

Energie Rinnovabili per le scuole

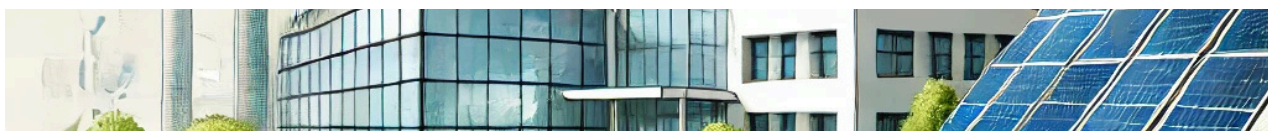
Il manuale del giovane ingegnere: principi di elettrotecnica e nozioni sulla progettazione di CER.



Lezione 3- Stima del fabbisogno elettrico della scuola.

ANGELUCCI VALERIO

Vice responsabile del progetto di Ricerca di Sistema "l'Utente al centro della transizione energetica"

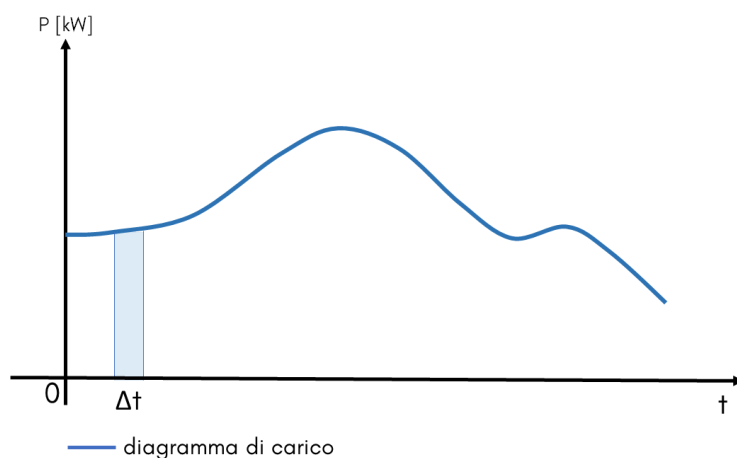
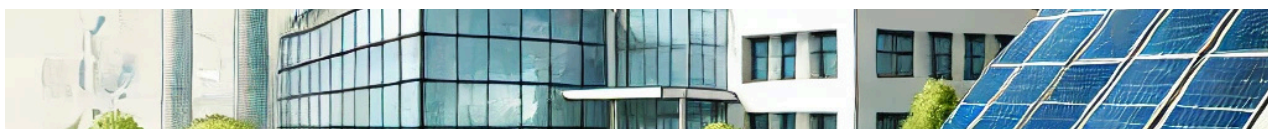


Lezione 3 - Stima del fabbisogno elettrico della scuola.

In questa lezione, sono introdotti i concetti essenziali per valutare il fabbisogno elettrico di un istituto scolastico e il diagramma di carico giornaliero, uno strumento chiave nel processo di dimensionamento dell'impianto fotovoltaico a servizio della CER.

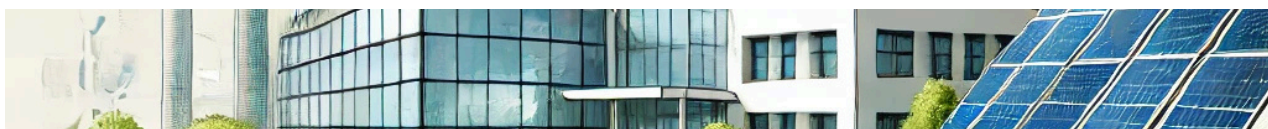
Il fabbisogno elettrico di una scuola

L'energia elettrica prelevata da una scuola dipende da numerosi fattori come: la dimensione dell'edificio, le caratteristiche tecnologiche degli impianti di riscaldamento, sicurezza e sorveglianza, la presenza di fonti rinnovabili, la tipologia degli spazi didattici e, infine, il numero e le caratteristiche tecniche dei dispositivi elettronici e degli apparati di laboratorio presenti (es. pc, scanner, televisori e stampanti). Tipicamente, il prelievo di energia elettrica si concentra durante l'orario delle lezioni, con un incremento significativo al mattino dovuto all'accensione delle luci e dei dispositivi elettrici ed elettronici. Al termine delle lezioni, i prelievi tendono a ridursi sebbene possano aumentare in presenza di attività extrascolastiche nel pomeriggio. Nelle ore serali, infine, rimangono attivi solo i dispositivi essenziali come l'impianto di sorveglianza e di illuminazione degli spazi scolastici; la richiesta di energia è quindi pressoché costante per tutta la notte. Di seguito si riporta una rappresentazione di massima di un diagramma di carico, uno strumento analitico che offre una comprensione visiva e immediata di come varia la potenza prelevata in una scuola durante le diverse ore del giorno.



Sull'asse delle ordinate è riportata la potenza richiesta, espressa tipicamente in kilowatt (kW) o nel caso di complessi scolastici in megawatt (MW). Sull'asse delle ascisse è invece indicato l'intervallo temporale, che può variare dalle ore per i diagrammi giornalieri, a giorni, settimane, mesi o addirittura anni. L'area contenuta nell'intervallo Δt e sottesa al diagramma di carico è l'energia prelevata in uno specifico intervallo temporale (ad esempio un'ora di lezione) ed è la risultante di tutti i consumi dei dispositivi attivi nella scuola nell'intervallo considerato. In relazione allo specifico periodo temporale considerato, il diagramma di carico si classifica in:

- **giornaliero:** mostra le variazioni della potenza prelevata nell'arco di un singolo giorno, utilizzato per analizzare le fluttuazioni di consumo tipiche delle attività quotidiane;
- **settimanale/mensile/annuale:** evidenzia le variazioni della potenza prelevata su periodi più estesi, utile per identificare tendenze stagionali o cicliche a lungo termine;
- **carico medio e di picco:** mostrano rispettivamente il prelievo medio giornaliero e i periodi di massima richiesta di potenza elettrica, indispensabili per pianificare interventi volti alla riduzione dei consumi elettrici.

