



**COSTRUZIONI ELETTRICO-MECCANICHE**

# **APPLICAZIONE DELLA TECNOLOGIA LED NEGLI IMPINATI SERIE PER LA PUBBLICA ILLUMINAZIONE**

(di Alberto Orrea - C.E.M. srl)

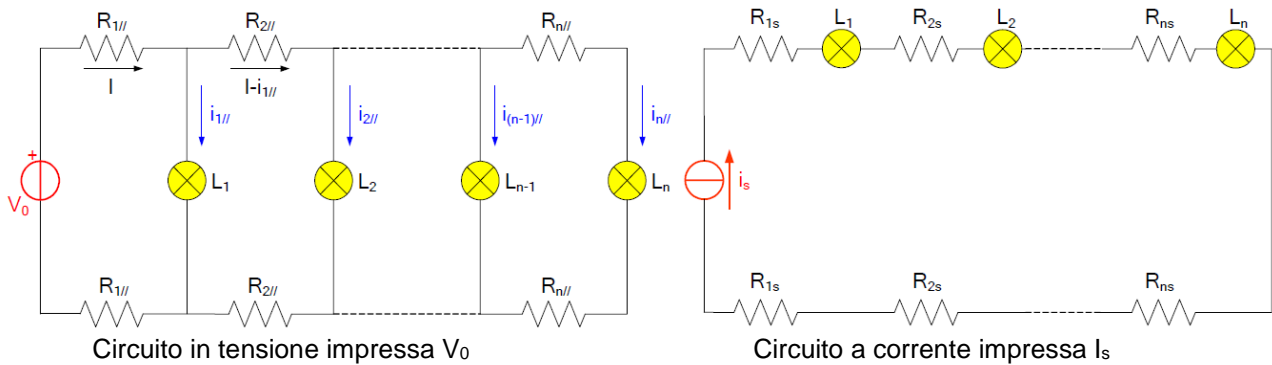


**INDICE**

Introduzione	pag. 3
La storia dell'illuminazione pubblica	pag. 3
Il sistema serie per l'illuminazione pubblica	pag. 6
Analisi della composizione di un impianto serie per la pubblica illuminazione	pag. 7
Alimentazione a corrente costante con trasformatore regolatore a bobina mobile	pag. 8
Sistemi di alimentazione statici a risonanza	pag. 9
I nuovi regolatori elettronici	pag. 11
Analisi del sistema alimentatore serie-corpo illuminante in base alle tecnologie di illuminazione applicate	pag. 13
Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada ad incandescenza	Pag. 13
Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada a scarica	Pag. 13
Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada a LED	Pag. 15
Conclusioni	pag. 24
Bibliografia	pag. 25

## INTRODUZIONE

Fino agli anni '60 l'illuminazione pubblica in Italia vedeva la contemporanea presenza di due tipologie di impianto: gli impianti a corrente impressa (detti anche in serie)<sup>(1)</sup> e gli impianti a tensione impressa (detti anche in derivazione). I primi dominavano la scena delle grandi città mentre i secondi erano tipici dei piccoli centri urbani.



Verso gli anni '60 iniziò un processo, che sembrava irreversibile, di progressiva conversione degli impianti in serie in impianti in derivazione con conseguente declino e scomparsa dei primi, salvo per alcune applicazioni particolari come nel caso dell'illuminazione delle piste aeroportuali.

Negli anni 90 fino ai primi anni 2000 si è registrato invece un fenomeno di "ricomparsa" degli impianti in serie, anche se in modo non ancora diffuso.

Dal 2010 ad oggi, con l'avvento della tecnologia Led, sembra che sia ripreso tale processo di conversione degli impianti in serie in impianti in derivazione anche se la stessa tecnologia Led potrebbe dare un nuovo slancio per la riqualificazione dei primi.

In questa breve relazione, dopo avere esposto le varie tecnologie di illuminazione e le loro caratteristiche, si analizzeranno le varie possibilità che potrebbero permettere l'applicazione della tecnologia Led negli impianti serie.

## LA STORIA DELL'ILLUMINAZIONE PUBBLICA

L'illuminazione pubblica in Italia fa capolino ancora nel 18° secolo con la lampada a gas che condiziona fin dall'inizio le tipologie delle lanterne e dei sostegni, dovendo assicurare la facile e frequente accessibilità al becco a gas da parte degli addetti: vengono utilizzati corti bracci a muro e candelabri, entrambi posti ad altezze modeste.



La comparsa della lampada elettrica ad arco (anni 1850)<sup>(1)</sup> non modifica sostanzialmente le caratteristiche dell'illuminazione data la vita limitata dei carboni e la necessità di frequenti sostituzioni. Con la lampada in filamento (1878 Swann, 1879 Edison), dapprima a carbone e poi metallico (1905), la configurazione degli impianti ricalca inizialmente le tipologie del gas, ma lo sviluppo tecnologico delle sorgenti introduce una vera rivoluzione che consente, indipendentemente dal sistema di alimentazione prescelto (in corrente continua o

in corrente alternata) una più ampia libertà di manovra nelle altezze di installazione, nella posizione degli apparecchi (anche in asse stradale) e nelle tipologie di lanterne, data la relativa indifferenza della posizione della lampada rispetto a quella della lanterna. Tutto ciò con grande beneficio anche in termini di qualità dell'illuminazione (migliore uniformità) e nel fattore di utilizzazione (miglior controllo della luce utilizzata rispetto a quella prodotta).

Appare subito evidente un'altra circostanza, di natura squisitamente elettrotecnica: la singolare tipologia del carico per illuminazione pubblica: si tratta infatti di alimentare sottoinsiemi di carichi, in numero elevato, tutti identici tra loro e sostanzialmente equidistanziati, inseriti e disinseriti dalla rete con lo stesso orario. L'illuminazione pubblica si presenta dunque come una eccezionale occasione per sperimentare entrambi i sistemi classici di alimentazione trattati nei testi di elettrotecnica: quello a corrente impressa e quello a tensione impressa. La stessa possibilità di scelta non si pone certo per l'illuminazione di interni o, più in generale, per la distribuzione di energia elettrica in ambienti interni o industriali, laddove la scelta del sistema a tensione impressa appare obbligata dalla grande varietà di carichi e di potenze e, naturalmente, dallo scenario altrettanto diversificato dei diagrammi di carico.

Come accennato precedentemente lo sviluppo delle tecnologie nell'illuminazione ha comportato la necessità dell'adeguamento degli impianti sia in serie sia in derivazione.

La sequenza delle tecnologie applicate alle lampade per l'illuminazione stradale è costituita sostanzialmente da quattro passaggi:

#### 1. Lampada elettrica ad arco (1850 ÷ 1878)

La lampada ad arco è un dispositivo di illuminazione basato sull'emissione luminosa di un arco voltaico. Si può considerare una particolare forma della lampada a scarica in aria atmosferica, dove in questo caso avviene una vera e propria scarica elettrica.

Le prime dimostrazioni di principio si hanno a partire dall'inizio del XIX secolo da parte del chimico Humphry Davy. Queste lampade sono state utilizzate per l'illuminazione pubblica nella seconda metà dell'Ottocento e nei potenti proiettori in uso fino alla seconda guerra mondiale, poi tranne qualche rara eccezione, venne soppiantata prima dalla lampada ad incandescenza e successivamente dalla lampada a scarica. Tra il 1900 e il 1918 le lampade ad arco mantennero posizione per le grandi potenze, mentre vennero via via sostituite da lampade a filamento metallico per le piccole potenze.

Le lampade ad arco presentavano uno spettro di emissione prossimo a quello solare e, a seconda del tipo di elettrodi, potevano dare efficienze luminose di 20 ÷ 30 lumen/Watt. L'accensione avveniva avvicinando gli elettrodi e, in corrente alternata, necessitavano di una bobina di stabilizzazione posta in derivazione all'arco, la quale assorbiva una corrente dell'ordine del 10 % di quella della lampada. La durata di vita degli elettrodi era molto limitata, dell'ordine di una decina d'ore. Attualmente la tecnologia è ritornata in uso, ma con l'ausilio del gas xeno.

#### 2. Lampada elettrica a filamento (detta anche ad incandescenza) (1878 ÷ 1950)

L'invenzione della lampadina ad incandescenza è attribuita a Thomas Edison, che nel 1878 riuscì a costruirne un modello sufficientemente durevole. Era costituita da un bulbo di vetro in cui era stato praticato il vuoto, al cui interno era contenuto un filo di cotone carbonizzato attraversato da corrente elettrica. Bisogna dire che molti inventori stavano lavorando all'idea, tra i quali vi erano il torinese Alessandro Cruto e l'americano Joseph Swan. Il problema di questi primi modelli era la rapida distruzione del filamento.

La lampada ad incandescenza è una sorgente luminosa in cui la luce viene prodotta dal riscaldamento (fino a circa 2700 K) di un filamento di tungsteno attraverso cui passa la corrente elettrica. Durante il funzionamento il tungsteno evapora, e il filamento diventa sempre più sottile, fino a spezzarsi dopo circa 1000 ore di funzionamento.

Poiché il filamento della lampada è destinato a consumarsi nel tempo, aumentando in tal modo la propria resistenza, apparve subito chiaro un ulteriore vantaggio della corrente impressa rispetto alla tensione impressa: nel primo caso infatti, la costanza della corrente produce un aumento della potenza della lampada all'aumentare della resistenza e quindi un leggero aumento del flusso luminoso nel tempo. Oltre che in calore l'energia viene convertita in luce in una misura compresa tra il 5 e il 10% con una efficienza luminosa che varia dai 10 ai 20 lumen/Watt.

Una variante di lampada ad incandescenza è la lampada alogena.

La lampadina alogena è una particolare lampada ad incandescenza, ma ci sono alcune fondamentali caratteristiche che differenziano i due prodotti. Al gas contenuto nel bulbo viene aggiunto iodio, kripton, e, a volte, xeno per permettere il riscaldamento del filamento fino a oltre 3000 K, in modo da aumentare l'efficienza luminosa e spostare verso l'alto la temperatura di colore.

Il rendimento luminoso di una lampada alogena, grazie alla luce più bianca rispetto ad una lampadina tradizionale, è del 50-100% superiore rispetto a questa, mentre la vita utile varia da 2000 a 6000 ore.

### 3. Lampada elettrica a scarica nei gas (1950 ÷ oggi)

Nelle lampade a scarica la luce viene prodotta da un gas ionizzato per effetto di una scarica elettrica. Sono tipicamente costituite da un tubo di vetro o quarzo al cui interno è presente un particolare gas o vapore (es. di sodio o di mercurio), alle cui estremità sono collocati due elettrodi. Una opportuna differenza di potenziale provoca la formazione un arco di plasma nel gas. L'emissione avviene in corrispondenza delle righe di assorbimento tipiche del gas impiegato. Per esempio, nelle lampade al sodio a bassa pressione l'emissione è pressoché monocromatica gialla. Più spesso la luce è prodotta per fluorescenza, come nelle comuni lampade fluorescenti, erroneamente chiamate tubi al neon, anche se il neon in realtà non è alla base del funzionamento. In queste lampadine la scarica avviene in vapore di mercurio, prevalentemente nello spettro ultravioletto. Sulla superficie interna del tubo è depositato un materiale fluorescente che assorbe l'energia dei raggi ultravioletti e la riemette nel campo della luce visibile. La scarica nei gas è stata realizzata prima della lampadina ad incandescenza, ma l'utilizzo del fenomeno nelle lampadine si è avuto nella prima metà del novecento comportando il suo utilizzo in modo preponderante nella seconda metà del novecento.

