

# **CORRETTA REGOLAZIONE DELL'ILLUMINAZIONE A LED**

## Contenuto

1. Capire la dimmerazione dei LED	3
2. Spiegazione dettagliata delle tecnologie di dimmerazione dei LED	4
2.1. Dimmerazione con taglio di fase del bordo di entrata/uscita (taglio di fase del bordo di entrata/uscita)	
2.2. oscuramento a pulsante (pulsante di chiusura)	
2.3. DALI (Interfaccia di illuminazione digitale indirizzabile)	
2.4. DALI o Push	
2.5. Dimmerazione 1-10V	
2.6. 1-10V e spinta	
2.7. Dimmerazione PWM (modulazione di larghezza di impulso)	
2.8. PWM e push	
2.9. Dimmerazione wireless a radiofrequenza (RF)	
2.10. Radio RF e push	
2.11. Dimmerazione KNX	
2.12. Dimmerazione a gradini	
2.13. Dissipatore di tensione (dimmerazione a riduzione di tensione)	
3. Analisi comparativa dei metodi di dimmerazione dei LED	12
4. Considerazioni importanti per la scelta del metodo di dimmerazione corretto	14
5. Conclusione	15





## Guida alla regolazione dell'illuminazione a LED

La possibilità di regolare la luminosità dell'illuminazione offre numerosi vantaggi, dalla creazione dell'ambiente perfetto per le diverse attività al risparmio energetico e al prolungamento della durata delle sorgenti luminose. Esistono diverse tecnologie di dimmerazione per l'illuminazione a LED, ognuna con le proprie caratteristiche, vantaggi e considerazioni. Questa guida fornisce una panoramica completa di questi diversi metodi di dimmerazione per aiutarvi a scegliere le soluzioni più adatte alle esigenze dei vostri clienti.

### 1. Capire la dimmerazione dei LED

La dimmerazione degli apparecchi LED offre una serie di vantaggi che migliorano la funzionalità e l'attrattiva dei sistemi di illuminazione LED. Uno dei vantaggi principali è la possibilità di creare atmosfere e stati d'animo diversi in un unico ambiente. Regolando l'intensità della luce, gli utenti possono passare da un'illuminazione intensa e mirata, adatta alle attività lavorative, a un'illuminazione più morbida e rilassata per le attività del tempo libero. Questa flessibilità consente all'illuminazione di adattarsi alle diverse esigenze nel corso della giornata e di migliorare la fruibilità di qualsiasi ambiente.

Oltre all'atmosfera, la dimmerazione dei LED contribuisce in modo significativo al risparmio energetico. La riduzione della luminosità si traduce direttamente in un minor consumo di elettricità, che si traduce in bollette più basse e in una minore impronta ecologica. Inoltre, il funzionamento dei LED a bassa intensità genera meno calore, riducendo così il carico sui componenti e prolungando notevolmente la durata delle luci LED. Inoltre, la possibilità di regolare con precisione l'intensità luminosa può contribuire a migliorare la qualità della luce e a ridurre l'affaticamento degli occhi, creando un ambiente più confortevole e produttivo.

Per ottenere questi vantaggi, sono stati sviluppati diversi metodi di dimmerazione per l'illuminazione a LED. Questa guida esamina 14 tecniche diverse, tra cui il controllo di fase del bordo di entrata/uscita, push-to-close, DALI, DALI o push, 1-10V, 1-10V e push, PWM, PWM e push, radio RF, radio RF e push, KNX, controllo di fase del bordo di entrata, controllo di fase del bordo di uscita, dimmerazione a gradini e voltage sink. Ognuno di questi metodi utilizza un approccio specifico per regolare l'emissione luminosa dei LED, spesso coinvolgendo determinati tipi di dimmer, driver e segnali di controllo. La scelta ottimale del metodo di dimmerazione dipende da una serie di fattori, come il tipo di sorgente luminosa LED utilizzata, il livello di controllo e di sofisticazione desiderato, l'ambiente applicativo specifico e il budget complessivo del sistema di illuminazione. La comprensione delle sfumature di ciascuna tecnologia di dimmerazione consentirà ai clienti di prendere decisioni informate e di ottenere i migliori risultati di illuminazione possibili.

## 2. Spiegazione dettagliata delle tecnologie di dimmerazione dei LED

### 2.1. Dimmerazione con taglio di fase del bordo di entrata/uscita (taglio di fase del bordo di entrata/uscita)

La dimmerazione a taglio di fase/taglio di fase è una tecnologia ampiamente utilizzata per controllare la luminosità delle sorgenti luminose interrompendo la forma d'onda CA che alimenta l'apparecchio. L'interruzione è ottenuta tramite un interruttore elettronico, in genere un triac, che consente selettivamente il passaggio di corrente solo per una parte di ciascun periodo CA. Esistono due tipi principali di oscuramento del bordo d'attacco e del bordo d'uscita: il bordo d'attacco e il bordo d'uscita.

**Dimmerazione del bordo di attacco** La dimmerazione del bordo di attacco funziona ritardando il punto di ciascuna semionda di corrente alternata in cui inizia il flusso di corrente. Spostando l'inizio del flusso di corrente, si riduce la potenza media fornita al LED, con conseguente riduzione della luminosità. Storicamente, questo metodo è stato utilizzato principalmente per i carichi resistivi, come le lampade a incandescenza e alogene ad alta tensione. Sebbene alcuni LED dimmerabili siano compatibili con i dimmer a controllo di fase più avanzati, è fondamentale verificare questa compatibilità con il produttore del LED, poiché questo tipo di dimmer potrebbe non funzionare sempre in modo ottimale con i circuiti elettronici di molti prodotti LED in modo ottimale.

**Attenuazione del bordo d'uscita** A differenza della dimmerazione con bordo d'uscita, la dimmerazione con bordo d'uscita consente il passaggio della corrente all'inizio di ogni semionda di corrente alternata, ma interrompe il passaggio prima della fine del periodo. L'interruzione della corrente verso la fine del periodo riduce la potenza media fornita al LED e quindi oscura la luce. I dimmer a controllo di fase, che spesso utilizzano transistor MOSFET, sono generalmente considerati la scelta migliore per la regolazione dei carichi LED. Tendono a offrire prestazioni di dimmerazione più uniformi e, rispetto ai dimmer a controllo di fase leading edge, hanno meno probabilità di causare problemi come sfarfallii o ronzii quando vengono utilizzati con i LED.

I moderni driver LED dimmerabili sono spesso dotati di un'elettronica sofisticata in grado di interpretare il segnale di fase del bordo d'attacco o del bordo d'uscita e di convertirlo in una corrente di controllo precisa e adatta al LED. In questo modo si garantisce che il LED venga dimmerato in modo corretto ed efficiente.

**Vantaggi** La dimmerazione a taglio di fase Leading edge/trailing edge è relativamente facile da installare e spesso consente di sostituire direttamente gli interruttori della luce esistenti, il che è particolarmente pratico quando si convertono le installazioni esistenti ai LED. Inoltre, utilizza il cablaggio elettrico esistente all'interno dell'edificio, riducendo al minimo la necessità di nuovi passaggi di cavi. Rispetto ai sistemi di dimmerazione più avanzati, i dimmer a controllo di fase leading edge/trailing edge hanno in genere un costo iniziale inferiore, che li rende un'opzione interessante per i progetti attenti al prezzo. Inoltre, è disponibile un'ampia gamma di dimmer di fase leading edge/trailing edge e di prodotti LED che ne dichiarano la compatibilità disponibili.