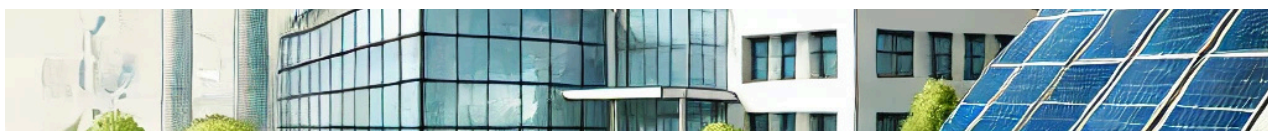


Attraverso l'analisi del diagramma di carico, si può ottenere una visione approfondita del modello di consumo elettrico di un istituto scolastico e promuovere misure di efficientamento energetico che possono includere: la riduzione dei consumi elettrici, l'adozione di fonti rinnovabili e la condivisione dell'energia all'interno della comunità.

Come valutare il fabbisogno elettrico di una scuola

Per stimare il fabbisogno elettrico di un istituto scolastico è indispensabile conoscere la potenza assorbita dagli utilizzatori elettrici, inclusi quelli non direttamente legati alla didattica. Se la scuola dispone di un sistema di monitoraggio è possibile valutare in modo accurato il diagramma di carico giornaliero. In assenza di tale sistema, si può comunque stimare il diagramma applicando metodologie basate su coefficienti statistici, il cui utilizzo è tipico nel campo della progettazione degli impianti elettrici ad uso civile. In questo caso, la potenza valutata è un'approssimazione del prelievo reale della scuola ed è definita "potenza convenzionale". Questa grandezza elettrica può essere stimata, inizialmente, utilizzando gli indicatori riportati in questa tabella:

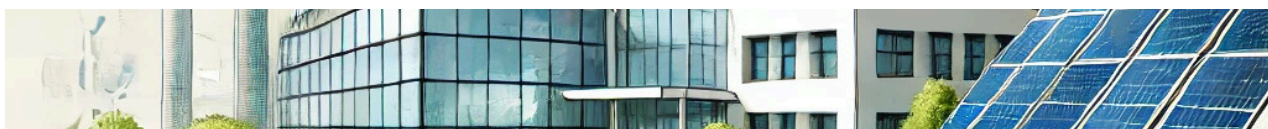
POTENZE SPECIFICHE PER DIVERSE CATEGORIE DI UTENZE	
Tipologia di utenza	Potenza specifica (VA/mq)
Uffici	70
Scuole	50
Ospedali	60
Alberghi	80
Abitazioni	40



La potenza specifica, espressa in VA/m^2 (volt-ampere/metro quadrato), indica la quantità di potenza apparente (VA) distribuita per ogni metro quadrato di superficie. Per ottenere la potenza attiva (W), è necessario moltiplicare la potenza specifica per i metri quadrati di superficie dell'edificio e per il fattore di potenza ($\cos \varphi$) considerato:

$$\text{Potenza attiva (W)} = \text{Potenza apparente (VA)} \times \text{Fattore di potenza } (\cos \varphi)$$

Il fattore di potenza, in un ambiente scolastico, è influenzato dalla presenza e dal tipo di dispositivi elettrici utilizzati. In una scuola, sono presenti un'ampia varietà di lampade, come quelle incandescenti, fluorescenti e a LED, oltre a: computer, server, proiettori, sistemi audio e di sorveglianza. Si possono trovare, inoltre, attrezzature specifiche per i laboratori, che possono includere motori elettrici e altri dispositivi utilizzati per la didattica. Per questo motivo, tale fattore può essere ragionevolmente scelto all'interno dell'intervallo di valori compresi tra 0,8 e 0,98. Volendo fare un esempio applicativo, si può considerare una scuola con una superficie di 1000 m^2 . Per questa tipologia di utenza civile, la potenza specifica vale $40 \text{ VA}/\text{m}^2$ e considerando un fattore di potenza tra 0,8 e 0,98, la potenza attiva prelevata è compresa tra 32 kW e 39 kW. Questo risultato può tuttavia non riflettere il valore effettivo di potenza prelevata nello specifico istituto in esame, poiché è determinato statisticamente. È infatti ottenuto facendo riferimento alla tipologia di utilizzatori elettrici comunemente presenti in una scuola, che potrebbero però differire per numero e caratteristiche tecniche, da quelli utilizzati nell'istituto di riferimento. Inoltre, la potenza attiva calcolata in questo modo, presuppone un prelievo costante durante tutto l'orario della didattica (nell'esempio precedente mediamente pari a 35,5 kWh), che può risultare eccessivo per due ragioni:



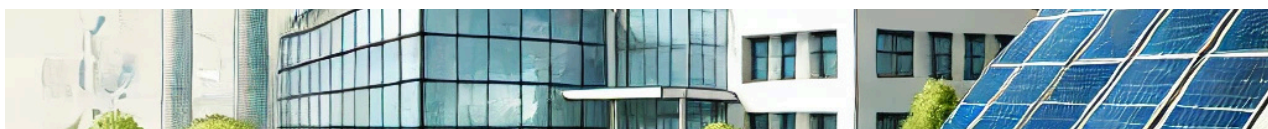
- alcune apparecchiature possono non essere utilizzate alla loro potenza nominale;
- è improbabile che tutte le apparecchiature funzionino simultaneamente.