La vita utile varia dalle 6000 alle 12000 ore con una efficienza luminosa che varia dai 65 ai 200 lumen/Watt.

### 4. Lampada elettrica a LED (2000 ÷ oggi)

LED è l'acronimo di Light Emitting Diode (diodo ad emissione luminosa). Detto in parole molto semplici viene sfruttata la proprietà di alcuni materiali semiconduttori di emettere fotoni in seguito alla ricombinazione elettroni / lacune. Essi Sono realizzati con una serie di strati di semiconduttori che hanno la funzione di trasformare l'elettricità in particelle di luce (fotoni). La composizione tipica di un LED è semplice: c'è un substrato sul quale si trova uno strato "di tipo negativo (n)" (ricco, cioè, di atomi che rilasciano elettroni) e poi uno "di tipo positivo (p)" (ricco di atomi che catturano elettroni e lasciano al loro posto "buche" di carica positiva dette anche lacune). Tra i due strati, che formano un diodo, c'è uno "strato attivo" neutro. Se si applica una tensione opportuna tra gli strati n e p, elettroni e buche (positive) confluiscono nello strato attivo e, ricombinandosi, si "annullano", generando energia sotto forma di luce. I diodi verdi e rossi erano già in circolazione da tempo, ma senza una fonte di luce blu la possibilità di creare una luce bianca che sommasse le tre componenti rimaneva un sogno. Nel 1993, presso la Nichia Chemical Industries in Giappone, Shuji Nakamura, Isamu Akasaki, Hiroshi Amano hanno introdotto il LED blu, il più difficile da produrre a causa della sua elevata energia fotonica e della scarsa sensibilità dell'occhio umano alle basse lunghezze d'onda. L'importanza dell'invenzione è stata notevole: il blu è un colore primario, e combinando attraverso software appositi le tre luci monocromatiche fondamentali (rosso, blu e verde) è possibile ottenere luce bianca e luci di qualsiasi altro colore. Nascono così i primi LED multi chip (con cioè tre chip dei tre colori fondamentali) a luce bianca. Queste lampadine, di recente sviluppo, sono costituite da uno o più spesso diversi diodi LED alimentati da un apposito circuito elettronico. Hanno la caratteristica di emettere una luce bianchissima (ma ci sono LED di diversi colori) e con scarsa produzione di calore. Hanno anche la caratteristica, a fine vita, di esaurirsi lentamente piuttosto che bruciare istantaneamente. Lo svantaggio principale è l'elevato costo rispetto ad altre tecnologie. I LED sono sempre più utilizzati in ambito illuminotecnico in sostituzione di alcune sorgenti di luce tradizionali. Tuttavia è essenziale svolgere alcune considerazioni. Innanzitutto bisogna sfatare il mito secondo cui gli apparecchi illuminanti equipaggiati con sorgenti luminose a led sono quelli a massima efficienza luminosa e che quindi possono garantire elevatissimi risparmi energetici. Infatti un apparecchio a led è in grado di arrivare ad un'efficienza di circa 55-75 lumen / watt che è, nel migliore dei casi, pari a quella di un apparecchio equipaggiato con lampade fluorescenti lineari (neon) che hanno una efficienza luminosa di circa 60-75 lumen / watt.

Ricorrendo (accollandosene tutti gli svantaggi dal punto di vista della resa cromatica finale) ad apparecchi che emettono luce fredda (5000°K) si arriva ad efficienze di 100 lumen/watt.

Un pregio assolutamente innegabile dei dispositivi a LED è invece la scarsa manutenzione che richiedono: la vita media di un LED può essere stimata in circa 40.000 - 60.000 ore (anche se tende a ridursi al crescere dell'efficienza luminosa del LED) che è circa 20 - 30 volte tanto la vita di una lampada alogena, 7 - 8 volte la vita di una fluorescente e 4 - 5 volte la vita di una lampada a scarica a ioduri metallici.

5. Lampada elettrica a Polimeri organici e a nanotubo (Possibile futuro)

Polimeri Organici:

Questa tecnologia si basa su materiali plastici (polimeri) in grado di emettere luce per elettroluminescenza se attraversati da corrente elettrica. Una classe particolare di questi materiali sono gli OLED. I principali vantaggi risiedono nell'economia di esercizio, nel buon rendimento luminoso e nella possibilità di lavorare i corpi illuminanti in fogli di forma arbitraria. Con questa tecnologia si riuscirebbe a convertire in luce oltre il 70% dell'energia elettrica che si consuma, ma al momento l'impianto risulta essere molto più costoso rispetto ad altri sistemi.

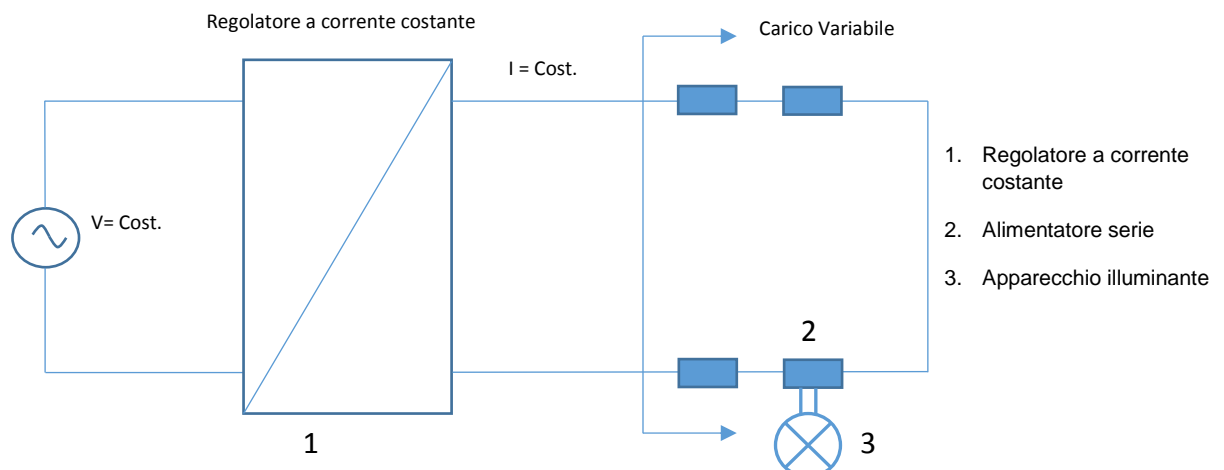
Nanotubo:

I nanotubi di carbonio sono stati ideati in questo che è il periodo del boom delle nanotecnologie, e potrebbero essere veramente sorprendenti. Il consumo di queste lampade con nanotubi di carbonio potrebbe aggirarsi attorno allo 0,1 Watt all'ora, cento volte inferiore delle lampade al led. Le lampade saranno composte da piccoli cilindri di carbonio, i nanotubi di carbonio.

Il possibile ingresso delle lampade a nanotubo di carbonio potrebbero ben presto rivoluzionare la concezione di luce ed illuminazione. Grafene o nanotubi di carbonio, composti dal carbonio, quasi certamente saranno i successori del silicio nell'elettronica del futuro, hanno una composizione chimica stabile, buona resistenza meccanica e conduzione di calore. E' stato dimostrato mediante una serie di esperimenti in Giappone, che i nanotubi di carbonio potrebbero dare vita ad una nuovissima generazione di dispositivi per illuminazioni a basso costo e basso consumo, per sostituire le luci o le lampade a led.

**IL SISTEMA SERIE PER L'ILLUMINAZIONE PUBBLICA**

La diffusione dell'elettrificazione nel territorio, attuata, per ovvie ragioni, a tensione impressa, creò la necessità per gli impianti di illuminazione in serie, tipicamente derivati essi pure dalle reti di distribuzione, di disporre di convertitori tensione impressa/corrente impressa. La tensione primaria di tali dispositivi era normalmente 380 V, mentre quella secondaria variava in ragione del numero di lampade inserite in serie e poteva raggiungere valori anche sino a diversi kV (successivamente limitati dalle normative). La corrente nei circuiti in serie poteva assumere valori di 6,6-7,5-9,6-15-20 A in relazione al tipo e alla potenza delle lampade da alimentare. Inoltre, la necessità di mantenere la costanza della corrente al variare del carico (cioè in caso di cortocircuito di qualcuna delle sorgenti luminose) richiese che tali convertitori fossero anche regolabili con continuità in modo da assicurare la costanza della corrente in uscita.



Fu subito evidente che questi dispositivi non sarebbero stati semplici. La storia degli impianti serie ha prodotto un numero elevato di soluzioni, alcune fantasiose, altre geniali. In particolare, i primi dispositivi di questo tipo, basati sulla conoscenza delle leggi elementari dell'elettromagnetismo, furono di natura elettromeccanica: una delle sfide che si pose nel tempo fu dunque quella di cercare delle soluzioni di tipo statico, problema questo che venne risolto brillantemente solo in tempi recenti grazie all'elettronica di potenza.

### **Analisi della composizione di un impianto serie per la pubblica illuminazione.**

L'impianto serie per la pubblica illuminazione è composto sostanzialmente da tre elementi:

- 1) Il regolatore di corrente costante che può essere a bobina mobile oppure statico (che verranno trattati in seguito)
- 2) L'alimentatore serie che ha il compito di essere al contempo un trasformatore di corrente (TA) e un trasformatore d'isolamento.
- 3) L'apparecchio illuminante che può essere ad incandescenza, a scarica o a Led.

In base alla tecnologia di illuminazione utilizzata (incandescenza, scarica o Led) cambiano anche le modalità di impiego degli altri due elementi costituenti l'impianto serie.

Se consideriamo l'utilizzo della tecnologia delle lampade a scarica come le lampade a vapori di sodio ad alta pressione, che rappresentano quasi il 75% delle sorgenti luminose utilizzate per la pubblica illuminazione, gli altri due elementi, ossia il regolatore a corrente costante e gli alimentatori serie, devono essere realizzati con particolari specifiche. Se consideriamo una plafoniera con una lampada al sodio ad alta pressione (HPS) da 150 W essa necessita per il suo funzionamento di una tensione nominale di  $100 \div 110$  V e di una corrente nominale di 1,8 A con un fattore di potenza che si attesta intorno a  $0,4 \div 0,6$ .

L'alimentatore serie, in riferimento ai dati di lampada, deve essere dimensionato in modo da trasformare la corrente del circuito serie (per es. 20 A) nella corrente di alimentazione della lampada (1,8 A) in base alla potenza della lampada (150W) e alla sua tensione di alimentazione (110 V).

Il regolatore a corrente costante deve essere dimensionato in base alla corrente di esercizio dell'impianto serie, alla potenza totale del carico, alla tensione massima di esercizio e alla tipologia dei corpi illuminanti. Se supponiamo un impianto composto da 60 punti luce da 150 W HPS la potenza del carico totale sarebbe di  $150 \times 60 = 9000$  W (9 kW), siccome la lampada a scarica per mantenere costante l'arco elettrico necessita di un fattore di potenza ( $\cos\phi$ ) pari a circa 0,5, la potenza minima richiesta al regolatore sarebbe pari a  $(9000 / 0,5) \times 1,1 = 19800$  VA ( $\approx 20$  kVA).

