

LAMPIONI FOTOVOLTAICI: QUALI OPPORTUNITÀ PER LE PA

GRAZIE ALLA CONTINUA EVOLUZIONE I LAMPIONI FV RAPPRESENTANO UNA SOLUZIONE AFFIDABILE ANCHE PER NUMEROSE APPLICAZIONI URBANE. QUESTI SISTEMI DI ILLUMINAZIONE OFF-GRID PRODUCONO, ACCUMULANO E UTILIZZANO AUTONOMAMENTE L'ENERGIA SOLARE, GARANTENDO EFFICIENZA ENERGETICA, SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE, RIDUZIONE DEI COSTI DI GESTIONE E UN SERVIZIO DI ILLUMINAZIONE SICURO

DI ERICA BIANCONI

Negli ultimi anni l'illuminazione pubblica alimentata da energia solare ha raggiunto un elevato livello di maturità tecnologica. Se fino a qualche anno fa i lampioni fotovoltaici erano considerati una soluzione adatta esclusivamente a parcheggi, parchi o aree isolate, oggi rappresentano una valida alternativa anche per numerose applicazioni urbane grazie all'evoluzione dei moduli fotovoltaici, delle batterie al litio, dell'elettronica di controllo e dei corpi illuminanti Led ad alta efficienza. In questo contesto, i lampioni fotovoltaici non rappresentano più solo una soluzione per siti non raggiunti dalla rete elettrica, ma un'infrastruttura capace di integrare efficienza energetica, sostenibilità ambientale, riduzione dei costi di esercizio e maggiore affidabilità e sicurezza del servizio di illuminazione pubblica.

COME È FATTO UN LAMPIONE FOTOVOLTAICO?

Un lampione fotovoltaico è un sistema di illuminazione autonomo (off-grid) in grado di produrre, accumulare e utilizzare energia elettrica senza la necessità di essere collegato alla rete di distribuzione. L'integrazione tra modulo fotovoltaico, sistema di accumulo,

elettronica di controllo e corpo illuminante a Led consente di garantire l'illuminazione durante le ore notturne sfruttando esclusivamente l'energia solare prodotta durante il giorno. Durante le ore diurne il modulo fotovoltaico converte la radiazione solare in energia elettrica continua, che viene gestita dal regolatore di carica e immagazzinata nella batteria di accumulo. Al tramonto, il sistema di controllo rileva la riduzione dell'illuminamento e alimenta automaticamente il corpo illuminante Led utilizzando l'energia precedentemente accumulata. Al sorgere del sole il sistema interrompe l'alimentazione del punto luce e riprende la ricarica della batteria. L'intero processo avviene automaticamente, senza la necessità di collegamenti alla rete elettrica o di interventi dell'operatore

I principali componenti che costituiscono un moderno lampione fotovoltaico sono: pannello fotovoltaico, batteria di accumulo, regolatore di carica corpo illuminante a Led e palo di sostegno

La configurazione sopra sintetizzata rappresenta uno schema tipologico; le moderne soluzioni disponibili sul mercato possono integrare batteria, elettronica e moduli fotovoltaici con differenti configurazioni costruttive, mantenendo invariato il principio di funzionamento.

Il **modulo fotovoltaico** impiegato nei lampioni fotovoltaici è generalmente un modulo in silicio monocristallino. I moduli sono installati nella parte superiore del palo, orientati verso sud e inclinati in funzione della latitudine del sito di installazione, così da massimizzare la produzione energetica annuale. La potenza nominale del modulo dipende dal fabbisogno energetico del punto luce, dall'irraggiamento del sito, dal numero di giorni di autonomia richiesti e dall'efficienza del sistema di accumulo. Per applicazioni di illuminazione stradale si utilizzano generalmente moduli con potenze comprese tra 80 e 250 Wp, mentre per installazioni a elevata potenza illuminante o in località caratterizzate da minore disponibilità di energia solare possono essere adottati moduli anche superiori a 300 Wp. Dal punto di vista dimensionale, un modulo da 100-150 Wp presenta generalmente una superficie compresa tra 0,6 e 0,9 m², mentre moduli da 200-250 Wp raggiungono superfici prossime a 1,2-1,5 m². La scelta delle dimensioni deve tuttavia tenere conto non solo della produzione energetica, ma anche dei carichi meccanici trasmessi al palo, in particolare dell'azione del vento. La **batteria di accumulo** può essere collocata sia in un alloggiamento ricavato nel basamento del palo che sulla cima dello stesso ed è alloggiata in un vano dedicato, integrato nel palo oppure nella struttura di sostegno del modulo fotovoltaico, adeguatamente protetto dagli agenti atmosferici e dagli atti vandalici. L'introduzione delle moderne batterie al litio ha rappresentato uno dei principali fattori