Per ottenere un'immagine più accurata del reale prelievo della scuola, si può adottare una metodologia alternativa che prevede l'identificazione di tipologie simili di ambienti (es. aule, corridoi, laboratori) e la valutazione (misura o stima) dell'energia elettrica assorbita dagli utilizzatori presenti durante l'ora di lezione (impianto di illuminazione e dispositivi elettrici o elettronici). Nella pratica, si possono utilizzare tre metodi di calcolo, che pur generando risultati differenti, sono utili a determinare un intervallo di soluzioni da considerare per il successivo dimensionamento dell'impianto fotovoltaico da installare nella scuola:

- **Metodo 1:** misura diretta della potenza elettrica prelevata degli utilizzatori (impianto di illuminazione e dispositivi elettrici).
- **Metodo 2:** stima della potenza di esercizio dei dispositivi basata sulla correzione del loro valore di potenza nominale.
- **Metodo 3:** stima della potenza massima erogabile dalle prese nell'ambiente.

Occorre specificare che la potenza di generazione fotovoltaica, deve essere tale da garantire l'autoconsumo della scuola e la condivisione dell'energia all'interno della CER.

Si riportano di seguito i vantaggi e gli svantaggi di ciascun metodo:



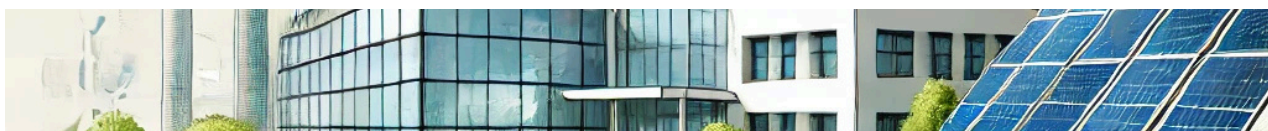
METODI DI VALUTAZIONE DEL CONSUMO DEGLI UTILIZZATORI			
METODO	DESCRIZIONE	VANTAGGI	SVANTAGGI
1	misura diretta della potenza elettrica prelevata dagli utilizzatori	accuratezza	tempi di misura elevati che possono essere difficili da conciliare con la normale didattica degli studenti.
2	stima della potenza di esercizio dei dispositivi basata sulla correzione del loro valore di potenza nominale.	semplicità: può essere applicato dagli studenti in autonomia	può sovrastimare o sottostimare il reale prelievo degli utilizzatori elettrici se non applicato correttamente
3	stima della potenza massima erogabile dalle prese nell'ambiente	ha valenza educativa e può essere applicato direttamente dagli studenti	può sovrastimare o sottostimare il reale prelievo degli utilizzatori elettrici se non applicato correttamente

Maggiori dettagli sull'applicazione pratica dei tre metodi è riportata di seguito.

Valutazione della potenza prelevata dall'impianto di illuminazione di un ambiente scolastico

Per determinare la potenza richiesta dall'impianto di illuminazione in una stanza, esistono due principali metodi:

- **misurazione diretta:** utilizza multimetri o wattmetri per misurare la corrente o la potenza effettivamente richiesta dall'impianto di illuminazione.
- **metodo approssimato:** richiede l'uso di un luximetro per misurare l'intensità luminosa nella stanza, che utilizzata in combinazione con il dato di efficienza luminosa della tipologia di lampada presente, permette di stimare qualitativamente la potenza assorbita dall'impianto di illuminazione. Questo approccio è meno



preciso del metodo di misurazione diretta ma risulta particolarmente utile in situazioni in cui l'accesso all'impianto elettrico è limitato o non praticabile.

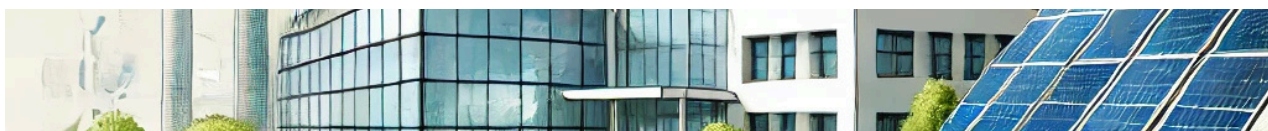
Valutazione della potenza richiesta dall'impianto di illuminazione tramite misurazione diretta.

L'impianto di illuminazione di un ambiente scolastico è diviso in due o più circuiti, che permettono di illuminare zone della stanza in modo indipendente. Per eseguire una misurazione diretta dell'energia assorbita dall'impianto di illuminazione occorre:

- identificare gli interruttori che comandano i gruppi di lampade;
- accedere al circuito elettrico, rimuovendo la placca e il frutto per identificare il conduttore di fase su cui leggere il valore di corrente. Questa operazione necessita di un multimetro con pinza amperometrica e deve essere eseguita da personale qualificato.

La misurazione diretta è la soluzione ottimale per determinare con precisione la potenza richiesta dell'impianto di illuminazione. Inoltre, questo metodo, permette di valutare un coefficiente correttivo per la specifica tipologia di lampada. Quando applicato alla potenza nominale della stessa, questo coefficiente permette di valutare rapidamente la potenza effettivamente necessaria al funzionamento della tipologia di lampada.

