitati per breve tempo e mantenere ancora abbastanza carica da essere pericolosi per l'utente (normalmente vengono spediti con i terminali in corto, che non deve essere rimosso fino a quando il componente è stato installato.)

La "memoria del condensatore" si riflette anche sui cavi ad alta tensione in olio, che hanno capacità distribuite elevate.

Un test standard prevede che il condensatore sia caricato per un certo tempo e quindi messo in cortocircuito. Dopo un certo tempo viene misurata la tensione residua. DA è espressa come rapporto tra la tensione residua e la tensione di carica, in percentuale (MIL-C-19978D).

DF

DF (dissipation Factor - Fattore di dissipazione), ha importanza nelle applicazioni dove il condensatore deve trattare correnti in alternata. E' il risultato di tre fattori di perdita: la resistenza delle parti conduttrici (fogli metallici, film, reofori), la resistenza di isolamento e le perdite dielettriche.

DF è uguale a ESR/X_c o, in altri termini, al rapporto tra i moduli delle correnti resistiva e reattiva ad una certa frequenza; è solitamente espresso in % o in rapporto all'unità (1% =0,01).

E' indicato anche come $\tan \delta$; quanto più è piccolo, tanto migliore è la qualità del condensatore. Infatti se ESR è elevato, anche DF ha un valore elevato e la qualità del condensatore è ridotta.

Trattando una componente reattiva (X_c) è dipendente dalla frequenza applicata, per cui un DF a 100 Hz sarà differente da quello a 10 kHz.

In realtà, questa è un'approssimazione che trascura la presenza della componente induttiva X_L , ma siccome questa è generalmente bassa, da risultati abbastanza reali.

DF, come la maggior parte dei parametri del condensatore, cambia con le ore di funzionamento e la temperatura.

e non solo...

Inoltre possiamo aggiungere altre considerazioni che sono fondamentali nelle applicazioni: il condensatore reale ha ulteriori parametri "limitanti", tra cui sono importanti:

- **la tensione di isolamento**
- **la corrente (o energia) trattabile**
- **Temperatura di impiego**
- **MTBF**

Tensione di isolamento: alle caratteristiche del dielettrico è da associare il fatto che esso, oltre ad una certa tensione, perde le sue caratteristiche di isolamento ed è perforato dal passaggio di una corrente, venendo in generale danneggiato. Ne deriva che i condensatori reali hanno un limite di tensione applicabile oltre la quale non è possibile andare, pena la distruzione del componente. Questa tensione dipende sia dalle caratteristiche dell' isolante, sia dalla tecnologia con

cui il condensatore è stato realizzato. Un errore nella scelta della tensione del condensatore rispetto a quella di lavoro porta alla distruzione del componente.



1. Va notato che la tensione massima sopportata dal dielettrico non è certo quella a cui si consiglia di far lavorare il condensatore. **La tensione di lavoro sarà minore**, in modo da dare un **sufficiente margine di sicurezza**. Anche tenuto conto che facendo lavorare il dielettrico al limite delle sue caratteristiche si accorcia la vita del condensatore.
2. Nel caso di applicazioni in corrente alternata, si deve ricordare che il **valore massimo della tensione applicata è quello di picco**, che è maggiore di quello efficace.

Capacità di corrente: questo parametro, poco considerato, indica quale corrente può gestire il condensatore.

Diventa fondamentale in circuiti di potenza in corrente alternata, come motori asincroni e rifasamento, dove il condensatore deve sopportare la corrente del carico, ma anche nel semplice filtraggio dopo raddrizzamento, sia in alimentatori da rete che in alimentatori switching; in questi, in particolare, con il crescere della frequenza applicata, il condensatore diventa un elemento molto critico. Comunque, dove il carico a valle del condensatore richiede allo stesso impulsi di corrente significativi, un condensatore non vale l' altro.

Un eccesso di corrente porta al riscaldamento ed alla distruzione del componente: va ricordato che la corrente fornita dal condensatore passa attraverso la sua ESR e quindi genera potenza attiva (calore) per effetto Joule. Se questo calore è eccessivo, la vita del condensatore si abbrevia drammaticamente, fino ad arrivare ad essere distrutto.

Solitamente la soluzione è quella di abbondare con il valore della capacità dei filtri, onde evitare che a picchi di consumo corrisponda una eccessiva riduzione della tensione, ma, dove si economizza, questo è un fatto comune. Anche in bassa frequenza si ottiene un taglio della potenza dell' amplificatore, con relativa distorsione.