**Svantaggi** L'intervallo di dimmerazione ottenibile con la dimmerazione leading edge/trailing edge per i LED può talvolta essere limitato, con alcuni LED che non possono essere dimmerati a livelli di luminosità molto bassi. È possibile che si verifichino sfarfallii o ronzii, soprattutto ai livelli di regolazione più bassi o in caso di incompatibilità tra il dimmer e il LED utilizzato. I dimmer a controllo di fase del bordo d'attacco e del bordo d'uscita possono anche generare interferenze elettromagnetiche (EMI), che possono influire su altri dispositivi elettronici sensibili. In termini di efficienza energetica, la dimmerazione leading edge/trailing edge può essere meno efficiente rispetto ad altri metodi come la modulazione di larghezza di impulso (PWM). Infine, garantire la compatibilità tra il dimmer e il carico LED può essere talvolta difficile a causa della mancanza di standard universali per i carichi elettronici e molti vecchi dimmer hanno requisiti di carico minimo che potrebbero non essere soddisfatti dai LED ad alta efficienza energetica.

**Campi di applicazione** La dimmerazione a taglio di fase del bordo di entrata e del bordo di uscita è spesso utilizzata nelle aree abitative, in particolare quando si passa da un'illuminazione convenzionale a incandescenza o alogena a una a LED. È adatto anche per le applicazioni in cui è richiesto un livello base di controllo dell'oscuramento e il costo è un fattore importante. Con un'attenta selezione dei componenti compatibili, la dimmerazione a taglio di fase leading edge/trailing edge può essere utilizzata anche in alcune installazioni commerciali.

**Componenti necessari** I componenti essenziali per la dimmerazione leading edge/trailing edge sono un dimmer leading edge/trailing edge, che può essere di tipo leading edge (RL) o trailing edge (RC), anche se in genere si consigliano dimmer trailing edge o dimmer universali (RLC) per la compatibilità con i LED. È inoltre necessario disporre di sorgenti luminose LED dimmerabili (lampade o apparecchi) che siano esplicitamente etichettate come compatibili con la dimmerazione a taglio di fase leading edge/trailing edge. Spesso è necessario un driver LED compatibile, che può essere integrato nella lampada LED o fornito come unità separata.



## 2.2. Dimmerazione con tasto (tasto di spegnimento)

La dimmerazione a pulsante, nota anche come dimmerazione "push-to-make", offre un modo semplice e intuitivo per controllare l'illuminazione a LED con un interruttore ad azione momentanea. Questo metodo si basa sulla pressione breve e prolungata dei tasti per eseguire varie funzioni.

**Modalità di funzionamento** Una breve pressione sul pulsante accende o spegne le luci LED. Una pressione più prolungata, di solito tenuta per un secondo o più, avvia il processo di regolazione della luminosità. La luminosità delle luci cambia ciclicamente verso l'alto o verso il basso finché il pulsante è premuto. Rilasciando il pulsante al livello di luminosità desiderato, la luce viene impostata su questa intensità. Alcuni sistemi possono cambiare la direzione di regolazione (verso l'alto o verso il basso) a ogni successiva pressione prolungata. Molti sistemi push-dim dispongono anche di una funzione di memoria che consente alle luci di tornare all'ultimo livello di luminosità impostato quando vengono riaccese dopo essere state spente.

**Vantaggi** La dimmerazione a pulsante è caratterizzata da un funzionamento semplice, che ne facilita la comprensione e l'utilizzo da parte degli utenti. Un singolo pulsante può spesso essere utilizzato per controllare più apparecchi LED collegati a driver o controller compatibili, creando un punto di controllo centrale. Questo metodo è particolarmente facile da integrare nelle installazioni elettriche esistenti, soprattutto nei progetti di ristrutturazione, poiché spesso richiede solo un semplice collegamento a due fili tra il pulsante e il driver o il controller LED. Inoltre, la funzione di dimmerazione a pulsante è spesso integrata in sistemi di dimmerazione più avanzati come DALI e 1-10V e offre una gamma versatile di opzioni di controllo.

**Svantaggi** I requisiti di cablaggio specifici per la dimmerazione a pulsante possono variare a seconda del driver LED o del controller utilizzato, pertanto è importante consultare la documentazione del prodotto. Il grado di precisione e la velocità di regolazione non possono essere regolati con la stessa precisione dei dimmer rotativi o scorrevoli. Nei sistemi multicanale più semplici, il controllo indipendente delle diverse zone di illuminazione può essere limitato se si utilizza solo la dimmerazione a pulsante.

**Aree di applicazione** La dimmerazione a pulsante è una soluzione versatile, adatta sia agli ambienti residenziali che a quelli commerciali, dove è richiesto un metodo di dimmerazione semplice e facile da usare. Viene spesso utilizzato in uffici, istituti scolastici, spazi commerciali e nell'industria dell'ospitalità. La sua semplicità di installazione lo rende particolarmente interessante per i progetti di ristrutturazione in cui la posa di nuove linee di controllo potrebbe risultare difficoltosa.

**Componenti necessari** I componenti fondamentali per la dimmerazione a pulsante sono un interruttore ad azione momentanea (interruttore di chiusura), che deve essere del tipo "normalmente aperto" e che ritorna alla posizione originale quando viene rilasciato, e un driver LED o un controller dotato di un ingresso "Push Dim" dedicato. Le sorgenti luminose LED (lampade o strisce LED) devono essere compatibili con il driver o il controller selezionato.

## 2.3. DALI (Digital Addressable Lighting Interface)

DALI, abbreviazione di Digital Addressable Lighting Interface, è un protocollo di comunicazione digitale altamente sviluppato e standardizzato, sviluppato appositamente per il controllo dei sistemi di illuminazione. Consente un controllo preciso e individuale di ogni apparecchio o gruppo di apparecchi all'interno di un sistema di illuminazione.

**Come funziona** Il DALI funziona tramite un bus dedicato a due fili che trasmette segnali di controllo digitali tra un controller DALI (spesso indicato come master) e i driver LED o altri dispositivi di controllo dell'illuminazione (slave) compatibili con DALI. Questo bus non solo trasmette le informazioni di controllo, ma alimenta anche i dispositivi DALI collegati. Una caratteristica importante del bus DALI è che il cablaggio è insensibile alla polarità, il che semplifica il processo di installazione. Il protocollo DALI supporta la comunicazione bidirezionale, in modo che il sistema di controllo possa ricevere un feedback dagli apparecchi, ad esempio il livello di luminosità attuale o lo stato di funzionamento. Ogni dispositivo DALI sul bus può essere indirizzato individualmente, consentendo un controllo granulare. Il sistema supporta anche il raggruppamento degli apparecchi d'illuminazione in zone, consentendo il controllo simultaneo di più apparecchi. Una singola linea DALI può in genere indirizzare fino a 64 dispositivi singoli.