Va osservato che, nelle scuole, le lampade utilizzate sono generalmente limitate a poche tipologie standard. In tal caso, applicare i coefficienti correttivi al totale della potenza nominale di ciascuna tipologia presente, permette di stimare in modo rapido e preciso la potenza effettivamente richiesta dall'intero impianto di illuminazione scolastico.



Valutazione della potenza richiesta dall'impianto di illuminazione con metodo approssimato.

Per stimare la potenza assorbita dall'impianto di illuminazione, si può ricorrere all'uso di un luximetro. Questo strumento è dotato di un sensore fotosensibile capace di misurare il livello di illuminamento (in lux) su una specifica superficie, come la scrivania o la cattedra dell'insegnante [17]. La corrispondenza tra l'illuminamento e la potenza assorbita dalle lampade, si ottiene conoscendo:

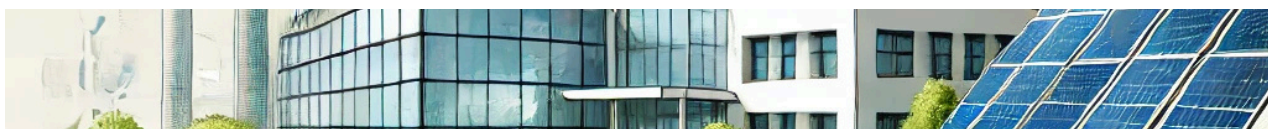
- la superficie della stanza, misurata in metri quadrati;
- l'efficienza luminosa della tipologia di lampada utilizzata, espressa in lumen per watt (lm/W);
- l'illuminamento medio valutato a partire da misurazioni svolte in diversi punti della stanza.

La potenza P dell'impianto di illuminazione, espressa in watt, è uguale al flusso luminoso f (dato dall'illuminamento E in lux per l'area A dell'ambiente in m^2 [18]) diviso per l'efficienza luminosa η della lampada utilizzata.

Per quantificare, ad esempio, il prelievo elettrico dell'impianto di illuminazione di un ambiente con superficie pari a $20 m^2$, in cui sono presenti lampade con un'efficienza luminosa di 15 lumen/watt e un illuminamento di 150 lux, si procede come segue:

i [17] L'illuminamento, misurato in lux (lumen per metro quadrato), è una misura del flusso luminoso che cade su una determinata area. Questa grandezza indica l'effettiva illuminazione di una superficie: un lux è definito come un lumen che cade su un metro quadrato.

[18] Il flusso luminoso, misurato in lumen, rappresenta la quantità totale di energia luminosa percepita dall'occhio umano, che proviene da una fonte luminosa.



- si calcola il flusso luminoso ϕ utilizzando la formula:

$$\phi = E \times A = 150 \text{ lux} \times 20 \text{ m}^2 = 3.000 \text{ lumen}$$

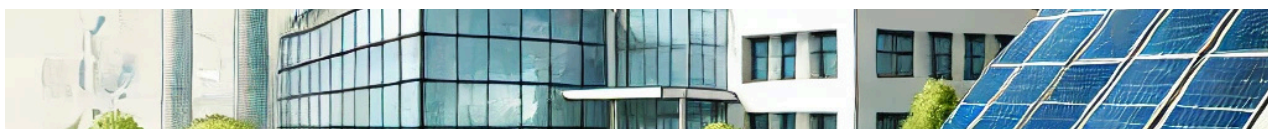
- e si stima la potenza assorbita dall'impianto di illuminazione P attraverso la formula:

$$P = \frac{\phi}{\eta} = \frac{3.000 \text{ lumen}}{15 \text{ lumen / watt}} = 200 \text{ watt}$$



Nella successiva tabella sono riportati i valori dell'efficienza luminosa di diverse tipologie di lampade, da utilizzare per stimare la potenza richiesta dall'impianto di illuminazione utilizzando un luxmetro. Si invita a consultare la scheda tecnica delle tipologie di lampade presenti nella scuola per ricavare valori specifici di efficienza luminosa.

Tipologia di lampada	Efficienza luminosa tipica [lm/W]
Lampadina ad incandescenza al tungsteno	12,5 ÷ 17,5
Lampada alogena	16 ÷ 24
Lampada a fluorescenza	45 ÷ 75
Lampada a LED	100 ÷ 120
Lampada ad alogenuri metallici	75 ÷ 100
Lampada a vapori di sodio ad alta pressione	85 ÷ 150
Lampada a vapori di sodio a bassa pressione	100 ÷ 200
Lampada a vapori di mercurio	35 ÷ 65



Va osservato, che per ottenere un risultato ragionevole dall'applicazione di questo metodo, occorre isolare la componente del flusso luminoso, che proviene dalle finestre della stanza, da quella generata dalle lampade [19]. Tuttavia, anche utilizzando questa accortezza, il risultato ottenuto è comunque qualitativo poiché la misura dell'illuminamento nell'ambiente è condizionata dalle componenti di luce riflesse e rifratte dalle pareti.

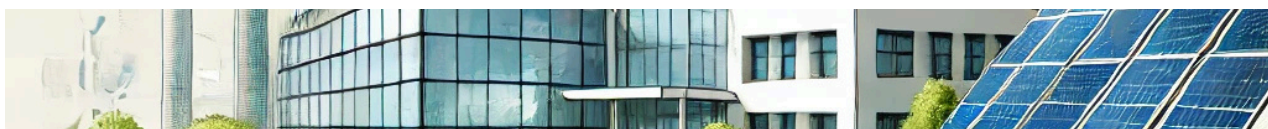
Stima della potenza elettrica richiesta dai dispositivi attivi nell'ambiente didattico.