Temperatura di impiego: normalmente i condensatori sono progettati per lavorare in certo range di temperatura. I più comuni sono:

- -40°C ~ 85°C
- -40°C ~ 105°C
- -55°C ~ 125°C

Se temperature molto basse sono possibili in apparecchiature che lavorano all' aperto, temperature elevate sono molto comuni in ogni genere di apparecchio anche domestico: la temperatura all' interno del case di un PC può arrivare a 40 °C e più; quella di un dispositivo installato su un veicolo supera facilmente i 60 °C. Se pensiamo che la temperatura ambiente, anche alle nostre latitudini, ha iniziato in estate a superare i 35 °C, vediamo che la temperatura interna di un apparecchio diventa un fattore di una certa importanza.

L' aumento della temperatura ha come risultato la riduzione della vita del componente e, nei casi estremi, la sua rottura, per gli elettrolitici con fuoriuscita del liquido e quindi conseguenti danni al circuito.

E, anche se spesso trascurato,

Invecchiamento, in quanto **il condensatore ha una "data di scadenza"**, almeno per i modelli con dielettrici fluidi. Questa "scadenza" è spesso indicata dal costruttore nei fogli dati sotto forma di ore di lavoro o **MTBF** (Medium Time Before Failure - tempo medio prima di un guasto). E questi tempi si riducono con l' aumento della temperatura a cui lavora il condensatore e la quantità di energia trattata dal componente.



Con l' **invecchiamento del dielettrico**, si ha in genere **una perdita della capacità, una riduzione della tensione di isolamento, un aumento dell' ESR e della corrente di perdita**, oltre alla possibilità di **fuoriuscita dei dielettrici liquidi**, il che può essere causa di danni ai circuiti stampati su cui sono installati.

E l' invecchiamento non è solo questione di ore lavorate, ma anche di anni e di condizioni di immagazzinamento.

Questa è una delle ragioni per cui **si sconsiglia di riutilizzare vecchi condensatori recuperati da surplus o apparati in disuso**, soprattutto se elettrolitici: è ben possibile che il "loro tempo" sia ampiamente scaduto e **il riutilizzo genera il rischio di un guasto nel breve termine**.

In genere condensatori al tantalio solido o ceramici o a film plastici sono decisamente più stabili col tempo, anche se spesso si hanno problemi in componenti "vecchi" a causa della non perfetta realizzazione degli involucri e dell' **impermeabilizzazione dei terminali**.

Quanto detto riguarda ogni genere di applicazioni, ma si può ricordare la presenza di **altre problematiche "minori"**, ovvero che interessano applicazioni più specifiche

Capacità vs frequenza, determinata dal materiale usato per il dielettrico e la tecnica di costruzione, fattore importante nel campo delle frequenze elevate.

Capacità vs dimensioni (o "rendimento volumetrico"), determinata principalmente dalla costante dielettrica K del materiale isolante e dal rapporto tra spessori, tensione applicata, tecnica costruttiva. Per un certo dielettrico le dimensioni tendono a variare secondo il quadrato della tensione nominale. In generale, ridurre il volume di un condensatore richiede un miglioramento della tecnologia costruttiva, che può tradursi in un aumento di costo.

Capacità vs temperatura, normalmente dato ppm/°C o °K. Ogni dielettrico ha una diversa risposta alla variazione della temperatura e questo fatto è indicato commercialmente con una serie di cifre. Ad esempio, un condensatore C0G potrà avere una variazione di +/-15 ppm/C o migliore per **C0G**; un elettrolitico o alcuni film plastici hanno variazione centinaia di volte superiori. La deriva di temperatura per un determinato dielettrico può variare da un produttore ad un

altro; se questo parametro è importante (ad esempio in circuiti di temporizzazione), occorrerà verificare i fogli dati del prodotto.

E' ovvio che circuiti oscillatori, temporizzatori, filtri, apparati radio e simili, richiedono la massima stabilità della capacità in funzione della temperatura. Installare elementi non stabili sarà causa di malfunzionamento del progetto non appena la temperatura varierà rispetto a quella del laboratorio.

Capacità vs tensione, dato che il valore della capacità può variare a seconda della tensione applicata, in dipendenza del tipo di dielettrico usato.

Rumore: alcune tecnologie costruttive non sono adeguate all' impiego in strumentazione o audio di qualità data la tendenza, principalmente dovuta al leakage, di produrre rumore elettrico che verrebbe amplificato dagli stadi successivi. Tra l' altro, alcuni tipi soffrono di microfonicità.

Ovviamente, nella scelta dei condensatori dei primi stadi di amplificatori di ogni genere e strumentazione andranno evitati condensatori che siano causa di rumore, il quale, amplificato dagli stadi successivi, renderà pessima la risposta dell' apparecchiatura.

Package. Sono disponibili centinaia e centinaia di formati meccanici, da grossi cilindri dei condensatori elettrolitici "computer grade" ai canestri metallici degli elementi di rifasamento ai microscopici elementi SMD. Non è secondario considerare che i dettagli costruttivi possono avere un impatto significativo su prestazioni e affidabilità. Ad esclusione dei condensatori in aria, gli altri richiedono di essere a tenuta stagna rispetto all' aria e principalmente all'umidità e agli inquinanti atmosferici, per evitare la degradazione o contaminazione del dielettrico e la corrosione dei metalli delle placche. Ad esempio, i condensatori di grado militare possono essere chiuse ermeticamente in gusci di metallo e vetro proprio per queste ragioni.