Se invece il carico fosse quasi puramente resistivo come per le lampade a incandescenza o per i Led, la potenza del regolatore potrebbe considerarsi, a meno del fattore di potenza comunque alto (0,9), pari a quello del carico.

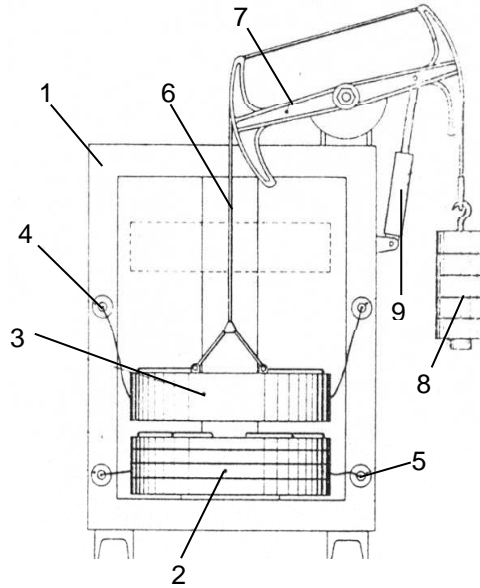
Nel dimensionamento del regolatore per l'utilizzo promiscuo sull'impianto serie di lampade a incandescenza o Led e lampade a scarica bisogna tenere conto dell'energia reattiva necessaria a quest'ultime per mantenere costante l'arco elettrico come indicato nelle considerazioni precedenti.

Si ricordano qui di seguito i principali sistemi di alimentazione/regolazione della corrente per impianti in serie:

- Alimentazione a corrente costante con trasformatore regolatore a bobina mobile
- Sistemi di alimentazione statici a risonanza
- I nuovi regolatori elettronici

- **Alimentazione a corrente costante con trasformatore regolatore a bobina mobile**

- 1 – Nucleo magnetico
- 2 – Bobina fissa: primario
- 3 – Bobina mobile: secondario
- 4 – Morsetti II° in media tensione
- 5 – Morsetti I° in media o bassa tensione
- 6 – Fune di sollevamento
- 7 – Settore di rinvio fune
- 8 – Contrappeso
- 9 – Smorzatore delle oscillazioni



Il trasformatore presenta le colonne del nucleo di grande altezza con una delle bobine libera di scorrere attorno alla gamba centrale<sup>(2)</sup>. Per necessità costruttive le bobine hanno forma larga e piatta; quasi sempre, per facilitare il raffreddamento, sono suddivise in gallette coassiali, lasciando tra l'una e l'altra uno spazio anulare per la circolazione dell'aria o dell'olio<sup>(3)</sup>. In genere la bobina che scorre è la secondaria, la prima in genere è fissa. Lo sforzo di repulsione che si manifesta tra i due avvolgimenti, essendo le correnti primaria e secondaria quasi in opposizione di fase, è utilizzato per variare automaticamente la reattanza di dispersione del trasformatore in rapporto al carico. L'equilibrio si ottiene quando il peso proprio della bobina risulta pari alla somma dell'azione del contrappeso e della forza magnetica tra le bobine.

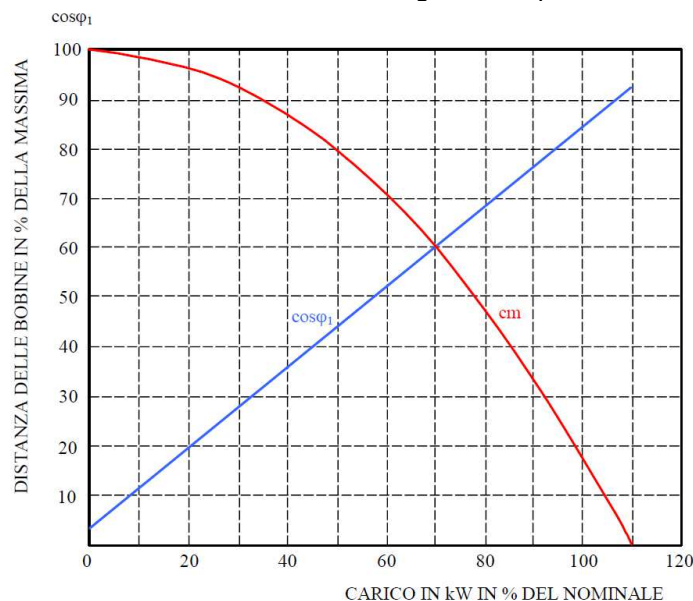
Con tutte le lampade in corto circuito, l'equilibrio si stabilisce con la bobina mobile a contatto quasi con il giogo (posizione più elevata); in questa posizione la reattanza di dispersione equivale da sola all'impedenza di pieno carico dell'intero circuito, cosicché anche in corto circuito la corrente resta costante.

Le taglie caratteristiche di questi trasformatori sono da 3 a 25 kVA (attualmente si arriva anche fino a 100 kVA), per frequenze di 50 e 60 Hz. Il loro rendimento a pieno carico e fattore di potenza unitario sono in media del 95 %, ma il  $\cos\phi$  si abbassa rapidamente al diminuire del carico<sup>(4)</sup>.

Bisogna considerare<sup>(6)</sup> che non è possibile utilizzare in modo affidabile il regolatore a bobina mobile con un carico di lampade a scarica superiore al 50% - 33% della potenza nominale.

Il regolatore viene infatti dimensionato per una potenza 2-3 volte superiore alla potenza del circuito serie nel caso in cui si debbano alimentare lampade al sodio alta pressione: le perdite invece rimangono quasi costanti in qualunque condizione di carico, dal corto circuito a pieno carico.

Ne consegue che il rendimento della trasformazione di energia non supera il valore di 0,77-0,62.





Il sistema consente, valutando la corretta potenza reattiva dovuta al mantenimento dell'arco nelle lampade a scarica, anche di alimentare in modo promiscuo lampade ad incandescenza, lampade a Led ed a scarica; in tal modo si può proporzionare l'illuminazione all'importanza o alle esigenze dei vari luoghi<sup>(4)</sup>.

Al fine di eliminare vari tipi di fenomeni indesiderati (oscillazioni meccaniche, posizione inadatta della bobina mobile all'atto dell'inserzione del circuito, ecc.) sono stati introdotti nel tempo accorgimenti e varianti esecutive da parte dei costruttori (ammortizzatori, sostituzione dei contrappesi con bagni d'olio, ancoraggi di arresto della bobina mobile, ecc.).

Per lunghi anni tali macchine hanno egregiamente risposto allo scopo: gli studi approfonditi e l'esperienza di esercizio hanno permesso di apportare continui miglioramenti tendenti a diminuire le sollecitazioni dinamiche, a ridurre i fenomeni transitori nella corrente, ed a migliorare le condizioni di equilibrio nella bobina mobile; ne sono risultate in definitiva macchine di elevate prestazioni e di grande sicurezza.

#### - Sistemi di alimentazione statici a risonanza

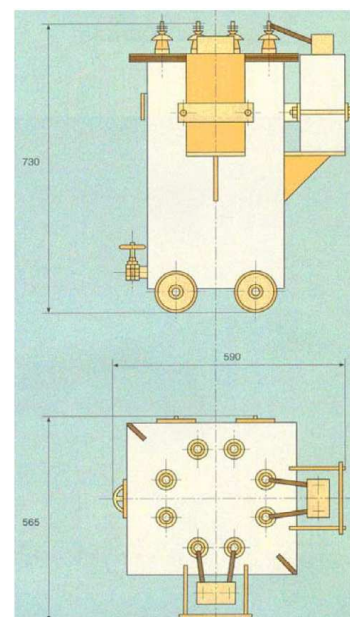
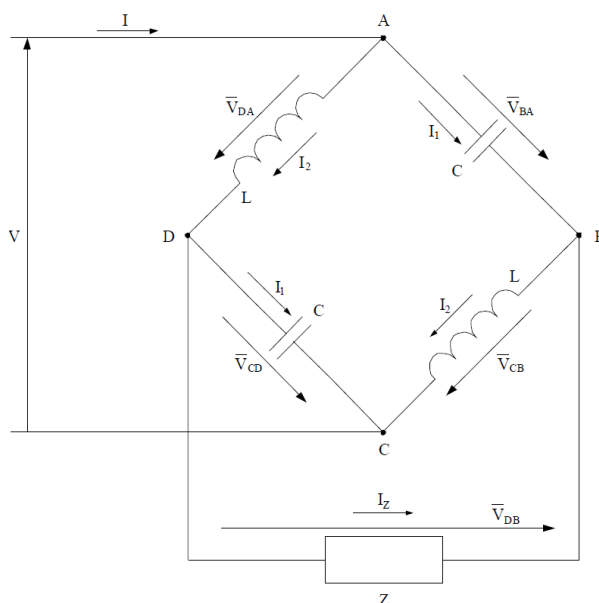
Verso gli anni '60 vennero introdotti particolari sistemi di regolazione (peraltro già studiati nelle loro proprietà molto tempo prima da Bucherot e da Steinmetz) che sfruttano il principio della risonanza. L'utilizzo tardo di tali dispositivi ben noti da tempo è imputabile alla scarsa affidabilità, fino agli anni '60, della tecnologia dei condensatori, indispensabili per tali applicazioni.

Due sono gli schemi base applicati:

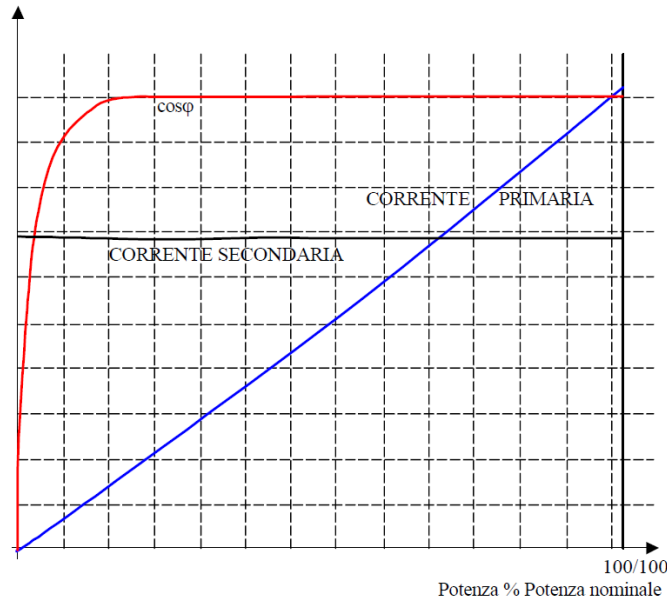
- Regolatore statico a risonanza del tipo "Quadrato monociclico".

Esso trovava applicazione soprattutto nella alimentazione dei circuiti dei fuochi di pista degli aeroporti, ove sono installate lampade ad incandescenza o Led.