La potenza elettrica richiesta in un ambiente scolastico durante una lezione è influenzata da vari fattori, tra cui il numero di dispositivi elettrici attivi, il loro stato di funzionamento e la potenza istantanea necessaria al loro esercizio. Ad esempio, l'impianto di illuminazione quando attivo richiede una quantità di potenza costante, a meno che non sia possibile gestire gruppi di lampade separatamente. Invece, la potenza necessaria al funzionamento dei dispositivi elettronici, può variare rispetto al loro valore nominale, in funzione della loro modalità di utilizzo. Di seguito, sono presentati tre metodi pratici per il calcolo della potenza richiesta dai dispositivi elettronici.

Metodo 1: misura diretta della potenza assorbita dai dispositivi.

Questo metodo prevede l'uso di multimetri digitali con pinze amperometriche e/o prese intelligenti. Questi strumenti, che devono essere acquistati preliminarmente in numero adeguato a quello degli studenti coinvolti nell'attività di valutazione, permettono di misurare direttamente la corrente assorbita durante l'attività didattica da questi dispositivi.

i [19] la misura deve essere svolta a finestre oscurate o per differenza. Nell'ultimo caso si misura l'illuminamento sulla superficie a luci accese e successivamente a luci spente e si ottiene il contributo delle fonte di luce esterna per differenza.



Per valutare la potenza complessivamente utilizzata, si moltiplica la tensione di rete standard pari a 220 V, per la somma delle correnti rilevate su ciascun dispositivo. Il risultato ottenuto è successivamente corretto applicando il fattore di potenza, che varia tipicamente tra 0,95 e 0,98.

$$P_{Tot} = V_n \cdot I_{Tot} \cdot \cos\phi_n$$

L'implementazione di questo metodo potrebbe richiedere diversi giorni per completare accuratamente l'analisi di tutti gli spazi interessati e, per questo motivo, è fondamentale pianificare le attività di valutazione con sufficiente anticipo. Questa pianificazione permette di ridurre al minimo l'interruzione delle normali attività didattiche e di garantire che la raccolta dei dati avvenga nel modo più efficiente e meno invasivo possibile.

Metodo 2: stima della potenza basata sulla correzione del valore di potenza nominale dei dispositivi.

Se non si dispone di tempo e strumenti di misura per valutare la potenza assorbita dai dispositivi nell'ora di lezione, si può adottare un approccio più rapido basato sull'applicazione di un coefficiente correttivo. Nella pratica, si sommano le potenze nominali di tutti i dispositivi elettrici presenti e utilizzati nell'ambiente e si moltiplica il risultato per un coefficiente di riduzione globale. Questo coefficiente considera l'uso simultaneo dei dispositivi e il valore effettivo della potenza richiesta durante il loro normale esercizio, generalmente inferiore al valore nominale. Il coefficiente di riduzione globale è derivato da studi e test sperimentali riportati nei manuali tecnici utilizzati per il dimensionamento degli impianti.



Ambiente di utilizzazione	Coefficiente di riduzione
Alberghi	0,6 - 0,8
Ospedali	0,5 - 0,75
Grandi magazzini	0,7 - 0,9
Scuole	0,6 - 0,7

Pur non essendo preciso come il metodo di misurazione diretta (metodo 1) è molto rapido e può essere implementato dagli alunni senza il supporto di personale qualificato.

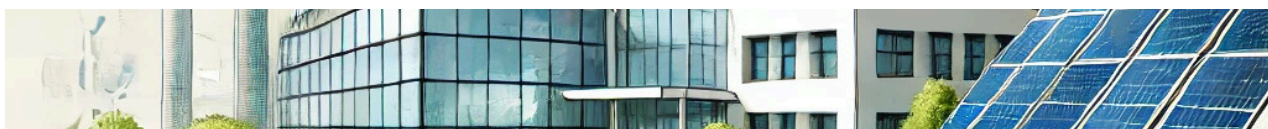
Metodo 3: stima della potenza massima erogabile dalle prese nell'ambiente.

Il metodo 3 permette di calcolare la potenza massima che le prese elettriche possono erogare in un ambiente didattico. Questo calcolo si basa su ipotesi preliminari riguardo al numero e alla tipologia degli utilizzatori elettrici attivi, alla loro modalità di utilizzo contemporaneo e alla percentuale di potenza effettivamente utilizzata rispetto al valore nominale. Importante è sottolineare che per l'applicazione di questo metodo non sono necessari strumenti di misura né dati specifici come, ad esempio, quelli del consumo presenti nelle bollette. Il calcolo inizia determinando la potenza massima P_M che può essere erogata da una presa elettrica operante alla tensione nominale di 220 V, corrente nominale 16 A e fattore di potenza che dipende dalla tipologia di sistema considerato (monofase o trifase):

$$P_M = V_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n$$

con $\cos\varphi_n$ convenzionalmente assunto pari a 0,9.