Per i modelli commerciali, il problema principale è il rendere impermeabile l' ingresso dei reofori, cosa che si cerca di fare al meglio racchiudendo il condensatore vero e proprio in packages in plastica, riempiti di resina epossidica oppure direttamente colati in plastiche.

Da questo deriva la necessità di una certa attenzione nel maneggiare e deformare i terminali, in quanto l' apertura di anche microscopiche crepe nel guscio protettivo porterebbe all'assorbimento di umidità da parte del dielettrico e al decadere delle caratteristiche del condensatore.

Anche negli elettrolitici, non è possibile forzare i terminali, pena la successiva fuoriuscita dell' elettrolitico

Alcune tecnologie costruttive recenti (multistrato ceramico), sono particolarmente adatte al montaggio superficiale, dando origine a componenti di elevate caratteristiche (e anche capacità), ma di dimensioni minuscole (a scapito della tensione di lavoro, però, è piuttosto bassa).

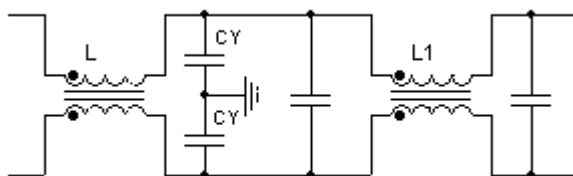
Altre tecnologie, come polistirene, polipropilene, alluminio e, in generale, film avvolti, tendono ad originare packages cilindrici o comunque necessitanti di pin anche nelle versioni SMD, in quanto abbastanza sensibili al calore in fase di saldatura.

Affidabilità e durata di vita prevista sono di particolare importanza nelle applicazioni ad alta temperatura, alta corrente o ad alta tensione. Alta affidabilità si ottiene con tecnologie costruttive particolari e questo origina di conseguenza un aumento di costi. Quindi, condensatori low cost, previsti per applicazioni non critiche, commerciali a basso livello, possono mostrare problemi di affidabilità, principalmente ove si cerchi di impiegarli in ambienti gravosi o ci si aspettino lunghe durate nel tempo.

Per ultimo ricordiamo che in alcune applicazioni sono richiesti **condensatori che abbiano particolari caratteristiche di dielettrico, principalmente per ragioni di sicurezza** elettrica.

Si tratta dei noti condensatori **Y-cap** e **X-cap**, appositamente progettati per essere collegati sulla rete elettrica dove svolgono funzione di riduzione dei disturbi elettromagnetici.

I **condensatori X** (in varie sotto classi X1-X3) sono costruiti per essere collegati tra le fasi, mentre i **condensatori Y** (Y1- Y4) sono pensati per il collegamento tra una fase e la terra.



A lato lo schema di un tipico filtro EMI che si può trovare all' ingresso di una comune apparecchiatura elettronica domestica, dall' amplificatore BF al PC.

Si tratta di **filtri LC**, molto efficaci nell'ostacolare il transito di componenti a frequenze elevate, come quelle prodotte dagli alimentatori switch-mode.

In particolare i Cy scaricano a terra queste componenti.

L' uso di induttanze, che per definizione dovrebbero avere resistenze nulle (o quasi) riduce la caduta di tensione e le conseguenti perdite per effetto Joule. Nelle posizioni indicate non è possibile usare i normali condensatori per motivi di sicurezza; infatti è evidente che l' andata in corto circuito dei condensatori creerebbe situazioni di pericolo per l' utente (collegamento delle parti metalliche ad un polo della rete), con pericolo di fulminazione e di grave guasto per l' apparecchiatura e la rete a cui è collegata (cortocircuito tra i poli di rete), con pericolo di incendio.



A lato un 4700 pF per uso su rete alternata a 230V.

Elementi X e Y sono facilmente distinguibili per l' **ampia serie di certificazioni impresse sul corpo del componente.**

L' importanza della scelta di questi elementi per la sicurezza è tale da far parte di normative internazionali e UE (EN132400-IEC384-14, EN60950-IEC950, ecc).

Se occorre sostituirli in un apparecchio, è **obbligatorio** usare condensatori dello stesso tipo e valore; **l' impiego di componenti non ammessi dalle norme costituisce colpa grave nel caso in cui si verificassero incidenti dovuti al danneggiamento di questi elementi.**

E si potrebbe proseguire a lungo, considerando i condensatori per alte frequenze, quelli utilizzati per i motori in ca, i supercap, ecc.

Un ulteriore cenno si può fare a riguardo della **tolleranza rispetto al valore nominale**.