Lo schema elettrico del regolatore è costituito da una rete di quattro lati realizzati tramite induttanze e capacità. I valori di ciascun elemento sono tali che le rispettive reattanze risuonano alla frequenza della tensione di alimentazione. La rete, a circuito secondario aperto, è composta da due rami in parallelo, ciascuno in risonanza serie. A circuito secondario chiuso su un'impedenza di carico  $Z$ , viene erogata una corrente  $I_z$  indipendente dal valore di  $Z$  e funzione soltanto della tensione di alimentazione  $V$  e dell'induttanza  $L$ , in quadratura in ritardo rispetto alla tensione<sup>(6)</sup>. La corrente  $I$  assorbita dal regolatore risulta invece sfasata rispetto alla  $V$  di un angolo dipendente esclusivamente dalle caratteristiche dell'impedenza  $Z$ . In particolare, in condizioni di corto circuito dei morsetti secondari ( $Z=0$ ) ed in assenza di perdite, mentre la corrente  $I_z$  risulta costante in quanto indipendente dalla  $Z$ , la  $I$  diviene teoricamente nulla. Nel funzionamento a vuoto ( $Z=\infty$ ) mentre la  $I_z$  risulta nulla, la corrente  $I$  risulta invece massima (nel caso teorico infinita).



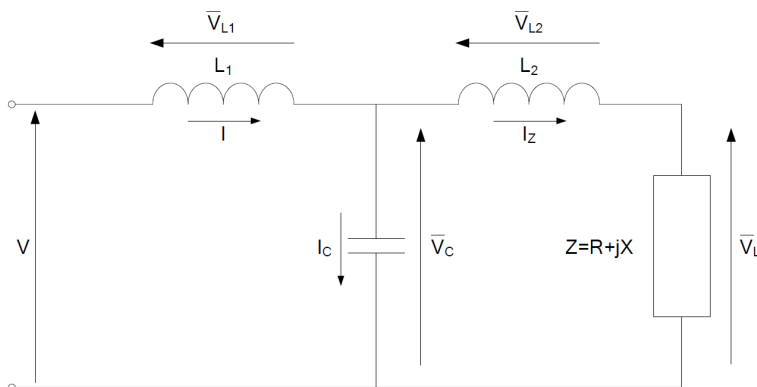
L'ottimizzazione tecnico-economica di questi sistemi, tenuto conto dell'imperfetta condizione di risonanza e della presenza degli elementi resistivi, richiede una certa libertà di scelta nelle tensioni per cui viene normalmente adottato un trasformatore adattatore di accoppiamento alla rete munito sul secondario di molte prese e talora anche un regolatore sottocarico della tensione. Il diagramma seguente riporta le tipiche caratteristiche esterne di regolazione. L'impiego negli aeroporti è favorito dall'insensibilità del sistema ai corti circuiti, assai frequenti in caso di rottura dei fuochi di pista da parte degli aerei.



- Regolatore statico a risonanza del tipo "T"

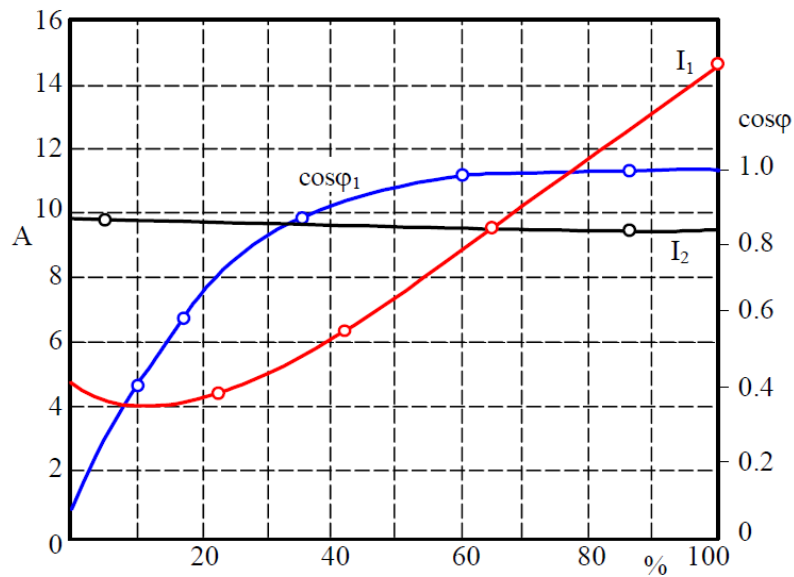
E' impiegato prevalentemente per impianti di illuminazione pubblica anche laddove siano state introdotte lampade a scarica di tipo fluorescente.

Lo schema elettrico seguente è costituito da due induttanze  $L_1$  e  $L_2$  poste in serie e da una capacità posta in derivazione. L'induttanza  $L_1$  risulta in risonanza con  $C$  alla frequenza di alimentazione, mentre il valore di  $L_2$  dipende dall'impedenza  $Z$  di carico. Si può dimostrare che la corrente che fluisce nel carico risulta indipendente dal carico stesso mentre lo sfasamento della corrente rispetto alla tensione di alimentazione dipende dal valore di  $L_2$  posto in serie al carico, per cui, una opportuna scelta di  $L_2$ , può consentire il corretto funzionamento delle lampade a scarica.



Anche in questo caso la condizione di cortocircuito sul lato utilizzatore non desta problemi (in quanto la  $I_2$  risulta totalmente indipendente dal valore del carico, almeno nel caso ideale), mentre nel caso di circuito utilizzatore aperto si ha una condizione di risonanza con correnti elevate. Anche in questo caso si rende necessario l'adattamento alla tensione della rete e la regolazione della tensione di alimentazione.

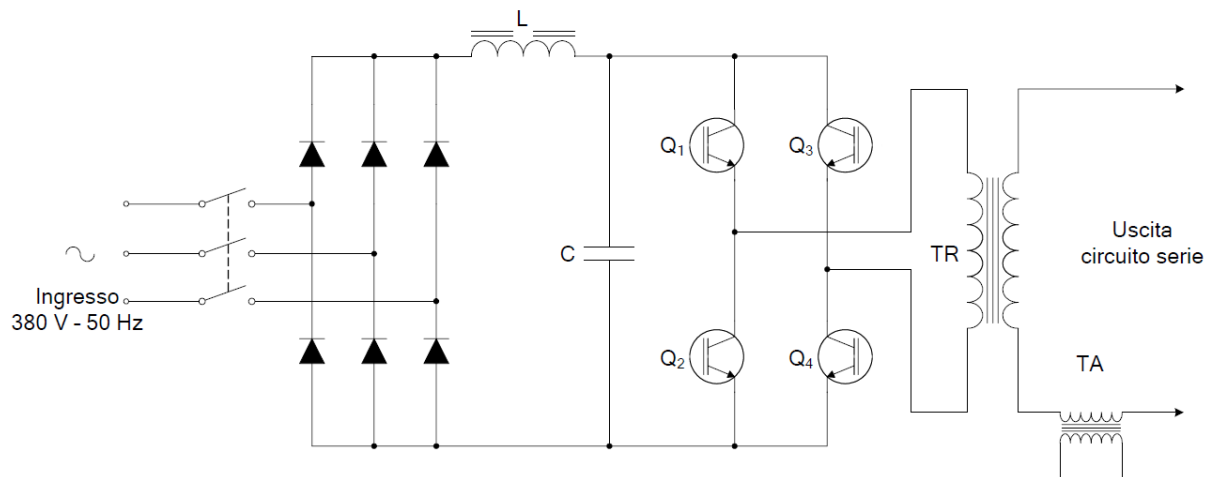
Tipiche caratteristiche esterne sono riportate nel diagramma seguente in funzione della potenza assorbita espressa in % del valore nominale.



Il regolatore statico a "T" viene soprattutto impiegato per la regolazione della corrente nei circuiti serie, equipaggiati con lampade a scarica in gas, perché la sua adozione è tecnicamente ed economicamente competitiva con quella del classico trasformatore a bobina mobile. Con la tecnologia Led il vantaggio del regolatore statico rispetto a quello a bobina mobile rimane comunque invariato in quanto dovuto alla modalità di regolazione del carico.

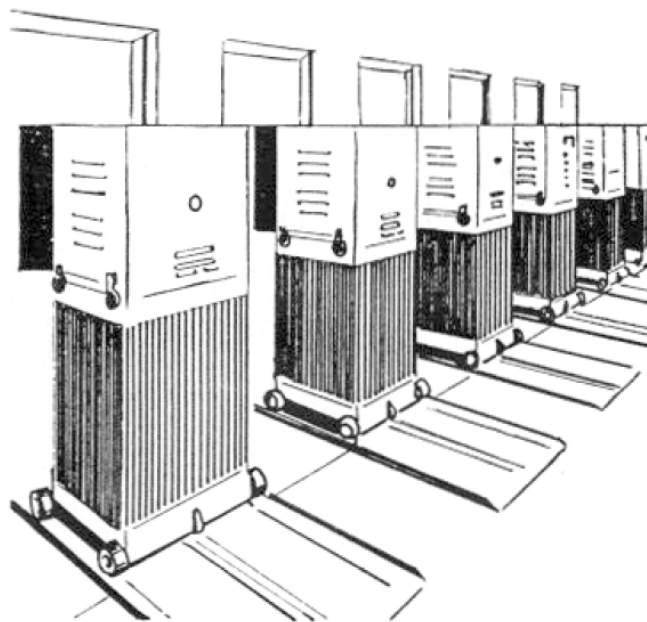
#### - I nuovi regolatori elettronici

Trattasi di sistemi basati sulla tecnica a commutazione PWM (Pulse Width Modulation), adatti anche alla regolazione di circuiti con lampade sia a scarica in gas sia Led. Essi operano una conversione c.a./c.c. e una riconversione c.c./c.a. per mezzo di un ponte a IGBT. Il regolatore viene alimentato in bassa tensione trifase (400 V esistono anche versioni alimentati in media tensione) e costituisce per la rete un carico equilibrato sulle tre fasi con fattore di potenza primario sempre superiore a 0,95 e rendimento normalmente superiore al 90 % in qualsiasi condizione di carico. Le correnti nominali per le quali viene costruito il regolatore sono 9,6 e 20 A; le potenze nominali sono 10, 20, 30, 45, 60, 80 kVA. La corrente in uscita è pressoché sinusoidale a 50 Hz (la sua distorsione armonica è inferiore al 5 %) e il suo valore efficace viene mantenuto con variazioni non superiori all'1 %, anche con variazioni della tensione di alimentazione  $\pm 10 \%$  e della frequenza di rete del  $\pm 20 \%$ , per variazioni del carico secondario da massimo a corto circuito.