**Vantaggi** Il DALI offre un controllo molto preciso e flessibile dei livelli di luce, consentendo una regolazione fine della luminosità e la creazione di scene di luce complesse. Il sistema è altamente scalabile ed è quindi adatto a installazioni luminose grandi e complesse in edifici commerciali e altri spazi di grandi dimensioni. DALI supporta funzioni avanzate di gestione dell'illuminazione, tra cui la possibilità di richiamare scene di illuminazione preimpostate, programmare modifiche dell'illumi-

nazione in base all'ora o alla presenza e integrarsi con i sistemi di gestione degli edifici per migliorare l'efficienza energetica e il controllo automatizzato. Inoltre, DALI offre prestazioni di dimmerazione coerenti tra tutti gli apparecchi collegati, garantendo l'uniformità dell'effetto luminoso.

**Svantaggi** Il costo iniziale dell'implementazione di un sistema DALI può essere superiore a quello di metodi di dimmerazione più semplici, a causa della necessità di driver LED speciali compatibili con DALI e di un controller master DALI. L'installazione può essere più complessa e richiedere l'osservanza di specifiche linee guida per il cablaggio DALI, che spesso includono la programmazione e la messa in funzione del sistema per assegnare gli indirizzi e configurare i parametri di controllo.

**Aree di applicazione** Il DALI è utilizzato principalmente in edifici commerciali, uffici, spazi commerciali, illuminazione architettonica e altre applicazioni in cui è essenziale un controllo dell'illuminazione sofisticato e flessibile. È ideale anche per i progetti in cui l'efficienza energetica, il controllo centralizzato e l'integrazione con altri sistemi dell'edificio sono considerazioni importanti per la progettazione.

**Componenti necessari** Per implementare un sistema di dimmerazione DALI, è necessario un controller master DALI che inizi e gestisca la comunicazione sul bus DALI. I driver LED compatibili con DALI sono necessari per ricevere e interpretare i segnali di controllo DALI e adattare di conseguenza l'emissione luminosa. Per collegare il controllore e i driver è necessario un bus DALI dedicato a due fili. In molti casi, per alimentare il bus è necessario un alimentatore DALI separato, anche se alcuni controller master possono disporre di un alimentatore integrato.

## 2.4. DALI o Push

Molti produttori di driver per LED riconoscono l'esigenza di flessibilità nel controllo dell'illuminazione e ora offrono dispositivi che supportano interfacce di controllo doppie, in modo da poter essere azionati sia tramite il protocollo digitale DALI che tramite un pulsante tradizionale.

**Funzionalità** Questi driver "DALI o Push" possono essere integrati in un sistema DALI completo e ricevere e rispondere ai comandi digitali di un controller master DALI. In alternativa, possono essere controllati localmente tramite un interruttore momentaneo standard collegato a un ingresso dedicato del driver. Quando viene controllato tramite il pulsante, il driver offre in genere una semplice accensione/spegnimento con una breve pressione e funzioni di dimmerazione (di solito un ciclo su/giù) con una pressione prolungata.

**Vantaggi** Questa capacità di doppio controllo offre una soluzione illuminotecnica versatile, in grado di adattarsi alle diverse esigenze di controllo all'interno di un progetto. Può fornire un percorso di migrazione che consente di avviare un'installazione luminosa con un semplice controllo a pulsante e di aggiornarla in futuro a un sistema DALI più sofisticato senza sostituire i driver LED. Può anche fornire un grado di ridondanza e garantire che l'illuminazione possa essere controllata anche se uno dei metodi di controllo ha un problema. Per i progetti di retrofit, utilizzare il cablaggio esistente per il controllo dei pulsanti può essere un primo passo più semplice rispetto all'installazione di un bus DALI completo.

**Svantaggi** La funzionalità push dim offerta da questi driver a doppia interfaccia può essere più limitata in termini di funzioni avanzate e opzioni di personalizzazione rispetto a un sistema DALI dedicato. Per utilizzare questa funzionalità è importante utilizzare driver LED che supportino specificamente sia gli ingressi di controllo DALI che quelli push dim.

**Campi di applicazione** I driver "DALI o Push" sono adatti a progetti in cui inizialmente è richiesta una semplice dimmerazione manuale, con la possibilità di una futura integrazione in un sistema più completo controllato da DALI. Sono utili anche nelle applicazioni in cui si apprezzano sia la semplicità che l'opzione di un controllo digitale più avanzato.

**Componenti necessari** I componenti chiave per questo tipo di controllo sono un driver LED che supporta sia gli ingressi DALI che quelli push dim. Se si utilizza il controllo DALI, è necessario anche un controller master DALI. Per il controllo push-dim è necessario un interruttore ad azione momentanea. Le sorgenti luminose LED (lampade o strisce LED) devono essere compatibili con il driver o il controller selezionato.



## 2.5. Dimmerazione 1-10V

La dimmerazione 1-10V è uno standard di controllo analogico consolidato che viene utilizzato per regolare la luminosità delle luci LED utilizzando un segnale a bassa tensione in corrente continua (CC) nell'intervallo compreso tra 1 e 10 volt.

**Modalità di funzionamento** In un sistema di dimmerazione 1-10V, una tensione di controllo di 10V corrisponde in genere al funzionamento della luce LED al 100% della sua luminosità massima, mentre una tensione di controllo di 1V (o talvolta di 0V in alcune implementazioni) abbassa la luce al suo livello minimo, che spesso si aggira intorno al 10% dell'emissione luminosa massima. Alcuni sistemi di dimmerazione 1-10V possono richiedere un interruttore separato per spegnere completamente la luce LED. Questo metodo di dimmerazione richiede un circuito di controllo a bassa tensione dedicato, oltre al cablaggio di alimentazione standard per la luce LED.

**Vantaggi** La dimmerazione 1-10V è generalmente considerata un metodo semplice e affidabile per controllare la luminosità dei LED. Gode di un ampio consenso tra i produttori di driver LED, che lo rendono una scelta comune per le applicazioni di illuminazione commerciale e industriale. Il sistema consente di dimmerare l'emissione luminosa in modo uniforme e continuo sull'intero intervallo di tensione di controllo.

**Svantaggi** L'implementazione della dimmerazione 1-10V richiede un cablaggio aggiuntivo a bassa tensione per il segnale di controllo, che può rendere l'installazione più complessa rispetto ad altri metodi come la dimmerazione leading edge/trailing edge. La gamma di dimmerazione ottenuta con il controllo 1-10V non sempre raggiunge lo 0% di luminosità; spesso il livello minimo di luminosità si aggira intorno al 10%. Rispetto ai protocolli digitali come DALI, la dimmerazione 1-10V offre funzioni meno avanzate e un controllo meno granulare dei singoli apparecchi.

**Campi di applicazione** La dimmerazione 1-10V è ampiamente utilizzata nelle installazioni di illuminazione commerciale e industriale, tra cui uffici, strutture educative, spazi commerciali e magazzini. È ideale per le applicazioni in cui è richiesta una dimmerazione regolare e continua di gruppi di apparecchi di illuminazione.

**Componenti necessari** I componenti necessari per un sistema di dimmerazione 1-10V sono un interruttore o un regolatore di luminosità 1-10V che genera il segnale di controllo a bassa tensione CC. Sono inoltre necessari driver LED dotati di un ingresso dimming 1-10V; questi driver interpretano la tensione di controllo e regolano di conseguenza la potenza erogata all'apparecchio LED. Per collegare il dimmer/controller al driver è necessario un cavo di controllo a bassa tensione, generalmente composto da due fili (spesso viola e grigio). Infine, le luci LED devono essere compatibili con i driver dimmerabili 1-10V.