I condensatori non sono componenti di precisione, soprattutto se confrontati con le resistenze. Se resistori allo 0.1% sono comuni e elementi allo 0.01% si possono acquistare online dai cataloghi dei distributori principali, altrettanto non si può dire dei condensatori: un elemento con una tolleranza del 5% è considerato di precisione. Normalmente un elettrolitico ha una tolleranza del 20%, ma può avere anche un range molto maggiore.

Normalmente si identificano alcune classi di precisione con una lettera nella sigla del componente:

- **J** 5%
- **K** 10%
- **M** 20%.

Commercialmente elementi all' 1% si possono reperire presso alcuni costruttori, con costi elevati, mentre precisioni maggiori sono riservate ad elementi da laboratorio, con costi stratosferici.

Questi margini ampi sui valori nominali rende necessario l' impiego di resistenze variabili in molti circuiti RC per regolare con precisione la costante di tempo.

In circuiti del genere, legati al tempo, come temporizzazioni, clock, monostabili, generazione di impulsi, s&h, ecc., la tolleranza, in concomitanza con la variazione rispetto alla temperatura, diventa il fattore primario rispetto ad altri. Dielettrico in mica, mica/argento, polistirene, polipropilene, teflon, vetro e, in genere, i componenti non polarizzati, hanno solitamente caratteristiche di stabilità elevate.

Come ultima nota è da notare che, come in qualsiasi altra area merceologica, esistono costruttori seri e meno serie. In questo ambito particolare, sul WEB è possibile recuperare liste di produttori di "**bad cap**", ovvero di condensatori di qualità scadente. Si tratta certamente di prodotti a costo molto basso, ma in cui viene sacrificata la qualità. Ne deriva una vita molto ridotta del componente, una tensione di lavoro minore di quella dichiarata, ampie variazioni sulla tolleranza del valore capacitivo, elevata ESR.

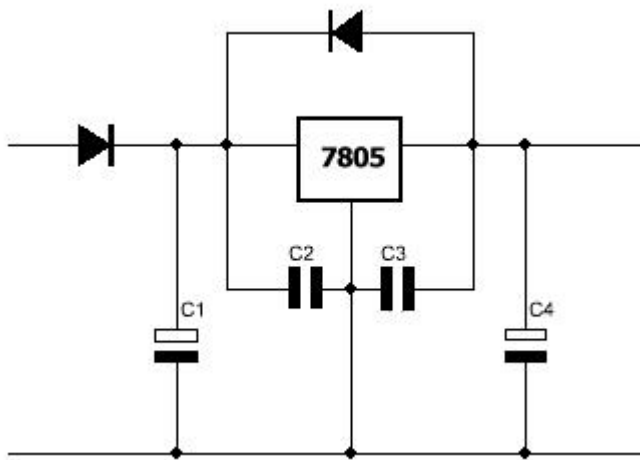
Apparecchi che utilizzano questo componenti saranno soggetti a guasti.

Uguali, ma non proprio

Dunque, l' affermare che tutti i condensatori sono uguali non è certamente corretto.

Si può, però, ritenere che **nell' ambito ristretto di una applicazione consumer** questo sia vero?

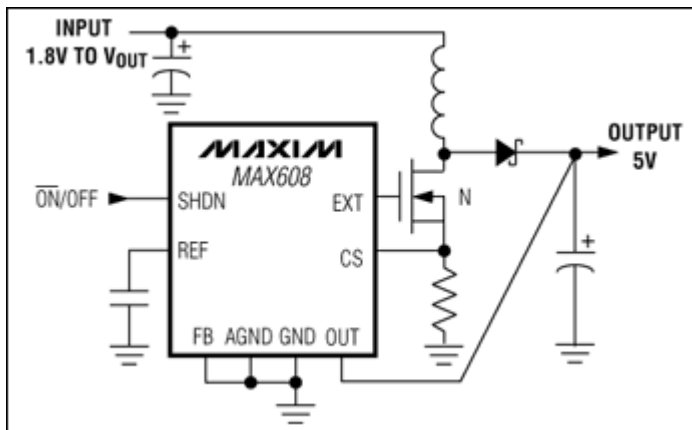
Certamente sì, se l' applicazione manca di qualunque criticità e/o ci si accontenta di un certo livello di prestazioni.



Ad esempio, il classico regolatore lineare a tre terminali richiede un numero minimo di parti e, date le sue caratteristiche, non pretende dai condensatori altro che la capacità di sostenere i picchi di corrente del ripple del raddrizzamento e dei transistori del carico.

Normali elementi elettrolitici in alluminio per C1 e C4 e multistrato ceramici per C2 e C3 saranno la scelta ottimale.

Se però il circuito lavorerà in un contenitore chiuso o in un ambiente caldo, la scelta di elettrolitici senza dato di temperatura non sarà certo la migliore.