All'atto dell'inserzione (accensione) del circuito secondario il regolatore opera un transitorio a frequenza superiore a quella di rete (400 Hz o qualche kHz) con una durata di circa 200/300 ms. Questo accorgimento consente una più agevole accensione della lampade; infatti, la tensione d'arco si riduce all'aumentare della frequenza, con beneficio sia per l'innesco degli archi delle lampade, sia per la vita utile delle stesse. Questo accorgimento è valido per le lampade a scarica a vapori di mercurio (le quali devono essere sostituite in quanto non più permesse dalla direttiva europea RoSH) mentre le lampade a vapori di sodio ad alta pressione HPS e a ioduri metallici HQI necessitano di un accenditore che eleva, per un breve periodo, la tensione di accensione a 5000 V. Quindi con le lampade a scarica HPS e HQI questo accorgimento risulta di poca utilità mentre per le lampade a led, nonostante la breve durata, data la sua ripetibilità potrebbe risultare anche dannoso in quanto l'aumento della frequenza di alimentazione comporta un aumento considerevole della tensione di alimentazione dei driver. Per questa ragione se si installano della lampade a led è meglio disinserire o disattivare questa funzione dei regolatori elettronici i quali, si ricorda, sono stati progettati e realizzati per gli impianti con lampade a scarica. Sempre all'inserzione, la corrente secondaria cresce linearmente da zero al valore nominale e le lampade si accendono gradualmente. Il sistema consente anche la regolazione del flusso luminoso. Il tempo di attesa fra uno spegnimento (anche accidentale) delle lampade e una successiva riaccensione è programmabile a volontà. Il sistema prevede il controllo con continuità del livello d'isolamento del circuito lampade verso terra seguendo la filosofia dei sistemi IT, con il vantaggio che un primo guasto a terra non interrompe il servizio. Il controllo tramite microprocessori consente velocità di risposta molto elevate e prestazioni nettamente superiori a quelle conseguibili con i regolatori tradizionali. Rispetto a un trasformatore di corrente a bobina mobile, questo regolatore è esente da guasti di natura meccanica ma di natura elettrica dovuta alla vulnerabilità di alcuni componenti elettronici di potenza; inoltre ingloba quasi tutti i dispositivi di protezione e comando dei circuiti serviti, semplificando le operazioni di una nuova installazione e contenendo gli oneri di ristrutturazione di cabine esistenti.

I regolatori a corrente costante di tipo elettromeccanico hanno conosciuto una stagione gloriosa protrattasi fin quasi ai giorni nostri, ma legata essenzialmente alla tipologia di sorgenti luminose ad incandescenza. I regolatori statici, per contro, hanno conosciuto un relativamente minore livello di diffusione, salvo che per applicazioni particolari aeroportuali e per l'alimentazione di lampade fluorescenti. La ragione di ciò è riconducibile alla loro eccessiva sensibilità alle variazioni di tensione e di frequenza della rete di alimentazione, che si ripercuotono sul valore della corrente secondaria. Oggi la qualità della tensione è decisamente migliorata, come pure l'affidabilità dei componenti costitutivi dei regolatori statici, nei quali è possibile l'impiego di un'elettronica raffinata con conseguenti elevati rendimenti e fattori di potenza. Per garantire la massima continuità di esercizio, i regolatori statici vengono montati tramite sistemi estraibili che consentono, in caso di avarie, la sostituzione della macchina senza richiedere complesse manovre di svincolo dei conduttori.



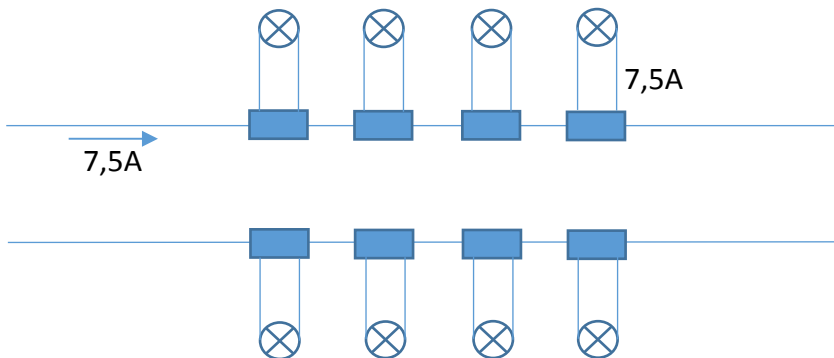
## Analisi del sistema alimentatore serie-corpo illuminante in base alle tecnologie di illuminazione applicate

I sistemi che analizzeremo sono di tre tipi:

- 1) Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada ad incandescenza
- 2) Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada a scarica
- 3) Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada a Led.

### 1) Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada ad incandescenza

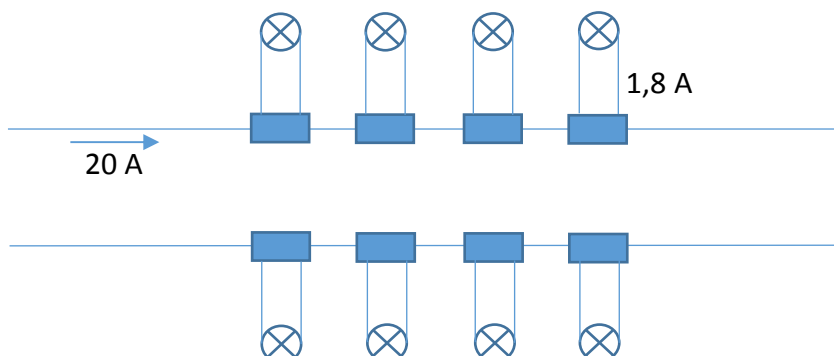
In questo sistema l'alimentatore serie è un trasformatore di isolamento in quanto la corrente di alimentazione della lampada ad incandescenza è la stessa di quella del circuito serie che spesso è di 6,6 A o 7,5 A. Questo tipo di applicazione è molto diffusa negli aeroporti.



Con questo tipo di sistema la potenza del regolatore a corrente costante viene utilizzata quasi nella sua interezza. Le modalità di costruzione del frutto di questo tipo di trasformatori (con il nucleo a forma quadrata o rettangolare, gli avvolgimenti primario e secondario spesso non avvolti uno sopra l'altro) determinano un rendimento dell'ordine del 80/85% e l'efficienza luminosa delle lampade a incandescenza è molto bassa pari a 10-20 lumen/Watt.

### 2) Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada a scarica

Questo sistema è il più diffuso tra tutti gli impianti serie. L'alimentatore serie è sia un trasformatore di corrente (TA) sia un trasformatore di isolamento. L'esigenza di utilizzare questo particolare alimentatore è dovuta dal fatto che le correnti assorbite dalle lampade a scarica non coincidono con quelle del circuito primario in quanto si raggiungerebbero delle tensioni troppo elevate. In questi tipi di impianti le correnti utilizzate per i circuiti primari sono tipicamente sei: 6,6 A, 7,5 A, 9,6 A, 12,5 A, 15 A, 20 A.



Le lampade a scarica si suddividono sostanzialmente in quattro gruppi:

- Lampade a scarica con vapori di sodio a bassa pressione LPS
- Lampade a scarica con vapori di sodio ad alta pressione HPS
- Lampade a scarica ad alogenuri metallici HQI o ioduri metallici MH
- Lampade a scarica con vapori di mercurio Hg
  
- Lampade a scarica con vapori di sodio a bassa pressione

Le tipiche potenze per questo tipo di lampade sono le seguenti:

035-055 W    0,60 A    100 V

090-100 W    0,94 A    100 V

135-180 W    0,95 A    100 V

L'efficienza luminosa è molto elevata 100 ÷ 200 lumen/Watt

La vita media è di 10000 ÷ 12000 ore

- Lampade a scarica con vapori di sodio ad alta pressione

Le tipiche potenze per questo tipo di lampade sono le seguenti:

070 W    1,0 A    100 V                    100 W    1,2 A    100 V

150 W    1,8 A    100 V                    250 W    3,0 A    100 V

400 W    4,6 A    100 V

L'efficienza luminosa è elevata 60 ÷ 120 lumen/Watt

La vita media è di 12000 ore

- Lampade a scarica ad alogenuri metallici

Le tipiche potenze per questo tipo di lampade sono le seguenti:

070 W    1,0 A    100 V                    100 W    1,1 A    100 V

150 W    1,8 A    100 V                    250 W    3,0 A    100 V

400 W    3,5 A    120 V

L'efficienza luminosa è media 38 ÷ 86 lumen/Watt

La vita media è di 6000 ÷ 20000 ore

- Lampade a scarica con vapori di mercurio (non più utilizzabili per la direttiva RohS)

Le tipiche potenze per questo tipo di lampade sono le seguenti:

080 W    0,8 A    115 V                    125 W    1,15 A    125 V

250 W    2,13 A    125 V                    400 W    3,25 A    125 V

L'efficienza luminosa è medio-bassa 30 ÷ 60 lumen/Watt

La vita media è di 6000 ÷ 8000 ore

L'alimentatore serie in questo caso è sia un trasformatore di corrente (TA) in quanto deve trasformare la corrente del circuito primario (es. 20 A) nella corrente di alimentazione della lampada (es. per una 150W HPS è di 1,8 A), sia un trasformatore di isolamento perché deve isolare il circuito della lampada da quello

primario. Anche in questo caso il rendimento dell'alimentatore serie è dell'ordine del 80/85% per le potenze più basse (70 – 150W) e del 90% per le potenze più elevate (250 – 400W) mentre il fattore di potenza ( $\cos\phi$ ) è pari a 0,85.

### 3) Sistema alimentatore serie e plafoniera con lampada a LED

Questo sistema non è ancora diffuso e i pochi impianti esistenti possono ancora definirsi impianti di prova. Infatti la tecnologia Led è stata sviluppata per i sistemi in derivazione ossia con tensione impressa (tipicamente 220 V) portando con se sia vantaggi che svantaggi nella sua applicazione.

I vantaggi della luce LED sono<sup>(6)</sup>:

- Luce bianca praticamente priva di UV e IR
- Colori saturi (quando serve)
- Alta efficienza luminosa con potenze ridotte (circa 30 ÷ 100 lm/W)
- Vita media elevata (circa 50000 ore)
- Regolabilità del flusso luminoso (0 ÷ 100%)
- Ridotte dimensioni
- Ampio spettro di Tc teoricamente ottenibili
- Migliore fattore di manutenzione
- Versatilità di sistema: ampio spettro di potenze disponibili

Gli svantaggi della luce LED sono:

- Bassi valori unitari di flusso emesso (necessità di accorpamenti di elevati numeri di unità singole oppure uso di multigiunzione)
- Emissione luminosa dipendente dalla temperatura
- Dispersione delle caratteristiche pur all'interno di uno stesso lotto (Tc, lm/W)
- Necessità di componenti ausiliari sofisticati e di dubbio comportamento nel tempo, critici con la temperatura (sistemi ottici primari, secondari, alimentatori switching)
- Costo relativamente elevato
- Non ovunque impiegabili e/o convenienti
- Eccessiva emissione di componente blu nello spettro

Oltre a vantaggi e svantaggi il sistema LED comporta anche alcune criticità che possono essere riassunte come di seguito:

- Criticità delle tolleranze ristrette sulla tensione diretta della giunzione FV (Forward Voltage 3,6 – 4V)
- Severo controllo della corrente non solo per garantire la lunga durata di vita ma la stessa sopravvivenza del LED
- Il costo elevato dell'alimentatore switching di elevata qualità che significa elevata affidabilità, elevata durata e generazione di armoniche di bassa entità
- Tolleranze ristrette sulla temperatura dell'ambiente di installazione (problema di smaltimento termico della giunzione) che possono causare diminuzione di efficienza e della durata di vita.
- Necessità di un'ottica primaria (lente o riflettore) e (spesso) di un sistema ottico secondario di alta qualità altrimenti contribuiscono a ridurre l'efficienza complessiva e al decadimento delle prestazioni nel tempo.