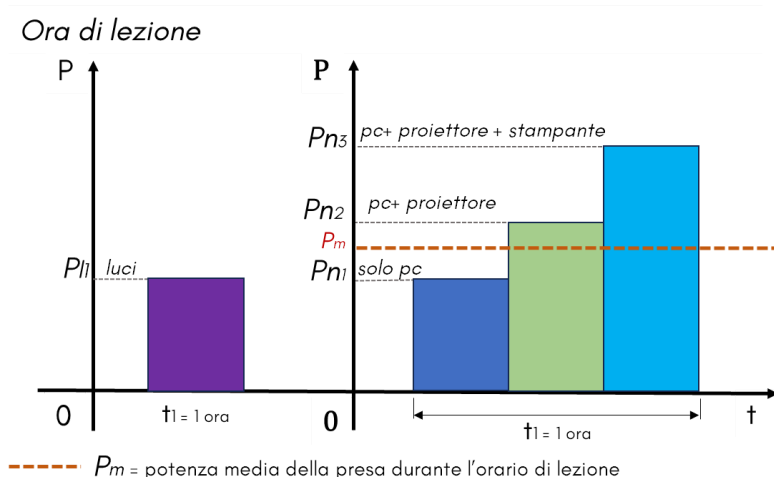
Per le prese trifase, la potenza massima si calcola come:



$$P_M = \sqrt{3} \cdot V_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n$$

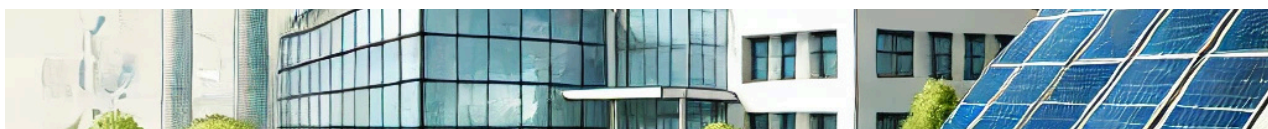
con $\cos\varphi_n$ che può essere assunto convenzionalmente pari a 0,8.

Nel regime monofase, ogni presa elettrica da 16 A e fattore di potenza 0,9, può teoricamente erogare una potenza massima di 3168 W. Il valore effettivo erogato, dipende però dalla potenza realmente richiesta dai dispositivi nel normale funzionamento e dal loro utilizzo.



Per una stima accurata di questa grandezza energetica, si introducono due coefficienti correttivi: il coefficiente di utilizzazione (K_u) e il coefficiente di contemporaneità (K_c). Questi coefficienti aiutano a valutare l'effettivo utilizzo degli apparecchi elettrici e ad adeguare la potenza massima teorica erogata dalle prese alle condizioni di utilizzo reali:

- **il coefficiente di utilizzazione (K_u)**, tiene conto di quanto effettivamente un apparecchio richiede alla presa elettrica rispetto alla sua potenza nominale.
- **il coefficiente di contemporaneità (K_c)**, considera la probabilità che tutti gli apparecchi collegati siano in uso simultaneo.



Nel normale funzionamento, la massima potenza che le prese elettriche erogano si calcola come:

$$P_{\max_prese} = N \cdot P_M \cdot K_c \cdot K_u = N \cdot P_M \cdot K_g$$

$$K_u = \frac{\sum_{p=1}^N P_{m_p}}{\sum_{i=1}^N P_{n_i}} \quad K_c = \frac{P_{on}}{P_{tot}}$$

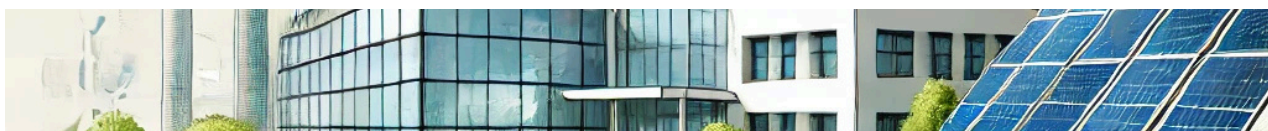
Con:

PM: potenza massima erogata dalle prese nel regime considerato (monofase o trifase);

N: numero di prese dell'ambiente;

- Ku: coefficiente di utilizzazione, pari alla somma della potenza che si stima le prese forniscano (Pm) e la potenza nominale complessiva dei dispositivi elettronici (Pn);
- Kc: coefficiente di contemporaneità, pari al rapporto tra il numero di prese che alimentano contemporaneamente i dispositivi della stanza (Pon) e il totale delle prese installate (Ptot).
- Kg= coefficiente globale parti al prodotto di Kc e Ku

I coefficienti di utilizzazione (Ku) e di contemporaneità (Kc) variano tra 0 e 1 e sono scelti ipotizzando un funzionamento realistico dei dispositivi durante l'ora di lezione. In letteratura il loro prodotto viene definito coefficiente di riduzione globale (Kg) e :



- per prese monofasi di tipo civile, tipiche in ambienti residenziali o uffici, assume valore compreso tra 0,05 e 0,2.
- per prese trifasi, comuni in contesti industriali o commerciali, si attesta tra 0,15 e 0,4.

Se si vuole personalizzare la valutazione dalla potenza erogata dalle prese d'ambiente, si può calcolare in autonomia K_u e K_c ricorrendo a misurazioni e osservando il contemporaneo utilizzo durante la didattica.

Considerazioni sui tre metodi

I tre metodi presentati, forniscono una valutazione qualitativa del diagramma di carico di una scuola e se impiegati congiuntamente, consentono di determinare il fabbisogno elettrico giornaliero minimo e massimo dell'istituto. Queste informazioni sono cruciali per la valutazione preliminare della potenza di generazione fotovoltaica da installare, che successivamente dovrà essere scelta considerando anche la disponibilità di superficie utile per l'installazione dell'impianto, le risorse economiche disponibili e lo scopo della CER, che è di promuovere la condivisione di energia proveniente da fonti rinnovabili.

Dimensionare l'impianto basandosi sul carico massimo stimato, può essere una valida strategia se la CER è prevalentemente composta da utenze domestiche e necessita quindi generazione rinnovabile. In tal caso, è fondamentale che la scuola si impegni a coinvolgere un numero sufficiente di membri per avere elevati livelli di condivisione che rendano sostenibile l'investimento. Questo approccio non solo favorisce l'utilizzo di energia rinnovabile, ma promuove anche il senso di comunità e cooperazione all'interno della CER.