## 2.6. 1-10V e spinta

Per offrire una maggiore flessibilità nel controllo dell'illuminazione, alcuni driver e controller per LED sono progettati per supportare sia le funzioni di dimmerazione analogica 1-10V sia quelle di dimmerazione a pulsante.

**Funzionalità** Questi dispositivi combinati consentono il controllo della dimmerazione tramite un segnale 1-10V, che può essere fornito da un dimmer 1-10V dedicato o da un sistema di controllo dell'illuminazione esterno. Dispongono inoltre di un ingresso a pulsante che consente l'accensione e lo spegnimento locali e il controllo della dimmerazione tramite un interruttore standard ad azione momentanea. Il controllo a pulsante funziona tipicamente con pressioni brevi per accendere/spegnere e pressioni prolungate per regolare la luminosità verso l'alto o verso il basso.

**Vantaggi** Questo approccio integrato fornisce una soluzione versatile per il controllo dell'illuminazione che offre sia la precisione del controllo analogico 1-10V sia la comodità di un'interfaccia locale a pulsanti. Ciò può essere particolarmente vantaggioso negli spazi commerciali in cui si utilizza un sistema di controllo centralizzato 1-10V per la gestione generale dell'illuminazione, ma anche i singoli utenti desiderano un modo semplice e localizzato per regolare l'illuminazione nelle loro immediate vicinanze tramite un pulsante. Questa combinazione offre anche un certo grado di ridondanza, in modo che le regolazioni dell'illuminazione siano possibili anche se uno dei metodi di controllo non è temporaneamente disponibile.

**Svantaggi** L'utilizzo di questa doppia funzionalità richiede driver o controller per LED progettati specificamente per supportare sia gli ingressi 1-10V che quelli push dim. Il cablaggio di questi sistemi può essere un po' più complesso rispetto a quello delle installazioni autonome 1-10V o push-dim, poiché è necessario effettuare i collegamenti per entrambi i segnali di controllo.

**Campi di applicazione** Questo metodo di controllo combinato si adatta bene agli spazi commerciali e pubblici in cui si desidera un equilibrio tra controllo centralizzato e interazione locale con l'utente. È applicabile anche in ambienti in cui gli utenti

possono preferire il feedback tattile di un pulsante fisico per il controllo di base, pur beneficiando delle funzioni di regolazione più precise offerte da un sistema 1-10V.

**Componenti necessari** I componenti necessari comprendono un driver LED o un controller con ingressi di controllo 1-10V e un ingresso push-dim, un interruttore dimmer 1-10V o un controller per fornire il segnale di controllo analogico e un interruttore a pulsante per il controllo locale. È inoltre necessaria una linea di controllo a bassa tensione adatta sia per il segnale 1-10V che per il collegamento del pulsante, insieme a sorgenti luminose LED compatibili con il driver selezionato.

## 2.7. Dimmerazione PWM (modulazione di larghezza di impulso)

La modulazione dell'ampiezza degli impulsi (PWM) è una tecnologia di dimmerazione molto efficace e ampiamente utilizzata per l'illuminazione a LED, che controlla la luminosità accendendo e spegnendo rapidamente l'alimentazione del LED a una frequenza elevata.

**Modalità di funzionamento** La luminosità percepita del LED è determinata dal duty cycle di questi impulsi di corrente rapida. Il ciclo di funzionamento indica la percentuale di tempo in cui la corrente è "accesa" in ogni periodo. Un duty cycle più elevato significa che il LED è acceso per una parte maggiore del periodo, con conseguente luce più intensa, mentre un duty cycle più basso determina una luce più fioca. La frequenza di commutazione è tipicamente molto alta, spesso nell'ordine dei kilohertz, in modo che l'occhio umano non percepisca i singoli impulsi e l'oscuramento appaia regolare e continuo.

**Vantaggi** Uno dei principali vantaggi della dimmerazione PWM è che consente di ottenere un'eccellente coerenza cromatica sull'intera gamma di dimmerazione. Poiché il LED funziona sempre alla massima corrente quando è "acceso", la resa cromatica rimane costante indipendentemente dal livello di dimmerazione. La PWM offre inoltre un intervallo di regolazione molto preciso e ampio, che spesso consente di regolare i LED fino a livelli di luminosità molto bassi senza problemi. Inoltre, la dimmerazione PWM è un metodo efficiente dal punto di vista energetico, poiché il LED è completamente acceso o completamente spento, riducendo al minimo le perdite di energia durante il processo di dimmerazione. Riducendo la potenza media fornita al LED, la PWM può anche contribuire a ridurre la generazione di calore, che può portare a una maggiore durata del LED.

**Svantaggi** La dimmerazione PWM può potenzialmente generare interferenze elettromagnetiche (EMI) o feedback, soprattutto a frequenze di commutazione più elevate o con strisce LED lunghe e parallele che fungono da antenne. Una frequenza PWM troppo bassa produce a sua volta effetti stroboscopici.

**Aree di applicazione** La dimmerazione PWM è una tecnica particolarmente diffusa ed efficace per controllare la luminosità dei flexband LED (strisce LED). Viene utilizzato anche in diverse altre applicazioni di illuminazione a LED in cui è richiesta una dimmerazione precisa e costante, come l'illuminazione architettonica, l'illuminazione di palcoscenici e l'illuminazione generale. La PWM è fondamentale anche per controllare l'intensità dei singoli canali di colore nei sistemi LED RGB e RGBW, al fine di ottenere un ampio spettro cromatico.

**Componenti necessari** I componenti chiave per la dimmerazione PWM sono un dimmer o un controller PWM, che genera gli impulsi ad alta frequenza e consente di impostare il ciclo di lavoro. Spesso è integrato nei controllori di strisce LED o nei driver LED. Anche le sorgenti luminose LED stesse (strisce LED, singoli LED o apparecchi LED) sono essenziali.

## 2.8. PWM e push

La combinazione tra il controllo preciso della dimmerazione PWM e la semplicità dell'interfaccia a pulsante offre una soluzione di controllo dell'illuminazione efficace e facile da usare.

**Modalità di funzionamento** In un sistema "PWM e Push", viene utilizzato un interruttore ad azione momentanea come comando primario. Una pressione breve accende o spegne le luci LED, mentre una pressione più prolungata avvia il processo di regolazione della luminosità. Il meccanismo di dimmerazione sottostante è la modulazione dell'ampiezza degli impulsi, che garantisce variazioni di luminosità uniformi e costanti. Il controller o driver PWM regola il duty cycle degli impulsi di corrente



inviati ai LED in base all'interazione dell'utente con il pulsante.

**Vantaggi** Questa combinazione offre un'esperienza utente intuitiva e familiare con le prestazioni di dimmerazione di alta qualità del PWM. È adatto a un'ampia gamma di applicazioni in cui sono richieste la facilità d'uso e la precisione del controllo della luminosità.

**Svantaggi** Questo metodo richiede un controller o un driver per LED appositamente progettato per supportare sia l'uscita PWM che l'ingresso push dim.

**Campi di applicazione** Il controllo "PWM e Push" è spesso utilizzato per l'illuminazione residenziale, compresa l'illuminazione sottopensile, l'illuminazione delle attività e l'illuminazione generale degli ambienti. Si trova anche in locali commerciali dove è richiesta una soluzione di dimmerazione semplice ma efficace.