Dalle considerazioni appena esposte si comprende immediatamente che per assicurarsi dei prodotti efficienti e affidabili è importante rivolgersi ai soli produttori che possiedono e che garantiscono la perfetta applicazione di tale tecnologia. Le problematiche dell'utilizzo della tecnologia Led negli impianti serie sono state affrontate negli ultimi anni generando differenti tipi di approccio che analizzeremo in seguito.

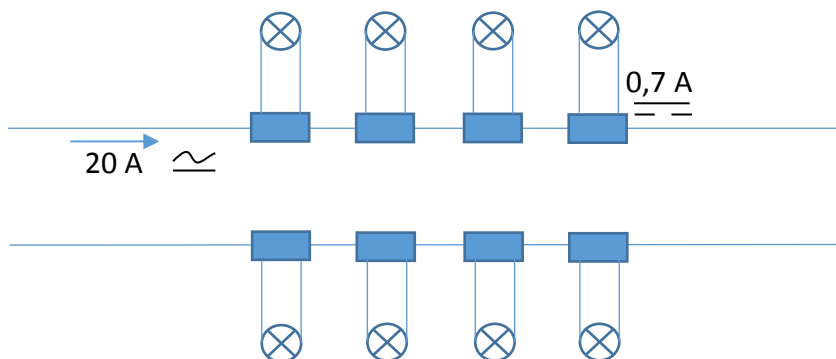
Il Led, per sua natura di semiconduttore funziona con corrente continua costante caratteristica (detta di pilotaggio) determinata dalla tensione di attivazione del led stesso. Per questo motivo sia che si utilizzino i led in impianti in derivazione o in serie essi hanno bisogno di un sistema chiamato convertitore AC/DC (o

alimentatore AC/DC) ossia un sistema che converte la corrente alternata in corrente continua che viene anche impropriamente detto raddrizzatore.

Partendo da questo presupposto, come accennato prima, sono stati affrontati differenti tipi di approccio a tale problema che comprendono in ogni caso un alimentatore serie:

1. Il sistema alimentatore serie opportunamente dimensionato con al suo interno un convertitore AC/DC e led in serie ad hoc
2. Il sistema alimentatore serie opportunamente dimensionato collegato ad un convertitore AC/DC esterno e led in serie ad hoc.
3. Il sistema alimentatore serie per lampade a scarica già presente, un convertitore AC/DC esterno e led in parallelo o in serie ad hoc
4. Il sistema alimentatore serie per lampade a scarica già presente, un adattatore AC/AV (corrente alternata impressa / tensione alternata impressa) e una plafoniera led standard.
5. Il sistema alimentatore serie AC/AV e una plafoniera led standard.

1. Il sistema è composto da un alimentatore serie opportunamente dimensionato con al suo interno un convertitore AC/DC integrato e da una plafoniera con al suo interno solo una piastra LED. In questo caso la piastra LED è composta da più led collegati tra loro in serie in modo che ogni singolo led riceva sempre la medesima corrente in uscita dal secondario dell'alimentatore serie. Se si suppone di dover alimentare una piastra LED di 70 W i cui led hanno una corrente di alimentazione di 700 mA allora l'alimentatore serie dovrà essere progettato e dimensionato in modo da trasformare, per esempio, la corrente primaria alternata di 20 A in una corrente continua da 0,700 A con una tensione pari a  $70 / 0,700 = 100$  V.



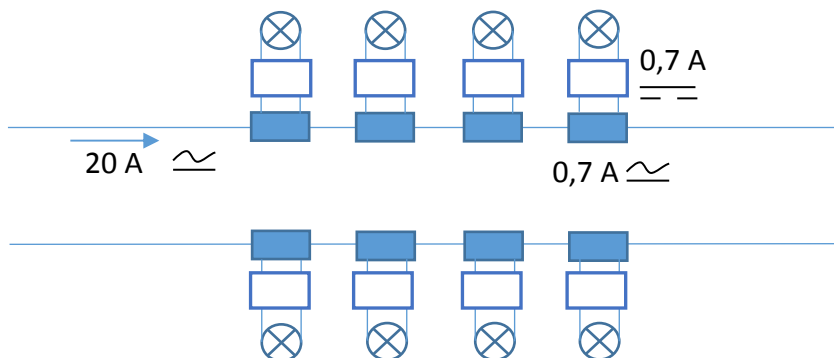
Vantaggi:

- Sistema alimentatore e plafoniera LED fisicamente separati. In questo caso la manutenzione è agevolata in quanto gli elementi sostituibili sono solamente due la piastra LED e l'alimentatore serie con integrato il convertitore AC/DC
- Utilizzando un convertitore adeguatamente filtrato il fattore di potenza risulta elevato (circa 0,9)
- Il rendimento è discreto (75 ÷ 80%) anche per le basse potenze (40 ÷ 70W)
- Migliore sfruttamento della potenza del regolatore a corrente costante rispetto alle lampade a scarica.



**Svantaggi:**

- L'alimentatore serie è composta da due componenti uno ferromagnetico e l'altro elettronico, le probabilità di guasto del circuito ferromagnetico sono molto più basse di quello elettronico, quindi se quest'ultimo cedesse bisognerebbe cambiare tutto l'alimentatore che comporta una spesa più elevata che sostituire solamente il circuito elettronico.
  - Un normale convertitore AC/DC per avere un filtraggio adeguato deve utilizzare condensatori elettrolitici che vanno dimensionati con attenzione, questo per resistere alle sovratensioni ed alla frazione di corrente AC che li attraversa. Se invece di utilizzare un normale convertitore con condensatori elettrolitici, che risultano estremamente delicati per questo tipo di applicazioni, si utilizza un convertitore switching senza PFC (in quanto quest'ultimo non può essere installato con le forme d'onda caratteristiche degli impianti serie) il fattore di potenza  $\cos\phi$  cala ad un valore di 0,7/0,75.
  - Sviluppo di un unico prodotto costruito ad hoc per quel tipo di applicazione compreso tutti i calcoli illuminotecnici comportando la possibilità di rifornirsi da pochissimi fornitori di apparecchi illuminati se non da uno solo.
  - Se viene a mancare il carico (apertura del circuito lampada) il secondario dell'alimentatore serie raggiunge valori di tensione molto elevati ( $> 500$  V). E' Necessario un sistema di cortocircuito del secondario per evitare di bruciare il convertitore.
2. Il sistema è composto da un alimentatore serie opportunamente dimensionato collegato ad un convertitore AC/DC che può essere inserito in pozzetto insieme all'alimentatore serie oppure all'interno della plafoniera con la sola piastra LED. Questa soluzione è sostanzialmente simile alla precedente a cui si possono applicare le medesime considerazioni. La differenza è che stavolta il sistema è composto da tre parti distinte, un alimentatore serie, un convertitore AC/DC e una plafoniera con solo la piastra LED. L'alimentatore in questo caso trasforma la corrente alternata di 20 A in una corrente alternata di 0,7 A. Mentre il convertitore converte la corrente alternata di 0,7 A in una corrente continua di 700 mA che alimenta la piastra led.



**Vantaggi:**

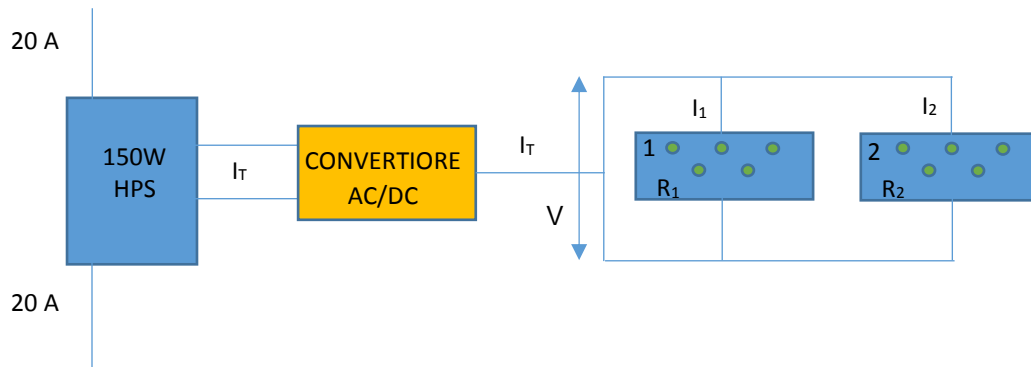
- Sistema alimentatore, convertitore e plafoniera LED fisicamente separati. In caso di guasto del solo convertitore è possibile sostituirlo senza sostituire l'alimentatore serie o la plafoniera LED.
- Utilizzando un convertitore adeguatamente filtrato il fattore di potenza risulta elevato (circa 0,9)
- Il rendimento è discreto (75 ÷ 80%) anche per le basse potenze (40 ÷ 70W)
- Migliore sfruttamento della potenza del regolatore a corrente costante rispetto alle lampade a scarica.

**Svantaggi:**

- Se il convertitore è inserito all'interno della plafoniera è necessario un ulteriore costo per la ricertificazione della plafoniera stessa con installato questo particolare convertitore.
  - Un normale convertitore AC/DC per avere un filtraggio adeguato deve utilizzare condensatori elettrolitici che vanno dimensionati con attenzione, questo per resistere alle sovratensioni ed alla frazione di corrente AC che li attraversa. Se invece di utilizzare un normale convertitore con condensatori elettrolitici, che risultano estremamente delicati per questo tipo di applicazioni, si utilizza un convertitore switching senza PFC (in quanto quest'ultimo non può essere installato con le forme d'onda caratteristiche degli impianti serie) il fattore di potenza  $\cos\phi$  cala ad un valore di 0,7/0,75.
  - Sviluppo di un unico prodotto costruito ad hoc per quel tipo di applicazione compreso tutti i calcoli illuminotecnici comportando la possibilità di rifornirsi da pochissimi fornitori di apparecchi illuminati se non da uno solo.
  - Se viene a mancare il carico (apertura del circuito lampada) il secondario dell'alimentatore serie raggiunge valori di tensione molto elevati (> 500 V). E' Necessario un sistema di cortocircuito del secondario per evitare di bruciare il convertitore.
3. Il sistema è composto dall'alimentatore serie progettato per le lampade a scarica già nel pozzetto collegato ad un convertitore AC/DC che può essere inserito in pozzetto insieme all'alimentatore serie oppure all'interno della plafoniera con la sola piastra LED. Questa soluzione per quanto simile alle precedenti è sostanzialmente diversa in quanto la corrente in uscita dal secondario dell'alimentatore serie non è quella tipicamente dei Led. Se prendiamo in considerazione un alimentatore serie per una lampada al sodio ad alta pressione (HPS) da 150 W, esso avrà una corrente al secondario di 1,8 A (per una da 250 W la corrente sarà di 3 A) che è ben più alta di quella delle classiche correnti di alimentazioni dei led che variano da 0,325 a 0,700 A. Per ovviare a questo problema si possono intraprendere due strade:
- a) Con il convertitore AC/DC si converte la corrente alternata da 1,8 A (3 A nel caso del 250 W) in corrente continua da 1,8 A (3 A nel caso del 250 W) e si alimentano due o più piastre a led in parallelo per parcellizzare questa corrente in valori più bassi (estremamente problematico come vedremo in seguito);
  - b) Con il convertitore AC/DC si converte la corrente alternata da 1,8 A (3 A nel caso del 250 W) in corrente continua da 1,8 A (3 A nel caso del 250 W) e si alimenta un piastra led, i cui led sono collegati tra loro in serie, la cui corrente caratteristica di alimentazione è proprio di tale entità (1,8 A per il 150 W o 3 A nel caso del 250 W).
- a) La corrente erogata dal trasformatore serie è normalmente più elevata di quella caratteristica dei led che va da 0,325 a 0,7 A anche dopo il raddrizzamento filtrato. Pertanto per assorbire tutta la corrente del trasformatore serie è necessario mettere due o più piastre in parallelo.