Applicazione dei metodi a un caso studio reale: aula di 48 mq

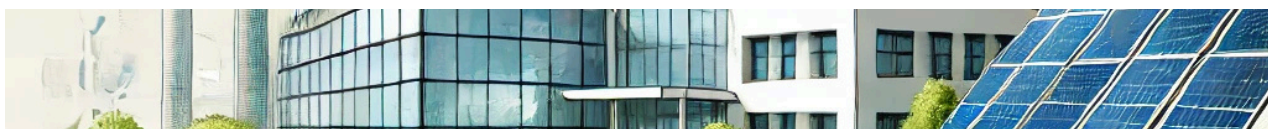
L'aula in esame presenta vari dispositivi elettrici, ciascuno con caratteristiche tecniche ben definite:

- 8 Plafoniere, ciascuna equipaggiata con due lampade T8 da 1,2 metri e due alimentatori con reattore. La potenza nominale complessiva è di 608 W, corrispondente a 76 W per plafoniera.
- un pc, con un assorbimento di corrente dichiarato dal costruttore di 3 A.
- un monitor, con un assorbimento di corrente dichiarato di 1 A
- una lavagna luminosa, con assorbimento dichiarato di 4,5 A.

Alla tensione di rete di 220 V e fattore di potenza di 0,9, i tre dispositivi hanno potenze nominali rispettivamente di : 594 W (il PC), 198 W (il monitor) e 891 W (la lavagna luminosa), valutate con la formula:

$$P_n = V_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi$$

La potenza totale necessaria ad illuminare l'ambiente didattico e per il funzionamento normale dei dispositivi è quindi stimata in 2291 W, stando alle potenze nominali valutate. Tuttavia, come più volte sottolineato, è fondamentale correggere questo valore per riflettere l'uso reale degli apparecchi. Si riporta di seguito l'applicazione dei metodi precedentemente descritti per valutare l'effettivo assorbimento dei dispositivi considerati.



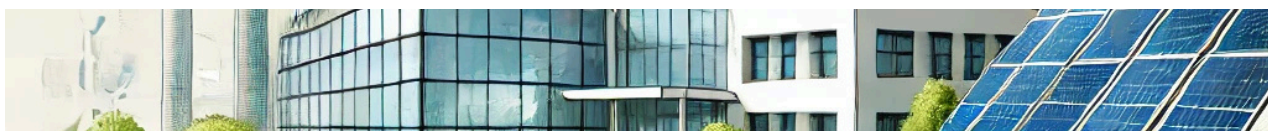
Valutazione della potenza effettivamente richiesta applicando il metodo di misura diretta.

In questa stanza, l'illuminazione è garantita da 8 plafoniere suddivise in due circuiti elettrici distinti e ciascun circuito alimenta quattro plafoniere. Ogni plafoniera è equipaggiata con due lampade T8 e relativi alimentatori. La corrente erogata da ogni circuito alle quattro plafoniere è di circa 1 A. Considerando una tensione di 220 V e un fattore di potenza di 0,9 la potenza erogata alle quattro plafoniere (lampade + alimentatori) è di 198 W. Di conseguenza, la potenza effettivamente imputabile alla coppia di lampade contenute nella plafoniera, compresa la quota richiesta dagli alimentatori è di 49,5 W, un valore decisamente inferiore ai 76 W valutati con i dati del costruttore. Per calcolare il fattore correttivo applicabile a queste plafoniere, si può utilizzare la seguente formula:

$$K_{lamp} = \frac{P_m}{P_n} = \frac{49,5}{76} = 0,65$$

con P_m , potenza misurata e P_n , potenza nominale. Questo fattore correttivo indica che solo il 65% della potenza nominale richiesta dalle lampade e dagli alimentatori è effettivamente utilizzata. La potenza effettivamente richiesta dal complesso di plafoniere si calcola quindi:

- contando il numero totale delle plafoniere dello stesso tipo presenti nell'istituto;
- moltiplicando il numero di plafoniere per la potenza nominale dichiarata dal costruttore (76 W in questo caso);
- applicando il fattore di riduzione 0,65, al risultato ottenuto dal passaggio precedente.



Valutazione qualitativa della potenza richiesta dall'impianto di illuminazione.

Se la misurazione diretta della corrente assorbita dall'impianto di illuminazione non è possibile, si può utilizzare un luxmetro per ottenere una stima qualitativa della potenza richiesta dalle lampade. Nel caso studio presentato, l'illuminamento massimo rilevato nella stanza nel tardo pomeriggio è di 232 lux. Per convertire questo dato in flusso luminoso, si moltiplica l'illuminamento per la superficie dell'ambiente considerato:

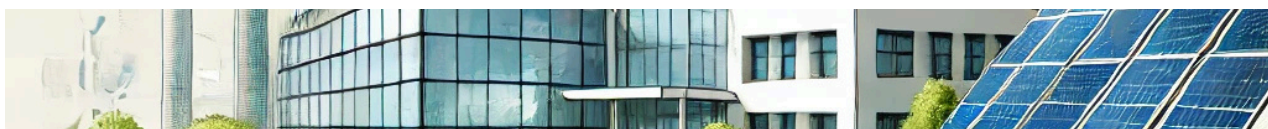
$$\Phi = E \times A = 232 \text{ lux} \times 48 \text{ m}^2 = 11136 \text{ lumen}$$