di evoluzione dei lampioni fotovoltaici, incrementandone affidabilità, autonomia e durata nel tempo rispetto alle precedenti batterie al piombo, con una vita utile tra 8 e 15 anni e necessitano inoltre di minore manutenzione. Il sistema di accumulo viene normalmente dimensionato per garantire un'autonomia di alcuni giorni in assenza di irraggiamento solare, variabile in funzione della latitudine, del profilo di utilizzo e delle specifiche progettuali.

Il **regolatore di carica** costituisce il "cervello" del lampione fotovoltaico. Oltre a ottimizzare la ricarica della batteria e a proteggerla da sovraccarica, scarica profonda e inversione di corrente, gestisce automaticamente l'accensione e lo spegnimento del punto luce, controlla lo stato di carica dell'accumulo e, nei sistemi più evoluti, implementa funzioni di regolazione del flusso luminoso e telecomando. Inoltre, interrompe automaticamente l'alimentazione del corpo illuminante al raggiungimento della soglia minima di scarica della batteria, preservandone la vita utile e mantenendo attiva l'elettronica di controllo. Un ulteriore elemento distintivo dei sistemi più evoluti è rappresentato dalle funzionalità di smart lighting, che trasformano il singolo punto luce in un nodo intelligente della rete urbana. Tra le principali funzioni disponibili si possono citare: dimmerazione automatica del flusso luminoso, sensori di presenza, calendario astronomico, telecomando remoto, monitoraggio dello stato della batteria, e diagnostica e segnalazione dei guasti. L'integrazione di queste funzionalità consente di migliorare l'efficienza energetica, ridurre i costi di gestione e manutenzione e favorire lo sviluppo delle moderne smart city. Per quanto riguarda il **corpo illuminante**, l'evoluzione della tecnologia Led ha rappresentato il principale fattore abilitante della diffusione dei lampioni fotovoltaici. Oggi gli apparecchi Led stradali possono superare un'efficienza luminosa di 180 lm/W, consentendo di ottenere elevati livelli illuminotecnici con potenze assorbite estremamente ridotte. Ciò



permette di diminuire il fabbisogno energetico del punto luce e, di conseguenza, di ridurre le dimensioni del modulo fotovoltaico, della batteria di accumulo e della struttura di sostegno, con un sensibile contenimento dei costi complessivi del sistema. Un corpo illuminante a Led lavora a bassa tensione (12V – 24V) quindi in massima sicurezza contro scosse accidentali di alta tensione, ed è completo di alimentatore stabilizzato. Viene installato in un involucro con grado di protezione adeguato (tipicamente IP65 o superiore), progettato per garantire la resistenza agli agenti atmosferici e la corretta dissipazione del calore. Il **palo** costituisce la struttura portante del lampione fv ed è dimensionato per sostenere il corpo illuminante, il modulo fotovoltaico e i relativi carichi permanenti e accidentali, in particolare quelli dovuti all'azione del vento. Esso è ancorato a un basamento in calcestruzzo, prefabbricato o realizzato in opera, progettato nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC).

COME SI DIMENSIONA UN LAMPIONE FOTOVOLTAICO?

Il corretto dimensionamento di un lampione fotovoltaico rappresenta l'elemento fondamentale per garantirne affidabilità, continuità di esercizio ed economicità. A differenza di un tradizionale punto luce alimentato dalla rete, il sistema deve essere progettato affinché l'energia prodotta dal modulo fotovoltaico sia sufficiente ad alimentare il corpo illuminante e a ricaricare la batteria durante tutto l'anno, anche nei periodi caratterizzati da minore disponibilità di radiazione solare. Il progetto deve tenere conto di numerosi fattori, tra cui: latitudine del sito e irraggiamento disponibile e ombreggiamenti, fabbisogno illuminotecnico e giorni di autonomia richiesti, classe illuminotecnica secondo le norme di riferimento, dimensionamento del modulo fv e dimensionamento della batteria, temperatura di esercizio. Il corretto dimensionamento del modulo fotovoltaico rappresenta uno degli aspetti progettuali più importanti: un