Questa soluzione determina una problematica di difficile soluzione. Supponiamo che le piastre in parallelo siano due. Per avere una perfetta ripartizione della corrente  $I_T$  erogata dal trasformatore serie è necessario che le resistenze delle due piastre siano uguali tra loro. Ponendo  $R_1$  e  $R_2$  la resistenza delle due piastre deve essere soddisfatta la condizione  $R_1 = R_2$  e quindi la resistenza equivalente  $R_{eq}$  sarà:

$$R_{eq} = (R_1 \times R_2) / (R_1 + R_2) \text{ e la tensione sarà } V = R_{eq} \times I_T$$



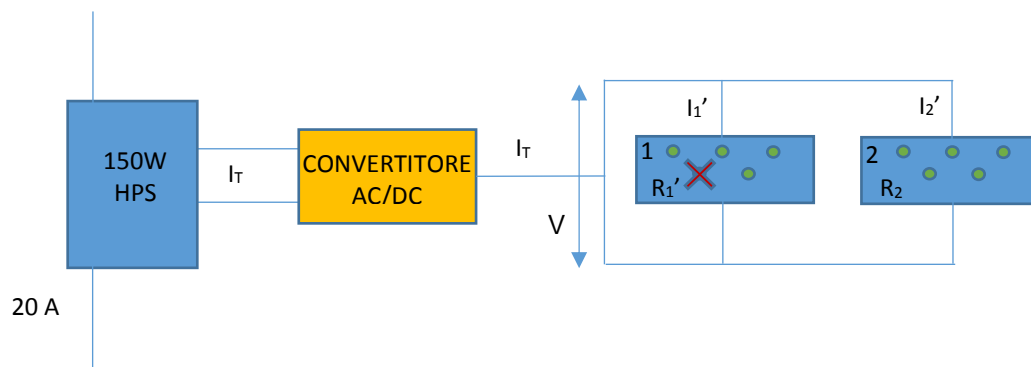
Se ora ammettiamo che nella piastra 1 si cortocircuiti un led avremo una diminuzione del valore di  $R_1$  che diverrà  $R_1'$  e di conseguenza

$$R_{eq}' = (R_1' \times R_2) / (R_1' + R_2) \text{ dove } R_{eq}' < R_{eq}$$

e  $V' = R_{eq}' \times I_T$  sarà  $< V$  essendo  $R_{eq}' < R_{eq}$ .

Essendo  $V' < V$  la piastra n° 2 integra assorbirà una corrente inferiore alla nominale  $I_2'$  e pertanto tutto il resto della corrente dovrà essere assorbita dalla piastra 1

$$I_1' = I_T - I_2' \text{ Quindi } I_1' > I_2'$$



La situazione peggiora rapidamente se aumentano il numero di led che vanno in cortocircuito.

La piastra 1 viene sovralimentata in corrente, aumenta la temperatura e si degrada più rapidamente, mentre la piastra 2 viene sottoalimentata e si abbassa di conseguenza la sua efficienza luminosa.

Supponiamo al limite che tutti i led della piastra 1 vadano fuori uso.

In questo caso si possono verificare due comportamenti;

- il primo vede la piastra 1 in cortocircuito e quindi tutta la corrente  $I_T$  passa per il cortocircuito mentre la piastra 2 non è più attraversata da corrente e quindi spenta.
- Il secondo vede la piastra 1 aperta, senza continuità. In questo caso tutta la corrente  $I_T$  deve passare per la piastra 2 sovralimentandola.

**Queste eventualità sono pericolose perché possono dare origine a carbonizzazione ed a malaugurati incendi.**

**Vantaggi:**

- Utilizzo degli alimentatori già esistenti per le lampade a scarica (es. 150 W HPS) risparmiando così il costo di quest'ultimi.
- Utilizzando un convertitore adeguatamente filtrato il fattore di potenza risulta elevato (circa 0,9)

**Svantaggi:**

- Sistema non affidabile in quanto garantito dalla sola resistenza delle piastre in parallelo e quindi il funzionamento è estremamente variabile a seconda della temperatura di esercizio.
- La corrente di ogni serie led non può essere controllata con precisione da una singola alimentazione questo perché possono esserci piccole differenze di tensioni in ogni serie di Led, può quindi essere necessario un dispositivo di bilanciamento della corrente in ciascuna stringa che però ridurrebbe l'efficienza complessiva e ne aumenterebbe il costo.
- Se si brucia una sola piastra led è necessario sostituire tutte le piastre Led in modo da riuscire a garantire la medesima resistenza.
- Difficoltà di progettazione delle piastre led da collegare in parallelo con un conseguente innalzamento dei costi.
- Un normale convertitore AC/DC per avere un filtraggio adeguato deve utilizzare condensatori elettrolitici che vanno dimensionati con attenzione, questo per resistere alle sovratensioni ed alla frazione di corrente AC che li attraversa. Se invece di utilizzare un normale convertitore con condensatori elettrolitici, che risultano estremamente delicati per questo tipo di applicazioni, si utilizza un convertitore switching senza PFC (in quanto quest'ultimo non può essere installato con le forme d'onda caratteristiche degli impianti serie) il fattore di potenza  $\cos\phi$  cala ad un valore di 0,7/0,75.
- Il rendimento è influenzato molto dalle perdite dell'alimentatore serie installato per le lampade a scarica che sono proporzionali alla potenza installata. Per esempio le perdite per un alimentatore serie da 150 W HPS sono dell'ordine del 13% quindi di circa 19,5 W. La potenza LED tipica da installare per sostituire una lampada da 150W HPS è di 65 W. Se consideriamo un rendimento del convertitore AC/DC del 93% quindi con un consumo di  $65 \cdot [1 - (93/100)] = 4,5$  W allora il rendimento della catena Alimentatore serie, convertitore e piastra led risulta di  $65 / (65 + 19,5 + 4,5) = 65 / 89 = 0,73 \cdot 100 = 73\%$ .

Solamente con la sostituzione dell'alimentatore serie con uno appositamente dimensionato per la potenza installata si ottiene un rendimento più elevato intorno all'80/85%.

- Sviluppo di un unico prodotto costruito ad hoc per quel tipo di applicazione compreso tutti i calcoli illuminotecnici comportando la possibilità di rifornirsi da pochissimi fornitori di apparecchi illuminati se non da uno solo.
  - Se viene a mancare il carico (apertura del circuito lampada) il secondario dell'alimentatore serie raggiunge valori di tensione molto elevati (> 500 V). E' Necessario un sistema di cortocircuito del secondario per evitare di bruciare il convertitore.
- b) Il convertitore AC/DC converte la corrente alternata del trasformatore serie (es. di 1,8 A per un alimentatore serie HPS da 150 W) in continua alimentando una piastra con led collegati in serie tra loro aventi corrente caratteristica IF del medesimo valore.

**Vantaggi:**

- Utilizzo degli alimentatori serie già esistenti per le lampade a scarica (es. 150 W HPS) risparmiando così il costo di quest'ultimi.

- I singoli Led sono disposti in serie. Questo offre il vantaggio che la stessa corrente passa in ognuno e quindi si ha la stessa luminosità emessa. Un altro vantaggio è che, se un Led si guasta provocando un corto circuito, gli altri Led rimangono accesi. Uno svantaggio è dovuto al fatto che, se sono necessari molti Led per produrre la quantità di luce voluta, si sommano le tensioni dirette ai Led così da richiedere di un alimentatore con una tensione di uscita molto alta.

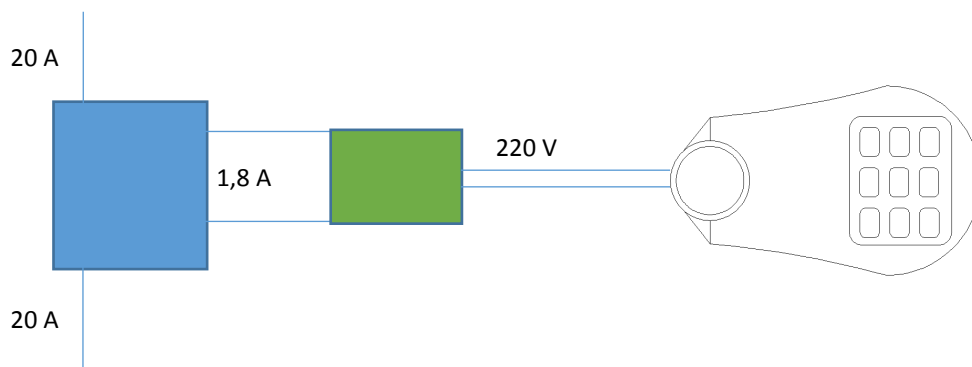
Svantaggi:

- Difficoltà di reperire led con una corrente di pilotaggio di tale entità (es.  $\geq 1,8$  A) e alimentatori che convertono una tensione alternata con una forma d'onda deformata (tipica degli impianti serie) in continua con una regolazione precisa della tensione in modo da non innalzare troppo la temperatura di giunzione  $T_j$  dei led in quanto comporterebbe un abbassamento della efficienza luminosa e un abbassamento della vita media dei led.
- Se si utilizza un convertitore switching senza PFC (in quanto quest'ultimo non può essere installato con le forme d'onda caratteristiche degli impianti serie) il fattore di potenza  $\cos\phi$  riscontrato è dell'ordine di 0,7/0,75.
- Come nel punto precedente il rendimento è influenzato molto dalle perdite dell'alimentatore serie ed è circa del 73%.

Solamente con la sostituzione dell'alimentatore serie con uno appositamente dimensionato per la potenza installata si ottiene un rendimento più elevato intorno all'80/85%.

- Sviluppo di un unico prodotto costruito ad hoc per quel tipo di applicazione compreso tutti i calcoli illuminotecnici comportando la possibilità di rifornirsi da pochissimi fornitori di apparecchi illuminati se non da uno solo.
- Se viene a mancare il carico (apertura del circuito lampada) il secondario dell'alimentatore serie raggiunge valori di tensione molto elevati ( $> 500$  V). E' Necessario un sistema di cortocircuito del secondario per evitare di bruciare il convertitore.

4. Il sistema è composto dall'alimentatore serie progettato per le lampade a scarica già nel pozzetto collegato ad un adattatore AC/AV, che trasforma la corrente costante impressa per esempio di un 150 W HPS pari a 1,8 A in tensione impressa a 220 V, che a sua volta è collegato ad una normale plafoniera led standard progettata per la derivazione.