**Componenti necessari** I componenti chiave di questo metodo sono un controller o driver per LED con capacità di uscita PWM e una connessione di ingresso push-dim dedicata, un interruttore ad azione momentanea e sorgenti luminose LED (strisce LED o apparecchi di illuminazione) compatibili con il controller/driver PWM.

## 2.9. Dimmerazione wireless a radiofrequenza (RF)

La dimmerazione wireless RF (radiofrequenza) offre un modo comodo e flessibile per controllare l'illuminazione a LED senza cavi di controllo aggiuntivi. Questo metodo utilizza le onde radio per inviare i comandi di dimmerazione da un controller a un ricevitore collegato agli apparecchi LED.

**Come funziona** Un trasmettitore RF, che può essere un telecomando portatile o un interruttore wireless montato a parete, invia segnali radio a un ricevitore RF. Questo ricevitore è in genere collegato al driver LED o integrato nell'apparecchio di illuminazione LED. Il ricevitore interpreta il segnale RF in arrivo e regola la luminosità dei LED di conseguenza, di solito variando la potenza fornita al driver. I sistemi di dimmerazione RF spesso offrono funzioni che vanno oltre la semplice dimmerazione, come la commutazione on/off, l'impostazione di scene e talvolta il controllo della temperatura di colore.

**Vantaggi** Il vantaggio principale della dimmerazione radio RF senza fili è l'eliminazione dei cavi di controllo aggiuntivi, che semplifica notevolmente l'installazione, soprattutto in caso di retrofit o quando il cablaggio è di difficile accesso. Offre la comodità del controllo remoto, consentendo agli utenti di regolare l'illuminazione a distanza. Molti sistemi RF possono controllare diverse zone di illuminazione o singoli apparecchi in modo indipendente l'uno dall'altro, offrendo un elevato grado di flessibilità nella progettazione e nella gestione dell'illuminazione.

**Svantaggi** I segnali RF possono essere soggetti a interferenze da parte di altri dispositivi elettronici che operano su frequenze radio simili, il che può occasionalmente compromettere l'affidabilità del comando di regolazione della luminosità. La portata effettiva del segnale wireless può essere limitata da ostacoli quali pareti e dalla potenza del trasmettitore e del ricevitore. I telecomandi e alcuni interruttori a parete senza fili possono richiedere batterie per il funzionamento.

**Aree di applicazione** La dimmerazione radio RF senza fili è adatta alle applicazioni di illuminazione residenziale e commerciale in cui si desidera la comodità del controllo senza fili o in cui il cablaggio fisico non è praticabile. È particolarmente vantaggioso per l'adeguamento di edifici esistenti senza la necessità di posare nuove linee di controllo e per il controllo dell'illuminazione esterna o di apparecchi di illuminazione in luoghi difficili da raggiungere.

**Componenti necessari** I componenti necessari sono un trasmettitore RF (telecomando o controller a parete) e un ricevitore RF collegato al driver LED o all'apparecchio di illuminazione. Sono inoltre necessarie sorgenti luminose LED dimmerabili (lampade o apparecchi di illuminazione) compatibili con il sistema RF specifico.

## 2.10. Radio RF e push

Combinando i vantaggi del controllo radio RF (radiofrequenza) senza fili con un'interfaccia locale a pulsanti, gli utenti hanno a disposizione un modo versatile e comodo per gestire l'illuminazione a LED.

**Funzionalità** Questo approccio ibrido consente di controllare l'illuminazione a LED sia con un telecomando RF wireless che con un pulsante fisico. Il telecomando RF offre la comodità di controllare gli apparecchi a distanza, mentre il pulsante offre un'opzione di controllo locale familiare e facilmente accessibile. Entrambi i metodi possono essere utilizzati per accendere o spegnere le luci e regolare il livello di oscuramento.

**Vantaggi** Questa combinazione offre una maggiore flessibilità e ridondanza nel controllo dell'illuminazione. Gli utenti possono scegliere il metodo di controllo più adatto alle loro esigenze in qualsiasi momento. Ad esempio, possono usare il telecomando per comodità quando entrano in una stanza, ma preferiscono il feedback tattile di un pulsante per le regolazioni localizzate.

**Svantaggi** L'implementazione di questo doppio sistema di controllo richiede driver o controller per LED progettati specificamente per supportare sia la comunicazione RF wireless che un ingresso push dim.

**Campi di applicazione** Questo metodo è adatto a locali residenziali e commerciali in cui è richiesta la comodità del controllo wireless e un'opzione di controllo locale facilmente accessibile. Può essere particolarmente utile nelle aree in cui gli utenti desiderano passare spesso dal telecomando all'interruttore fisico per accedere immediatamente al controllo della luce.

**Componenti necessari** I componenti necessari sono un trasmettitore RF (telecomando), un ricevitore RF con ingresso push-dim collegato al driver LED o all'apparecchio di illuminazione e un interruttore a pulsante. Sono inoltre necessarie sorgenti luminose LED dimmerabili (lampade o apparecchi di illuminazione) compatibili con il sistema RF specifico.

## 2.11. Dimmerazione KNX

KNX è un protocollo aperto altamente sviluppato e standardizzato per l'automazione degli edifici che consente il controllo integrato di vari sistemi edilizi, compresa l'illuminazione. È una soluzione robusta per la gestione completa dell'illuminazione in progetti di grandi dimensioni.

**Come funziona** In un sistema KNX, i componenti di controllo dell'illuminazione come i sensori, gli interruttori e gli attuatori di dimmerazione comunicano con i driver LED e le luci attraverso un bus KNX dedicato. Ciò consente un elevato grado di controllo centralizzato e automatizzato dell'intero sistema di illuminazione. KNX supporta una serie di funzioni di controllo dell'illuminazione, tra cui l'accensione e lo spegnimento, la dimmerazione, il controllo del colore per i LED RGB/RGBW, l'impostazione di scenari e l'integrazione con altri sistemi dell'edificio per l'efficienza energetica e il comfort.

**I vantaggi** KNX offre una soluzione altamente flessibile e scalabile, adatta a edifici grandi e complessi con requisiti di automazione estesi. Consente di integrare perfettamente l'illuminazione con altri sistemi dell'edificio, come HVAC, sicurezza e ombreggiatura, migliorando l'efficienza energetica e le prestazioni complessive dell'edificio. Il sistema offre funzioni di controllo avanzate come scene di luce programmabili, controllo a tempo, illuminazione in funzione della presenza e monitoraggio energetico.

**Svantaggi** Il costo iniziale dell'implementazione di un sistema KNX è tipicamente più elevato rispetto ad altri metodi di controllo dell'illuminazione, a causa della necessità di dispositivi specializzati certificati KNX e della complessità dell'architettura del sistema. L'installazione e la configurazione richiedono conoscenze e competenze specialistiche, che spesso coinvolgono integratori KNX certificati.

**Aree di applicazione** KNX è utilizzato principalmente in grandi edifici commerciali, case intelligenti con automazione estesa e altri progetti in cui il controllo integrato di più sistemi di edifici è un requisito fondamentale. È ideale per le applicazioni in cui l'affidabilità a lungo termine, la flessibilità e la gestione dell'energia sono fondamentali.

**Componenti necessari** Un sistema KNX richiede un alimentatore per bus KNX, dispositivi di controllo KNX (come touch panel e sensori), attuatori di regolazione LED KNX collegati a driver o luci LED, driver o luci LED compatibili con KNX e il cablaggio del bus KNX stesso.