E, in un circuito come quello a lato, l' uso di comuni elettrolitici in alluminio per i condensatori di ingresso e di uscita porta ad un pessimo funzionamento del circuito.

Il foglio dati del componente, se letto, infatti consiglierà l' **impiego di elementi a bassissimo ESR**, pena un aumento inaccettabile del ripple ed una riduzione del rendimento, con relativo riscaldamento delle parti.

Ovviamente nessuno si dovrebbe sognare di sostituire il condensatore di avviamento di un motore con un elemento inadeguato o cambiare in un filtro di rete un Y-class con un poliestere qualsiasi. O, ancora, usare per un flash un condensatore in alluminio genere consumer.

E dovrebbe essere chiaro che impiegare condensatori con elevata tolleranza in un filtro non è l' ideale o inserire elementi a bassa stabilità con la temperatura in un generatore di clock o in un oscillatore è il modo migliore per rendersi difficile l' esistenza.

Ovvero, applicazioni in condizioni diverse da una "corrente continua" o da circuiti con basse frequenze, a parte casi particolari, costituiscono **esistono situazioni "generiche"** in cui il condensatore è elemento necessario, ma non critico.

Ma in altre applicazioni, in cui il condensatore è elemento essenziale e le cui caratteristiche sono fondamentali e critiche, **non tutti i condensatori sono uguali.**

Se ci soffermiamo sul tema delle applicazioni considerate "non critiche" sono, però, da rivedere alcune posizioni.

1. "Se sostituiamo nel raddrizzamento dopo il ponte il condensatore X da 1000 uF con 10 condensatori Z da 100 uF la qualità dell' audio migliora". Vero o falso?

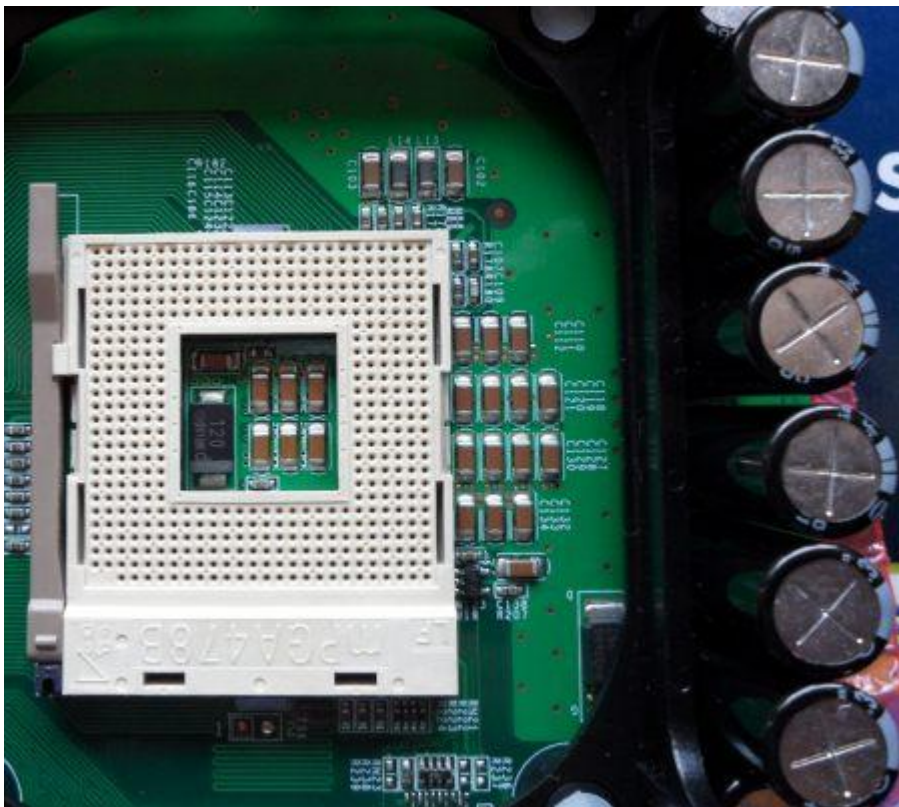
Certamente un condensatore da 1000 uF equivale in capacità a 10 elementi da 100 uF in parallelo, ammesso che abbiano una analoga tolleranza nel valore nominale. Quindi, se ne deduce che l' una o l' altra soluzione siano equivalenti e che, anzi, i 10 in parallelo siano almeno una idea bizzarra.

Va da se che supporre incompetenti o bizzarri i progettisti che adottano cose del genere dell' immagine a lato sia piuttosto azzardato.

Vediamo infatti numerosi elementi SMD in parallelo per il core della CPU socket 775. E altrettanto numerosi elettrolitici in parallelo per l' alimentazione dal VRM on board.

Le ragioni di queste configurazioni apparentemente strane ci sono, tanto che panorami del genere si possono trovare in tutte le schede elettroniche in cui ci sono forti consumi di corrente.