L'adattatore viene inserito in pozzetto. Questa soluzione permette di sfruttare l'alimentatore serie per le lampade a scarica già presente nell'impianto e di utilizzare una plafoniera standard per gli impianti in derivazione evitando così problematiche di ricerca di un prodotto ad hoc per ogni situazione di conversione da lampade a scarica a led.

**Vantaggi:**

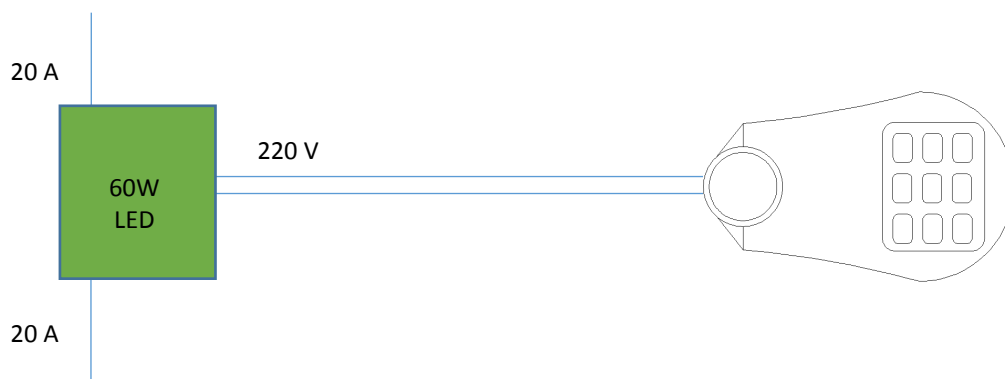
- Sistema alimentatore, adattatore e plafoniera LED fisicamente separati. In caso di guasto del solo adattatore è possibile sostituirlo senza sostituire l'alimentatore serie o la plafoniera LED.
- Utilizzo degli alimentatori già esistenti per le lampade a scarica (es. 150 W HPS) risparmiando così il costo di quest'ultimi.
- Utilizzo di plafoniere led standard progettate per la derivazione garantendo in questo modo tutte le certificazioni di prodotto e le garanzie di qualità e affidabilità, in quanto a pilotare i led sono driver elettronici, facilmente reperibili sul mercato, severamente testati che garantiscono un'alimentazione in corrente e in tensione ai led estremamente stabile.
- L'adattatore è costituito da un circuito ferromagnetico e pertanto possiede tutte le caratteristiche intrinseche di affidabilità di tale circuito.
- Il fattore di potenza è piuttosto alto in quanto a monte dell'alimentatore serie è dell'ordine dello 0,83 che in ogni caso corrisponde al fattore di potenza caratteristico degli alimentatori serie per le lampade a scarica.
- In caso di apertura del carico l'adattatore non necessita di un sistema di cortocircuito del secondario, in quanto continua ad erogare 220 V.

**Svantaggi:**

- Necessita di effettuare due collegamenti a tenuta stagna (IP67) tra l'alimentatore serie già presente in pozzetto e la plafoniera led.
- Il rendimento è piuttosto basso in quanto è influenzato molto dalle perdite dell'alimentatore serie installato per le lampade a scarica che sono proporzionali alla potenza installata e dalle elevate correnti in gioco in questo caso 1,8 A. Per esempio le perdite per un alimentatore serie da 150 W HPS sono dell'ordine del 13% quindi di circa 19,5 W. La potenza LED tipica da installare per sostituire una lampada da 150W HPS è di 65 W. L'adattatore possiede delle perdite dell'ordine del 12% della potenza da installare che in questo caso sarebbero  $65 \cdot 0,12 = 7,8$  W. Se consideriamo un rendimento del Driver del 93% quindi con un consumo di  $65 \cdot [1 - (93/100)] = 4,5$  W allora il rendimento della catena Alimentatore serie, adattatore, driver e piastra led risulta di  $65 / (65 + 19,5 + 7,8 + 4,5) = 65 / 96,8 = 0,67 \cdot 100 = 67\%$ .

Solamente con la sostituzione della catena alimentatore serie per lampada a scarica e adattatore con un alimentatore serie appositamente dimensionato per la potenza installata si ottiene un rendimento più elevato intorno all'80/85%.

5. Il sistema è composto da un alimentatore serie AC/AV progettato in modo da trasformare la corrente costante impressa del circuito serie, per esempio 20 A, in tensione impressa a 220 V, che a sua volta è collegato ad una normale plafoniera led standard progettata per la derivazione.



Questo tipo di alimentatore serie può essere inserito in pozzetto (in questo caso viene fornito in muffola di alluminio) oppure fissato a parete o su palo (in questo caso viene fornito in cassetta inox) e collegare il secondario a 220V alla plafoniera led. Questa soluzione permette di utilizzare una plafoniera standard per gli impianti in derivazione evitando così problematiche di ricerca di un prodotto ad hoc in quanto ormai molte case costruttrici di armature a led mettono a disposizione del mercato della derivazione un'ampia gamma di potenze e soluzioni illuminotecniche.

Vantaggi:

- Sistema alimentatore serie e plafoniera LED fisicamente separati. In caso di guasto dell'alimentatore serie o della plafoniera è possibile sostituirli senza sostituire l'alimentatore serie o la plafoniera LED.
- Utilizzo di plafoniere led standard progettate per la derivazione garantendo in questo modo tutte le certificazioni di prodotto e le garanzie di qualità e affidabilità, in quanto a pilotare i led sono driver elettronici, facilmente reperibili sul mercato, severamente testati che garantiscono un'alimentazione in corrente e in tensione ai led estremamente stabile.
- L'alimentatore serie è costituito da un circuito ferromagnetico e pertanto possiede tutte le caratteristiche intrinseche di affidabilità di tale circuito.
- Permette le funzioni di risparmio energetico dei drivers (dimerazione) abbinate alla regolazione della corrente del circuito primario (-10% max, per es. passaggio da 20 a 18 A).
- Avendo il secondario con una tensione impressa a 220 V si può in seguito sostituire la plafoniera led esistente con una più performante dovuta al progresso della tecnologia (es. nuovi led o nonotubi).
- Il fattore di potenza è molto alto (> 0,9).
- Il rendimento è piuttosto elevato trattandosi di basse potenze e si attesta intorno all'80/85%
- In caso di apertura del carico l'adattatore non necessita di un sistema di cortocircuito del secondario.

Svantaggi:

- Necessita la sostituzione degli alimentatori già esistenti per le lampade a scarica (es. 150 W HPS).

## CONCLUSIONI:

Per quanto la tecnologia delle lampade a scarica venga applicata da più di mezzo secolo, essa rimane comunque un ottimo sistema di illuminazione in particolare dove sono necessari alti flussi luminosi e gli impianti serie si sono rivelati efficienti per queste tipologie di lampade rimarcando la loro maggiore affidabilità rispetto a quelli in derivazione.

La sopravvenuta tecnologia led sta lentamente prendendo piede come nuova sorgente luminosa per l'illuminazione stradale al posto di quella a scarica in particolare per le basse e medie potenze (70, 100 150W HPS). Tale tecnologia è stata sviluppata per gli impianti in derivazione in quanto i drivers che controllano le piastre Led necessitano di una tensione impressa e per questo motivo l'applicazione dei led agli impianti in serie si scontra con questa problematica le cui soluzioni sono state affrontate nella presente relazione.

Tra le varie soluzioni prospettate quella che permette un approccio affidabile ed efficiente al problema, in quanto garantisce alto rendimento, un elevato fattore di potenza ( $\cos\phi$ ) abbinati ad un'elevata flessibilità di manutenzione, è quella (punto 5) dell'utilizzo di un alimentatore serie che sul secondario fornisce non più una corrente impressa ma una tensione impressa di 220 V come richiesto dai drivers in dotazione alle plafoniere standard a led realizzate per la derivazione. Questa soluzione, come indicato nel punto 5, ha molti vantaggi come l'alta flessibilità data dal fatto di poter utilizzare un plafoniera led standard assegnata alla derivazione su un impianto serie e viceversa, ma come contro bisogna sostituire gli alimentatori serie per le lampade a scarica con quelli per i led.

Altre soluzioni che si potrebbero percorrere (punto 3b e 4) sono quelle di utilizzare gli alimentatori serie per le lampade a scarica già presenti negli impianti per alimentare direttamente con la loro corrente secondaria (1,8 A per i 150 W HPS o 3 A per i 250 W HPS) un convertitore AC/DC (punto 3b) che a sua volta alimenta una piastra con dei LED "speciali" collegati in serie che possono sostenere tale correnti di pilotaggio oppure un adattatore AC/AV che a sua volta alimenta una plafoniera led standard.

Come spiegato nel punto 3b tale soluzione possiede il vantaggio di utilizzare gli alimentatori già esistenti ma gli svantaggi evidenti sono quelli di dover ricercare dei Led "speciali" che sopportino alti valori di corrente (> 3 A) e dover realizzare un apparecchio illuminante ad Hoc per tale applicazione con tutte le problematiche che comportano le personalizzazioni.

Come evidenziato nel punto 4 questa soluzione ha il vantaggio di utilizzare gli alimentatori già esistenti abbinandoli a delle plafoniere led standard ma lo svantaggio più evidente è quello di avere un rendimento poco elevato dovuto alle alte correnti in gioco.

Sulla base di queste ultime considerazioni, sarebbe opportuno che nei vecchi impianti serie dove vi sono vecchi alimentatori serie per lampade a scarica oppure nei nuovi impianti serie da realizzare vengano utilizzati gli alimentatori serie (punto 5) che hanno sul secondario una tensione impressa di 220 V con plafoniere led standard; mentre sugli impianti di recente realizzazione o in quelli in cui sono stati installati nuovi alimentatori serie per lampade a scarica in sostituzioni di quelli vetusti o bruciati sarebbe opportuno utilizzare le soluzioni indicate dai punti 3b o 4.



**Bibliografia:**

- (1) Impianti in serie: declino o rinascita?" di Lorenzo Fellin e Matteo Pittarello – Univesità degli studi di Padova – Convegno “Impianti in serie e global service nell’illuminazione pubblica” – Torino 7 aprile 2005
- (2) Impianti Elettrici – A. Bossi E. Sesto – Editoriale Delfino (MI), 1968.
- (3) Il trasformatore a corrente costante per impianti di illuminazione in serie – M. Marchetti – L’Elettrotecnica vol. XII n° 34, 5 dicembre 1925.
- (4) Il sistema di illuminazione con lampade ad incandescenza in serie e trasformatori a corrente costante – G. G. Ponti – Atti dell’Associazione Elettrotecnica Italiana vol. XVII fascicolo 4.
- (5) Seminario Led e risparmio energetico nelle più comuni applicazioni di illuminazione - Il Led: cos’è e come funziona - Ing. Pedrotti Elena – Padova, 23 marzo 2013
- (6) Perché alimentare i circuiti di illuminazione pubblica in parallelo quando l’alimentazione serie è molto più conveniente sotto l’aspetto tecnico, economico e della sicurezza? – G. ORREA I regolatori di corrente negli impianti di illuminazione stradale - S. ROSATI Caratteristiche ed impiego dei regolatori statici nei circuiti a corrente costante