## 2.12. Dimmerazione a gradini

La dimmerazione a gradini offre un modo semplice ed economico per ottenere una funzione di dimmerazione di base nell'illuminazione a LED con un interruttore on/off standard.

**Come funziona** Le luci LED o i driver con funzione di dimmerazione a gradini integrata consentono agli utenti di passare attraverso un numero limitato di livelli di luminosità predefiniti (ad esempio 100%, 50%, 25%, off) spegnendo e riaccendendo rapidamente l'interruttore della luce esistente entro un breve lasso di tempo. Ogni ciclo di accensione e spegnimento rapido passa in genere al livello di luminosità inferiore successivo nella sequenza.

**Vantaggi** Il principale vantaggio della dimmerazione a gradini è la sua semplicità, in quanto non richiede l'installazione di un dimmer dedicato. Utilizza il cablaggio elettrico esistente e gli interruttori standard, semplificando l'implementazione in installazioni nuove e in retrofit. Si tratta quindi di una soluzione molto conveniente per le esigenze di dimmerazione di base.

**Svantaggi** La dimmerazione a gradini offre solo pochi livelli di luminosità discreti e offre una flessibilità e una regolazione fine notevolmente inferiori rispetto ai metodi di dimmerazione continua. Il metodo di controllare l'oscuramento premendo l'interruttore della luce potrebbe non essere immediatamente intuitivo per tutti gli utenti.

**Campi di applicazione** La dimmerazione a gradini è adatta a locali residenziali e commerciali in cui sono richiesti occasionalmente solo pochi livelli di luce diversi e si vuole evitare il costo di un dimmer dedicato. Può essere utilizzato in aree in cui è sufficiente una semplice riduzione della luminosità, come i ripostigli o i corridoi.

**Componenti necessari** Il requisito principale per la dimmerazione a gradini è costituito da sorgenti luminose a LED (lampade o apparecchi di illuminazione) dotate di una funzione di dimmerazione a gradini integrata nel driver o nel circuito. Per controllare la sequenza di dimmerazione si utilizza un interruttore on/off standard.

## 2.13. Dissipatore di tensione (dimmerazione a riduzione di tensione)

L'oscuramento mediante riduzione della tensione consiste nel ridurre la tensione fornita a una sorgente luminosa a LED per ridurre la luminosità. Anche se concettualmente semplice, questo non è in genere il metodo preferito per dimmerare i LED.

**Modalità di funzionamento** Riducendo la tensione al di sotto della tensione di funzionamento nominale del LED, la corrente che attraversa il LED diminuisce, con conseguente riduzione dell'efficacia luminosa. Questo metodo è stato spesso utilizzato con le lampade a incandescenza, dove l'efficacia luminosa è direttamente proporzionale alla tensione applicata. Tuttavia, i LED hanno una caratteristica di tensione-corrente non lineare.

**Vantaggi** Il concetto di base della riduzione di tensione per l'oscuramento di una luce è facile da comprendere.

**Svantaggi** La riduzione della tensione fornita a un LED può portare a un comportamento di dimmerazione incoerente e imprevedibile. Anche la temperatura di colore del LED può variare al variare della tensione. La riduzione della tensione è generalmente meno efficiente dal punto di vista energetico per la dimmerazione dei LED rispetto a metodi come il PWM. Il campo di regolazione può essere limitato e il LED può spegnersi bruscamente al di sotto di una certa soglia di tensione. L'uso di dimmer progettati per lampade a incandescenza o alogene, che spesso funzionano riducendo la tensione, può provocare sfarfallii, ronzii o danni agli apparecchi LED.

**Campi di applicazione** La riduzione della tensione non è generalmente consigliata per la dimmerazione dei LED. Può verificarsi involontariamente se si utilizzano dimmer incompatibili.

**Componenti necessari** Questo metodo prevede in genere un dispositivo che riduce la tensione fornita al LED, come un semplice resistore o un dimmer incompatibile, insieme alla sorgente luminosa del LED stesso.

### 3. Analisi comparativa dei metodi di dimmerazione dei LED

Metodo di regolazione della luminosità	Funzionalità	Vantaggi:	Svantaggi
Inizio/fine fase	Interrompe la forma d'onda CA per ridurre la potenza. Varianti per il bordo anteriore e posteriore.	Installazione semplice, utilizzo del cablaggio esistente, costi di acquisizione ridotti, ampia diffusione.	Intervallo di dimmerazione limitato, potenziale sfarfallio/umore, EMI, minore efficienza, problemi di compatibilità, carico minimo
Pulsante di chiusura	Pressione breve su on/off, pressione prolungata su/giù per la regolazione della luminosità	Funzionamento semplice, controllo di più luci, facile retrofitting, combinabile con altri protocolli.	Il cablaggio può variare, la velocità/precisione di oscuramento può essere limitata, il controllo di zona limitato nei sistemi più semplici.
DALI	Protocollo digitale per il controllo individuale/di gruppo tramite bus a 2 fili.	Controllo preciso/flessibile, scalabile, funzioni estese (scene, integrazione), buon campo di regolazione.	Costi di acquisto più elevati, installazione complessa, richiede driver/controller DALI, programmazione necessaria.
2.4. DALI o Push	Accetta il controllo tramite bus DALI o pulsante.	Versatilità, percorso di migrazione, ridondanza, facilità di configurazione iniziale.	La funzionalità Push-Dim può essere limitata, richiede driver che supportino entrambi i metodi
1-10V	Dimmerazione analogica tramite segnale 1-10 V CC.	Semplice/affidabile, ampiamente supportato dai driver, dimmerazione fluida/scarsa.	Richiede un cablaggio supplementare a bassa tensione, il campo di regolazione non può raggiungere lo 0%, meno funzioni avanzate rispetto a DALI.
2.6. 1-10V e push	Combina la dimmerazione analogica 1-10V con il controllo a pulsante.	Fornisce un controllo analogico preciso e un comodo funzionamento manuale, utile per il controllo centrale/locale	Richiede driver che supportino entrambi, il cablaggio può essere più complesso.
PWM	Accende e spegne rapidamente l'alimentazione; la luminosità è controllata tramite il ciclo di lavoro.	Colore uniforme, gamma di dimmerazione precisa/ampia, efficienza energetica, riduzione del calore.	Potenziale EMI, sensibilità allo sfarfallio, richiede un driver/controller compatibile.
2.8. PWM e push	Dimmerazione PWM, controllata da un pulsante.	Interfaccia di facile utilizzo con dimmerazione PWM di alta qualità.	Richiede controller/driver che supportino entrambi
Radio RF	Controllo wireless tramite onde radio dal telecomando/interruttore al ricevitore.	Eliminazione delle linee di controllo, facilità di installazione (retrofit), comodità di controllo remoto, controllo di più zone.	Potenziali interferenze, limiti di portata, telecomandi/interruttori a batteria.
2.10. Radio RF e push	Combina il controllo radio RF senza fili con un pulsante locale.	Maggiore flessibilità/ridondanza delle opzioni di controllo, controllo locale familiare.	Richiede driver/controller che supportino sia RF che push dim
KNX	Sistema di automazione dell'edificio standardizzato attraverso una rete di bus.	Elevata flessibilità/scalabilità, integrazione in altri sistemi di edificio, funzioni di controllo estese	Elevati costi di acquisizione, installazione complessa, richiede conoscenze/componenti specialistiche
2.12. Dimmerazione a gradini	Commuta tra livelli di luminosità discreti con l'interruttore on/off standard.	Semplice da implementare, conveniente, utilizza i cablaggi/interruttori esistenti.	Limitato a pochi stadi discreti, il metodo di controllo può non essere intuitivo.
Dissipatore di tensione	Diminuisce la luminosità riducendo la tensione fornita al LED.	Concetto semplice.	Dimmerazione incoerente, potenziale cambiamento di colore, minore efficienza, portata limitata, può causare sfarfallii/danni