ESEMPI INDICATIVI DI DIMENSIONAMENTO PRELIMINARE DI LAMPIONI FOTOVOLTAICI

TIPOLOGIA DI PUNTO LUCE	POTENZA LED	MODULO FV	BATTERIA LIFEPO4
Pista ciclabile	20–30 W	80–120 Wp	20–40 Ah
Parcheggio	40–60 W	120–180 Wp\	40–60 Ah
Strada urbana	60–90 W	180–250 Wp	60–100 Ah
Strada extraurbana	90–130 W	250–350 Wp	100–150 Ah

I valori riportati in tabella hanno carattere puramente indicativo e non sostituiscono il dimensionamento progettuale. Come visto, il dimensionamento definitivo deve essere sviluppato caso per caso, sulla base della verifica illuminotecnica, della producibilità solare del sito, dell'autonomia richiesta e delle perdite complessive del sistema.

pannello sottodimensionato potrebbe non garantire la completa ricarica della batteria durante i periodi invernali o in condizioni di elevata nuvolosità, mentre un sovradimensionamento comporterebbe un aumento dei costi senza un reale beneficio prestazionale. La potenza del modulo fotovoltaico può essere stimata, in prima approssimazione, rapportando il fabbisogno energetico del punto luce alla producibilità del sito, ottenuta mediante software di simulazione quali PVGIS. Ai fini del dimensionamento risulta tuttavia opportuno fare riferimento alle condizioni più gravose, generalmente corrispondenti al periodo invernale. Consideriamo, ad esempio, un lampione equipaggiato con un corpo illuminante LED da 60 W, funzionante mediamente 12 ore durante il periodo notturno:

Fabbisogno energetico giornaliero
= $E_g = 60\text{ W} \times 12\text{ h} = 720\text{ Wh/giorno}$

In base ai dati PVGIS per una località del Centro Italia, la producibilità del modulo fotovoltaico varia sensibilmente durante l'anno con mesi estivi nei quali un impianto può produrre giornalmente una media di 5 kWh/kWp, mentre nei mesi invernali la produzione può ridursi a circa 3 kWh/kWp, con i valori minimi

generalmente registrati nei mesi di dicembre e gennaio. Solitamente, il dimensionamento del modulo fotovoltaico e del sistema di accumulo non viene effettuato sulla producibilità media annua, ma considerando le condizioni più gravose, corrispondenti al periodo invernale, quando la produzione di energia è minima e le ore di funzionamento dell'illuminazione risultano generalmente maggiori. Un modulo fotovoltaico sottodimensionato potrebbe infatti non garantire la completa ricarica della batteria durante le giornate caratterizzate da scarsa radiazione solare, compromettendo la continuità del servizio. Al contrario, un eccessivo sovradimensionamento del modulo e della batteria determinerebbe un incremento dei costi di investimento senza apportare benefici proporzionati in termini di prestazioni. Nel nostro esempio, quindi Considerando una producibilità di 3 kWh/kWp-giorno (equivalente a 3 Wh/Wp-giorno), la potenza minima del modulo fotovoltaico risulta:

$P_{fv} = 720\text{ Wh} / (3\text{ Wh/Wp}) = 240\text{ Wp}$

Il progettista adotterà quindi un modulo commerciale di potenza pari o superiore (ad esempio 250 Wp),



verificando contestualmente il corretto dimensionamento della batteria di accumulo in funzione dell'autonomia richiesta e delle perdite complessive del sistema. Per quanto riguarda la batteria di accumulo, per lo stesso esempio, con un'autonomia ipotizzata di 4 giorni, si avrà:

Consumo = 720 Wh/giorno
Energia richiesta = 720 Wh/giorno
× 4 giorni = 2.880 Wh

Considerando una batteria da 24 V:

Capacità teorica = $C = 2.880\text{ Wh} / 24\text{ V} = 120\text{ Ah}$

Considerando il limite di scarica e un margine di sicurezza, sarà opportuno adottare una capacità superiore. Anche in questo caso, la batteria non si sceglie “a catalogo”, ma deriva dal progetto. Nella pratica progettuale, inoltre, deve essere considerata la profondità massima di scarica (Depth of Discharge – DoD), il rendimento del sistema di accumulo, l'invecchiamento della batteria e un opportuno margine di sicurezza. (A titolo puramente indicativo, la tabella nella pagina accanto riporta alcuni ordini di grandezza normalmente riscontrabili nelle applicazioni di illuminazione pubblica fotovoltaica).