Il condensatore reale non è "solo" capacità, ma esibisce anche una ESR (e una ESL). La quale dipende dalle caratteristiche costruttive del condensatore.



Ponendo gli elementi in parallelo, si mettono in parallelo anche le relative ESR e un parallelo di resistenze da origine ad una resistenza equivalente di valore inferiore ! E altrettanto si potrà dire per le correnti di ripple, che sarà la somma di quelle dei singoli elementi.

Capacità	ESR [ohm]	Corrente di ripple [mA]	Modo	Capacità totale]	ESR [ohm]	Corrente di ripple [mA]
1000 uF	2	1750	condensatore singolo	1000 uF	2	1750

100 uF	2	300	10 in parallelo	1000 uF	0,2	3000
--------	---	-----	-----------------	---------	-----	------

Questa è ovviamente una grossa semplificazione, ma certamente non lontana dal vero. Ne risulta che la funzione di "livellamento", ovvero di resa dell' energia (accumulata durante i picchi della tensione raddrizzata) nei momenti di non conduzione dei diodi è amplificata sia dalla riduzione dell' ESR, sia dall' aumento della corrente di picco prelevabile.

Questo diventa **fondamentale nel caso di alimentatori switch mode**, dove le frequenze sono elevate, dell' ordine di decine o centinaia di kHz. E questo dovrebbe essere facilmente compreso.

Ma anche per un semplice raddrizzatore di rete può essere un toccasana, **quando il condensatore originale è sotto dimensionato** rispetto alle esigenze del circuito. Qui, l' elemento singolo non riesce a fornire la corrente nei picchi di consumo e di conseguenza la tensione cade, portando in funzionamento anormale l' amplificatore, ma l' array di più elementi in parallelo offre ESR/ESL minori e più capacità di corrente di picco e risolve la situazione. Fatto ancor più evidente quando il singolo è un elemento low cost-low quality e i sostituti sono dei componenti di marca di buona qualità.

In questi termini, quindi, se usare più elementi in parallelo in un circuito in cui il singolo elemento è stato dimensionato correttamente non è certo una scelta utile, per contro la sostituzione di un solo **elemento inadatto** a quel punto del circuito con un parallelo di elementi che forniscano prestazioni migliori, può non essere una idea così campata in aria.

2. "Sostituendo i condensatori originali con altri di marca ZX, la qualità dell' audio migliora". Vero o falso?

Se partiamo dal presupposto che la differenza tra il condensatore di capacità n della marca Y e quello della marca X della stessa capacità sia solo il colore della guaina di isolamento del corpo cilindrico, commettiamo una grande leggerezza, che, di nuovo, indica che si stanno trascurando le informazioni fino ad ora fornite.

Per quanto riguarda i condensatori **non elettrolitici**, per un uso in bassa frequenza si può affermare che, parlando di elementi nuovi di marche note, le differenze per quanto riguarda le caratteristiche essenziali sono minime e possono essere, entro certi limiti, **trascurate**. Ad esempio, la corrente di leakage nei piccoli condensatori è molto bassa, indipendentemente dal dielettrico usato. Così pure ESR e ESL sono trascurabili nella maggior parte delle applicazioni audio o comunque a bassa frequenza.

Diversa può essere la situazione per i condensatori elettrolitici.

Certamente se prendiamo ad esempio alcuni modelli di elettrolitici in alluminio, 1000 uF/ 50 V:

Modello	ESR	Iripple	MTBF
----------------	------------	----------------	-------------

	[ohm]	[mA]	[h]
costruttore 1	0.039	1750	10000
costruttore 2	0.09	1399	5000
costruttore 3	nd	950	2000
costruttore 3	0.016	3320	10000
costruttore 4	0.039	1800	4000
costruttore 4	0.16	1030	4000

Possiamo vedere immediatamente che questi condensatori, **al di là della capacità** e pur all' interno di una sola tecnologia, **NON sono per niente uguali tra di loro** .

La lista qui sopra **NON è una comparazione per marchi**, ma semplicemente si tratta di elementi presi a caso dai cataloghi e riportati con il solo scopo di far comprendere come condensatori di pari valore capacitivo, ma di serie o produttori diversi, **NON sono la stessa cosa** dal punto di vista delle altre caratteristiche.