Applicazioni tipiche	Componenti necessari
Retrofit residenziali, esigenze di dimmerazione di base, alcune applicazioni commerciali.	Dimmer a taglio di fase del bordo d'attacco e del bordo d'uscita (RL/RC/RLC), sorgente luminosa LED dimmerabile, eventuale driver LED compatibile.
Residenziale, commerciale, uffici, istruzione, vendita al dettaglio, ospitalità, ristrutturazioni.	Interruttore ad azione momentanea, driver/controller LED con ingresso push-dim, sorgenti luminose LED compatibili
Edifici commerciali, uffici, negozi, illuminazione architettonica, progetti che richiedono un controllo sofisticato.	Controller master DALI, driver LED compatibile DALI, bus DALI a 2 fili, alimentatore DALI opzionale.
Progetti con potenziale per una futura integrazione DALI, applicazioni che apprezzano la semplicità e il controllo avanzato.	Driver LED con ingressi DALI e push-dim, controller master DALI (se utilizzato), interruttore a pulsante (se utilizzato), sorgenti luminose LED compatibili
Commerciale/industriale, uffici, istruzione, vendita al dettaglio.	dimmer/controller 1-10V, driver LED con ingresso 1-10V, cavo di controllo a bassa tensione, sorgenti luminose LED compatibili
Spazi commerciali che richiedono un controllo centralizzato e locale, applicazioni che prediligono pulsanti fisici e dimmerazione precisa	Driver/controllore LED con ingressi 1-10V e push-dim, dimmer/controllore 1-10V, interruttore a pulsante, cablaggio a bassa tensione, sorgenti luminose LED compatibili
Fasce flessibili LED, varie applicazioni LED che richiedono una dimmerazione precisa/consistente, miscelazione dei colori.	Dimmer/controller PWM (spesso integrato), driver LED (compatibile PWM o integrato), sorgenti luminose LED
Residenziale, commerciale, illuminazione sottopensile, illuminazione d'accento.	Controllore/driver LED con uscita PWM e ingresso push-dim, interruttore a pulsante, sorgenti luminose LED compatibili
Apparecchi per illuminazione residenziale, commerciale, retrofitting, per esterni/di difficile accesso	Trasmettitore RF (telecomando/interruttore), ricevitore RF (spesso integrato), sorgenti luminose LED dimmerabili compatibili con il sistema RF.
Applicazioni residenziali/commerciali in cui è richiesto un controllo sia remoto che locale.	Trasmettitore RF (telecomando), ricevitore RF con ingresso push-dim, interruttore a pulsante, sorgenti luminose LED compatibili
Grandi edifici commerciali, case intelligenti con automazione estesa, progetti che richiedono un controllo integrato.	Alimentazione bus KNX, dispositivi di controllo KNX, attuatori di dimmerazione LED KNX, driver LED/illuminazione compatibili con KNX, cablaggio bus KNX.
Aree residenziali/commerciali in cui è richiesta una dimmerazione di base con interruttori standard.	Sorgenti luminose a LED con funzione di regolazione graduale integrata, interruttore on/off standard.
Generalmente non consigliato per i LED, può verificarsi involontariamente con dimmer incompatibili.	Dispositivo di riduzione della tensione (resistenza, dimmer incompatibile), sorgente luminosa a LED

## 4. Considerazioni importanti per la scelta del metodo di dimmerazione corretto

La scelta del metodo di dimmerazione appropriato per l'illuminazione a LED richiede un'attenta considerazione di diversi fattori chiave per garantire prestazioni ottimali, compatibilità e soddisfazione dell'utente.

### Compatibilità:

Garantire la compatibilità di tutti i componenti del sistema di oscuramento è di fondamentale importanza. Il dimmer, il driver LED (se utilizzato) e la sorgente luminosa LED devono essere progettati per funzionare insieme. L'incompatibilità può causare una serie di problemi, tra cui luci tremolanti, ronzii, un intervallo di regolazione limitato in cui le luci non si riducono come previsto o addirittura danni alla luce LED o al dimmer stesso. Si consiglia sempre di consultare le specifiche del produttore e gli elenchi di compatibilità sia del dimmer sia del prodotto LED per assicurarsi che siano progettati per funzionare correttamente insieme.

### Possibili problemi:

Quando si dimmerano i LED possono verificarsi diversi problemi comuni. **Sfarfallio** è un problema comune spesso causato dall'utilizzo di un dimmer incompatibile, dall'utilizzo di LED di bassa qualità, dal superamento dei limiti di carico del dimmer o da problemi con il cablaggio elettrico. L'uso di dimmer specifici per i LED e la loro compatibilità con il carico LED specifico possono spesso eliminare lo sfarfallio. **Possono verificarsi anche ronzii o ronzii** possono verificarsi anche ronzii o rumori provenienti dal dimmer o dall'apparecchio a LED, spesso dovuti a un'incompatibilità tra il dimmer e l'alimentatore elettronico della sorgente luminosa a LED o talvolta a componenti allentati nell'apparecchio. A volte è possibile eliminare il rumore provando un altro dimmer che sia compatibile con il driver LED. In alcuni casi, i LED possono **mostrare** un leggero bagliore anche dopo essere stati spenti. Ciò può essere dovuto a una corrente residua nel circuito, soprattutto con alcuni tipi di dimmer. Se questo è un problema, potrebbe essere necessario utilizzare un dimmer con un dispositivo di spegnimento completo.

### Requisiti e complessità dell'installazione:

La complessità dell'installazione varia notevolmente a seconda dei diversi metodi di oscuramento. I semplici dimmer a taglio di fase anteriore/posteriore sono generalmente facili da installare e spesso sostituiscono un interruttore della luce standard. Anche la dimmerazione a pulsante è relativamente semplice e spesso richiede solo un collegamento a due fili al driver. Al contrario, sistemi come la regolazione della luminosità da 1 a 10 V richiedono linee di controllo aggiuntive a bassa tensione, mentre sistemi più avanzati come DALI e KNX necessitano di cablaggi più complessi e spesso includono programmazione e messa in servizio. Per installazioni complesse o in caso di incertezza, si raccomanda sempre di consultare un elettricista qualificato per garantire la sicurezza e il corretto funzionamento.

### Tipo di carico (ohmico, induttivo, capacitivo):

La comprensione delle caratteristiche di carico elettrico della sorgente luminosa a LED e del relativo driver è fondamentale per la scelta di un dimmer compatibile. I dimmer sono spesso etichettati con lettere che indicano i tipi di carico per cui sono progettati: "R" per carichi resistivi (come le lampade a incandescenza), "L" per carichi induttivi (come alcuni trasformatori) e "C" per carichi capacitivi (comuni con i driver LED). Molti driver LED rappresentano un carico capacitivo. L'utilizzo di un dimmer non progettato per il tipo di carico specifico può causare problemi di regolazione o danni ai componenti. Per l'illuminazione a LED, in genere si consigliano i dimmer RC (controllo di fase a taglio di fase) o RLC (dimmer universali), poiché sono più adatti ai carichi capacitivi presenti nella maggior parte dei driver LED.