VANTAGGI TECNOLOGICI, ECONOMICI E OPPORTUNITÀ

L'interesse crescente verso i lampioni fotovoltaici non deriva solo dalla possibilità di utilizzo di una fonte di energia rinnovabile, ma da una serie di benefici tecnologici, economici e ambientali. La convenienza dell'investimento non deve essere valutata considerando solo il costo di acquisto del punto luce, ma l'intero costo del ciclo di vita dell'opera (Life Cycle Cost – LCC) che comprende realizzazione, esercizio, manutenzione e consumi energetici. Dal punto di vista tecnologico, i lampioni fotovoltaici offrono numerosi vantaggi rispetto ai tradizionali sistemi di illuminazione alimentati dalla rete elettrica, in particolare: completa indipendenza dalla rete elettrica, continuità del servizio anche in caso di blackout, rapidità di installazione grazie all'assenza di scavi, cavidotti e linee elettriche, elevata affidabilità dovuta alla riduzione dei componenti infrastrutturali, ridotta manutenzione grazie all'impiego di tecnologia Led e batterie al litio, possibilità di integrare sistemi di Smart Lighting con telecontrollo, regolazione del flusso luminoso, sensori di presenza e monitoraggio remoto. L'integrazione di tali funzionalità consente inoltre di migliorare l'efficienza energetica e la gestione dell'intero impianto di illuminazione pubblica. Dal punto di vista economico, le principali voci di risparmio sono relative a eliminazione delle opere civili per la posa dei cavidotti, assenza della rete elettrica di alimentazione, dei quadri e degli allacciamenti, eliminazione dei costi di fornitura dell'energia elettrica, riduzione dei costi di manutenzione, minori tempi di realizzazione degli interventi. In molte applicazioni il costo necessario per estendere la rete elettrica può risultare superiore al costo del lampione fotovoltaico stesso, rendendo questa soluzione economicamente più conveniente già nella fase di investimento. Solitamente, i lampioni fotovoltaici trovano pertanto particolare convenienza nel caso di: piste ciclabili, parcheggi, parchi pubblici, percorsi pedonali, fermate del trasporto pubblico,

aree rurali, porti e campeggi, aree archeologiche, nuove urbanizzazioni. Per le Pubbliche Amministrazioni i lampioni fotovoltaici rappresentano una soluzione in grado di contribuire contemporaneamente agli obiettivi di efficientamento energetico, riduzione delle emissioni climateranti e contenimento della spesa pubblica. L'assenza di consumi elettrici di rete e la possibilità di integrare sistemi di telecontrollo e smart city favoriscono inoltre il raggiungimento degli obiettivi previsti dai Piani d'Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima. Ulteriore elemento di interesse è rappresentato dall'applicazione dei Criteri Ambientali Minimi negli appalti pubblici. I lampioni fotovoltaici possono contribuire al soddisfacimento di numerosi requisiti richiesti dai CAM, tra cui: riduzione dei consumi energetici, utilizzo di energia da fonte rinnovabile, riduzione delle emissioni di gas a effetto serra, minimizzazione dei costi del ciclo di vita, maggiore durabilità dei componenti, riduzione degli interventi manutentivi, integrazione con sistemi intelligenti di gestione dell'illuminazione. L'adozione di questa tecnologia può quindi rappresentare non solo una scelta tecnica ed economica, ma anche uno strumento concreto per supportare le Pubbliche Amministrazioni nel raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale previsti dalla normativa nazionale ed europea. L'illuminazione pubblica alimentata da energia solare non rappresenta più una soluzione di nicchia, ma una tecnologia ormai matura e consolidata, capace di coniugare sostenibilità ambientale, efficienza energetica e riduzione dei costi di esercizio. Come ogni tecnologia, tuttavia, richiede un'attenta valutazione tecnico-economica: in contesti già ampiamente serviti dalla rete elettrica la convenienza deve essere verificata mediante un'analisi del costo del ciclo di vita, mentre nelle nuove urbanizzazioni, nelle piste ciclabili, nei parcheggi, nelle aree verdi, nei siti isolati e in tutte le applicazioni prive di infrastrutture elettriche dedicate, i lampioni fotovoltaici rappresentano spesso la soluzione più efficiente e competitiva.