Per confermare, se prendiamo anche un solo costruttore in grado di fornire una ampia gamma di prodotti, troviamo che la situazione è analoga: **i condensatori NON sono uguali, anche se la loro capacità è la stessa**. Ad esempio, alcuni dei moltissimi modelli di elettrolitici da **100 uF-16V** del vastissimo catalogo catalogo [Panasonic](#)

Modello	Temp	ESR [mOhm]	Iripple [mA]	MTBF [h]
ECA-1CM101B	-40°C ~ 85°C	nd	180	2000
ECE-V1CA101WP		nd	70	1000
ECE-V1CA101P		nd	200	2000
EEU-FC1C101	-55°C ~ 105°C	350	290	1000
EEU-FR1C101		300	280	2000
ECE-A1CKG101		1200	190	1000
EEE-FP1C101AP		260	300	2000
EEF-WA1C101P		39	2500	2000
EEE-FPC101XAP		160	600	2000
EEV-HD1C101P	-40°C ~ 105°C	1500	89	5000
EEE-TP1C101AP	-40°C ~ 125°C	200	270	3000

Di nuovo, a pari capacità, perfino **un singolo costruttore offre diversi modelli con diverse prestazioni, evidentemente mirati a diverse applicazioni**.

Risaltano in particolar modo tre elementi:

- l' ESR

- la corrente di ripple
- e la vita del componente

Tra un condensatore in grado di erogare 89 mA e uno che ne può fornire 2500, o tra un elemento con ESR di 39 di milliohm ed uno con ESR non dichiarata, è ovvio che qualche differenza nell' impiego pratico ci sarà pure, anche se la capacità di targa è identica. E stiamo parlando semplicemente di un solo produttore, il quale offre una gamma molto ampia di prodotti, evidentemente destinati ad impieghi molto vari e che si possono considerare come intercambiabili solo in applicazioni poco impegnative.

Ma anche in una applicazione a criticità "bassa" o ridotta, come un amplificatore audio, in cui le frequenze trattate sono limitate alle decine di kHz, l' aggiunta di ESR sostanziose o di correnti di leakage elevate deforma i risultati della progettazione, mentre nei sistemi di raddrizzamento degli alimentatori una disponibilità maggiore di corrente consente di impegnare capacità minori. Ed è da ricordare anche come la progettazione "sparagnina" e l' implementazione pratica con componenti low-cost/low-quality si può far sentire anche in bassa frequenza e sia la principale causa di ogni problema.

Senza contare che l' uso di "**bad cap**" rischia di ridurre drasticamente la vita dell' apparecchiatura, se non di provocare danni maggiori.

Dunque, che il colore della guaina di isolamento sia diverso tra costruttore e costruttore è sensato, ma che questa sia la sola differenza tra un condensatore e un' altro, non è per niente vero.



E' bene ricordare che gli esempi portati riguardano costruttori primari, che dettano le caratteristiche dei loro prodotti in **fogli dati facilmente reperibili**.

Però il mercato comprende anche costruttori con prodotti a basso costo e, spesso, di fascia molto bassa. Qui la consultazione dei fogli dati è difficile se non impossibile e stabilire con esattezza la qualità del componente non è normalmente possibile. In questi casi solitamente basta sostituire il condensatore "ignoto" con uno di buona marca, pur senza ricercare i vertici delle caratteristiche, per ottenere un immediato miglioramento della situazione del circuito. (A questo proposito è possibile reperire sul WEB liste di "**Bad Cap manufacturers**").

3. *"I condensatori usati nei sistemi audio non richiedono particolari specifiche"*. Vero o falso?

Degli elettrolitici utilizzati sulle alimentazioni abbiamo detto. Ma un pre amplificatore, un filtro, un amplificatore impiegano elettrolitici anche per funzioni diverse da quelle relative all' alimentazione, oltre ad un consistente numero di condensatori non polarizzati.

I relazione a questo sono stati fatti numerosi studi e ricerche (ved. anche link a fondo pagina) e sono state evidenziate varie considerazioni.

Però, attorno al campo dell' hi-fi fioriscono leggende e superstizioni anche molto

grossolane, alimentate da una parte dalla scarsa onestà di certi commercianti e dall'altra dall'approccio patologico di troppi utenti.

Quindi, sicuramente, siamo ben lontani dal sostenere che occorra usare il condensatore MegaXYcap o ExtraYZcap (ovviamente venduto a carissimo prezzo!!!) che costituisce la panacea universale per qualsiasi progetto, anche il più scalcagnato o malamente eseguito. Questa è realmente fuffa (se non truffa). E va pur detto che la distorsione o il rumore dovuto ai condensatori è generalmente basso o molto basso, spesso al di sotto di quello prodotto da molti componenti attivi non specializzati o al cablaggio non ottimale.

Nonostante ciò, si potrà rilevare con facilità che progetti audio di alta qualità impiegano condensatori scelti e non il primo elemento che capita tra le mani. Esistono varie ragioni che guidano i progettisti che tendono alla maggiore perfezione dei loro progetti. Ad esempio, i condensatori ceramici possono essere soggetti ad effetto microfonico, con le ovvie conseguenze negative. Altre tecnologie introducono una distorsione dovuta all'assorbimento del dielettrico, mentre altre danno origine a condensatori induttivi già a frequenze audio e/o con ESR elevate. Se negli stadi di iniziali di amplificazione, ad alto guadagno e alte impedenze, si consiglia di usare resistenze a strato metallico, perchè sorgenti di rumore minori di quelle in carbone, altrettanto si potrà dire dei condensatori, la cui scelta dovrà cadere su componenti a basso leakage e basso DF.