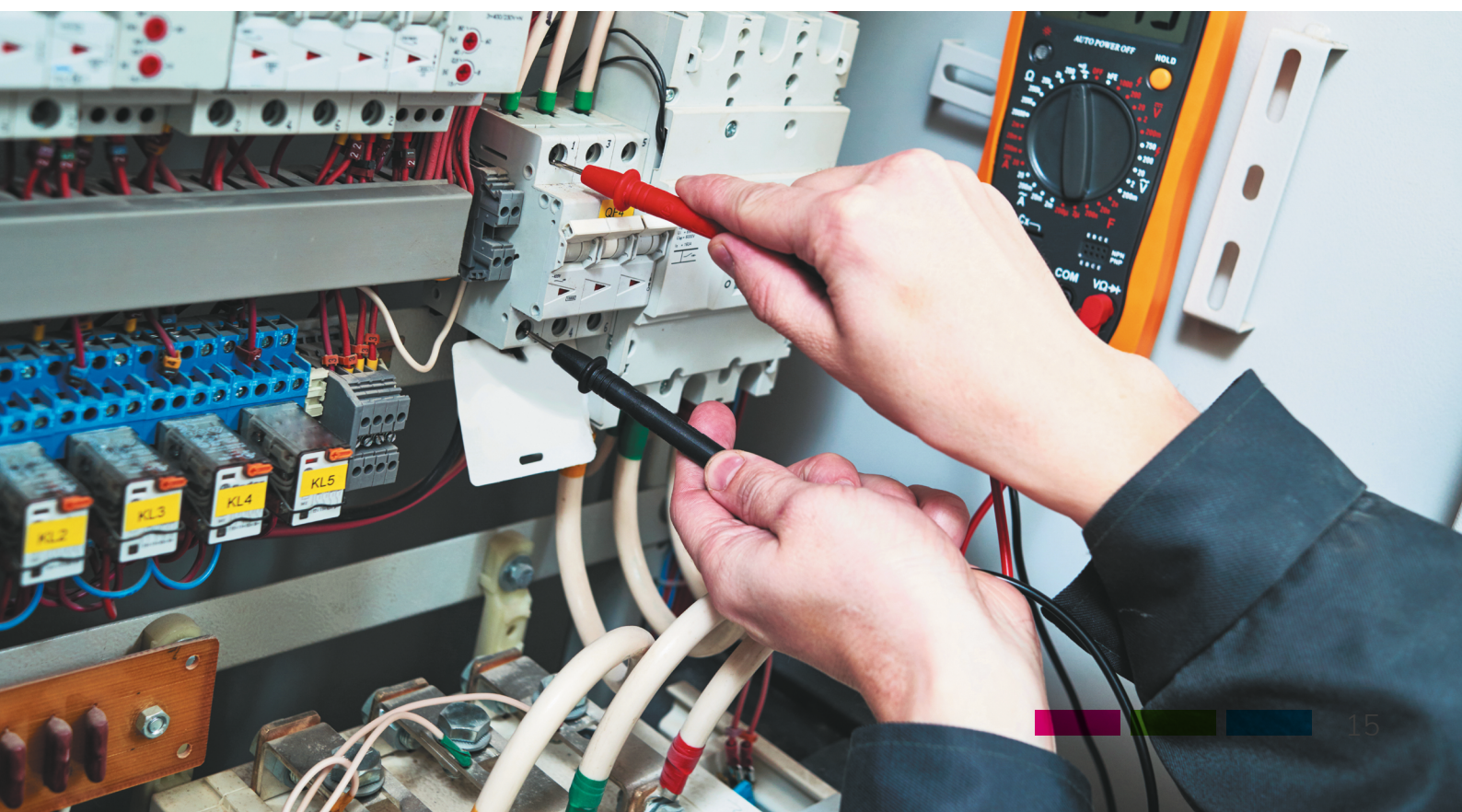


## 5. Conclusione

La varietà delle tecnologie di dimmerazione a LED è ampia e offre una vasta gamma di opzioni per le diverse esigenze e applicazioni. Dalla semplicità della dimmerazione leading edge/trailing edge e a pulsante al controllo avanzato di DALI e KNX, fino all'efficienza del PWM, ogni metodo offre i propri vantaggi e considerazioni. Quando si consiglia ai clienti la soluzione di dimmerazione più adatta, è fondamentale considerare fattori quali il livello di controllo desiderato, la complessità dell'installazione, i vincoli di budget e, soprattutto, la compatibilità tra dimmer, driver LED e sorgente luminosa LED.

Per le applicazioni residenziali non complesse e per i retrofit, la dimmerazione a taglio di fase del bordo di entrata e del bordo di uscita (in particolare la dimmerazione a taglio di fase del bordo di uscita) e la dimmerazione a pulsante offrono soluzioni facili da usare e convenienti. Negli ambienti commerciali che richiedono un controllo più avanzato, scalabilità e integrazione con i sistemi di gestione degli edifici, DALI e KNX offrono opzioni robuste e ricche di funzionalità. La dimmerazione PWM è una tecnologia estremamente efficace per le strisce LED e per le applicazioni in cui la coerenza del colore e l'ampia gamma di dimmerazione sono di estrema importanza. Gli approcci ibridi come "DALI o Push" e "1-10V e Push" offrono una maggiore flessibilità grazie alla combinazione di diverse interfacce di controllo. Metodi più semplici, come la dimmerazione a gradini, possono fornire una funzione di dimmerazione di base senza bisogno di dimmer dedicati, mentre la riduzione della tensione è generalmente sconsigliata per la moderna illuminazione a LED.

In definitiva, la scelta ottimale del metodo di dimmerazione dipende dai requisiti specifici del progetto. Sottolineando l'importanza di controllare la documentazione del prodotto, di consultare gli elenchi di compatibilità e di chiedere il parere di un esperto in caso di dubbi, i clienti potranno ottenere risultati di dimmerazione LED affidabili e soddisfacenti e sfruttare appieno il potenziale del loro investimento nell'illuminazione LED in termini di risparmio energetico, creazione di un ambiente e prolungamento della vita utile.



# IL TUO PARTNER

ISOLED® DAL 2008



**ISOLED® AUSTRIA**  
ISOLED FIAI Handels GmbH  
Egerbach 48  
A-6334 SCHWOICH  
AUSTRIA

Tel: +43 5372 219 999

E-Mail: [office@isoled.at](mailto:office@isoled.at)  
[www.isoled.at](http://www.isoled.at)



**ISOLED® GERMANIA**  
FIAI Trading GmbH  
Hollerweg 3  
D-85649 BRUNNTHAL  
DEUTSCHLAND

Tel: +49 810 48 999 200

Email: [office@isoled.de](mailto:office@isoled.de)  
[www.isoled.de](http://www.isoled.de)



**ISOLED® SVIZZERA**  
Allegra Swiss GmbH  
Einsiedlerstraße 15a  
CH-8834 SCHINDELLEGI  
SVIZZERA

Tel: +41 44 787 04 75

E-mail: [info@isoled.ch](mailto:info@isoled.ch)  
[www.isoled.ch](http://www.isoled.ch)