Conclusioni

Con quanto detto non si vuole dare ragione a chi, per pura attività imbonitoria **in mala fede**, proponga questo o quel componente come soluzione di tutti i mali. E neanche spingere all'uso di **OS-CON o low-ESR** in ogni possibile applicazione, perchè questo può non essere minimamente necessario per quel dato progetto, mentre comporta un aggravio ingiustificato del costo..

Semplicemente si desidererebbe che sia il progettista che l'hobbista, e anche l'utente finale, non si basi su dogmi o sentito dire, ma su ragionamenti critici dovuti ad una corretta conoscenza dell'elettronica e delle tecnologie che la supportano.

Dunque, occorre avere presente che:

1. **I condensatori NON sono tutti uguali**, neppure se fanno parte della stessa famiglia di tecnologia produttiva. Tanto meno se sono realizzati in tecnologie diverse.
2. Sicuramente, **in applicazioni generiche e non soggette a particolari condizioni** (di frequenza, corrente, temperatura, tensione, ecc.), la scelta di un modello piuttosto che di un'altro è abbastanza indifferente. Ma **dove si presentano condizioni critiche**, la scelta di un tipo di condensatore può fare la differenza tra un progetto ben riuscito ed uno difettoso.

3. In particolare, **il condensatore, per la funzione che svolge nel circuito, non è un componente sostituibile semplicemente in base alla capacità ed alla tensione di lavoro, ma va scelto a seconda dello scopo a cui è destinato.**
4. Considerare che la pratica del **recupero dei componenti** da apparecchiature surplus o fuori uso, adottata da tutti gli hobbisti per ridurre i costi, per i condensatori deve essere attuata con le opportune cautele. Principalmente perchè, come abbiamo detto, il condensatore ha **una vita limitata** e, superato un certo monte ore di lavoro, **le sue caratteristiche degradano**. Inoltre, le operazioni di dissaldatura e saldatura possono avere riflessi maggiori sui condensatori che non su resistenze o bobine, proprio per la natura del componente e le sue caratteristiche costruttive.

Link

Un breve elenco di alcuni **siti con informazioni** di interesse generale:

- [Condensatore - Wikipedia](#)
- [Caratteristiche dei condensatori](#)
- [Elettronica per tutti. "I Condensatori" 1° Parte - YouTube](#)
- [Elettronica per tutti. "I Condensatori" 2° Parte - YouTube](#)
- [Capacitor ESR](#)
- [Capsite](#), informazioni varie
- [Faradnet](#), , informazioni varie
- Understand Capacitor to Optimize Analog Systems, Bob Pease, [National Semiconductor](#)
- Characteristics of Capacitors, [Murata](#)
- Improved Spice Models of Aluminum Electrolytic Capacitors, [Cornell Dubilier](#)
- [Self resonant frequency of a capacitor](#)
- [Bad cap manufacturers](#)
- [Capacitor Replacement Tutorial - YouTube](#)

Ed un elenco di **alcuni** dei principali **costruttori di condensatori**, che spesso fornisco interessanti informazioni:

- [Aerovox](#)
- [Arcotronics](#)
- [ASC](#)
- [ATC](#)
- [Evovox Rifa](#)
- [GE](#)
- [Icar](#)
- [Icel](#)
- [Rhom](#)
- [Richey Capacitor](#)
- [Richco](#)
- [Rubycon](#)

- [AVX](#)
- [Barker Microfarads](#)
- [Bourns](#)
- [CAP-XX](#)
- [Comar](#)
- [Conis](#)
- [Cornell Dubilier](#)
- [Dearborn](#)
- [Ducati](#)
- [Eichhoff](#)
- [Elna America.](#)
- [EPCOS](#)
- [Eurofarad](#)
- [Evans Capacitor](#)
- [Illinois Capacitor](#)
- [Italfarad](#)
- [Johanson](#)
- [Kemet](#)
- [Meritek Electronics.](#)
- [NEC](#)
- [Neutral](#)
- [NIC Components](#)
- [Nichicon](#)
- [Nippon Chemi](#)
- [Nova](#)
- [NTE](#)
- [Panasonic Industrial](#)
- [Pro-An Electronic](#)
- [SAR](#)
- [Sanyo](#)
- [Sic-safco](#)
- [Syfer Technology](#)
- [Surge Comp.](#)
- [Tayo Yuden](#)
- [TDK](#)
- [United ChemiCon](#)
- [Vishay](#)
- [Voltronics](#)
- [Yageo](#)
- [Wima](#)