Disponendo del flusso luminoso totale e del valore di efficienza luminosa della lampada (in questo caso pari a 45 lumen/watt), la potenza richiesta dalle 8 plafoniere si calcola come:

$$P = \frac{\Phi}{\eta} = \frac{11136 \text{ lumen}}{45 \text{ lumen/watt}} = \mathbf{248 \text{ W}}$$

Con questo metodo di valutazione, ciascuna plafoniera richiede 31 W per il suo funzionamento, un valore inferiore a quello ottenuto con il metodo di misurazione diretta (45 W). Occorre specificare, che questo risultato è affetto da errore perché condizionato da diversi fattori come:

- la componente del flusso luminoso che proviene dalle finestre della stanza e la luce riflessa e rifratta dalle pareti, che introducono errore nel processo di valutazione dell'illuminamento.
- l'efficienza luminosa considerata per le lampade, che può non riflettere le condizioni reali di funzionamento delle stesse (l'efficienza dipende anche dall'invecchiamento delle lampade).



Questi fattori necessitano di essere attentamente valutati quando si utilizza il metodo di stima indiretta, per assicurare che il fabbisogno elettrico dell'istituto consideri anche queste incertezze.

Valutazione della potenza richiesta dai dispositivi

Sono di seguito evidenziati i risultati dell'applicazione dei tre metodi considerati.

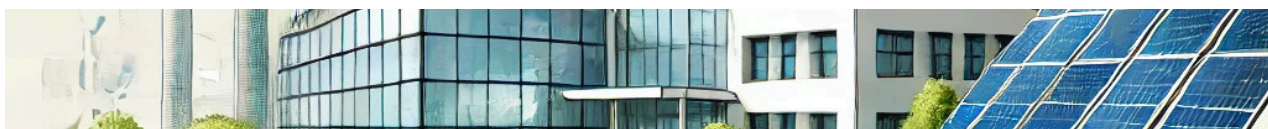
Misura diretta della potenza richiesta dai tre dispositivi nel normale funzionamento: metodo 1

La tabella seguente riporta le correnti misurate e le potenze effettivamente richieste dai tre dispositivi elettronici attivi nell'ambiente didattico. I dati mostrano una significativa differenza tra la potenza nominale dichiarata dai costruttori e quella derivante da misurazioni.

Dispositivi	Corrente misurata	Potenza richiesta (*)	Potenza nominale (**)
Pc	0,2 A	39,6 W	594 W
Monitor	0,1 A	19,8 W	198 W
Lavagna luminosa	0,9 A	178,2 W	891 W
Totale	1,2 A	237,6 W	1773 W

(*) la potenza richiesta è valutata alla tensione 220 V e fattore di potenza 0,9
 (***) la potenza nominale è valutata alla tensione 220 V, fattore di potenza 0,9 e corrente nominale dichiarata dalla casa costruttrice del dispositivo

Questi risultati confermano l'importanza di non basarsi esclusivamente sulla potenza nominale per valutare il diagramma di carico elettrico dell'istituto scolastico. In contesti come quello didattico, dove i dispositivi sono frequentemente utilizzati in modalità di risparmio



energetico, la potenza effettivamente utilizzata da questi tende ad assumere valori molto inferiori, rispetto a quelli dichiarati dalla casa costruttrice. Ciò implica che le stime del fabbisogno elettrico dell'istituto, ottenute a partire dal valore della potenza nominale, possono portare a sovradimensionare la potenza dell'impianto da installare nella scuola, rendendo l'investimento economico non sostenibile.

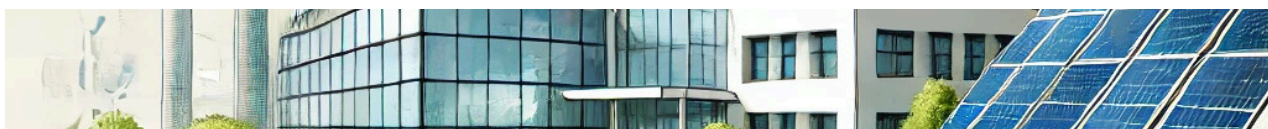
Stima della potenza richiesta dagli utilizzatori attraverso la correzione del loro valore nominale: metodo 2

Senza ricorrere al metodo di misurazione diretta, è possibile sommare le potenze nominali dei tre utilizzatori e moltiplicare il totale per il coefficiente di riduzione globale compreso tra 0,6 e 0,7. Per il caso studio considerato si è scelto il valore pari a 0,65.

Dispositivi	Potenza nominale (*)	Potenza richiesta	
		Metodo 1 (**)	Metodo 2
Pc	594 W	39,6 W	386,1 W
Monitor	198 W	19,8 W	128,7 W
Lavagna luminosa	891 W	178,2 W	579,15 W
Totale	1773 W	237,6 W	1094 W

(*) la potenza nominale è valutata alla tensione 220 V, fattore di potenza 0,9 e corrente nominale dichiarata dalla casa costruttrice del dispositivo

(**) la potenza richiesta è valutata alla tensione 220 V e fattore di potenza 0,9



I risultati confermano che il metodo 2, nonostante produca valori decisamente superiori al metodo 1, offre una soluzione più accurata rispetto alla semplice somma delle potenze nominali dei dispositivi.

Stima della potenza massima potenza erogata dalle prese d'ambiente: metodo 3

Nell'aula sono presenti 2 prese elettriche da 16 A, ma solo una è funzionante durante la didattica. La massima potenza erogata da queste alla tensione di 220V e fattore di potenza 0,9 è di 3168 W. Sapendo che le prese per uso civile hanno un coefficiente di riduzione globale compreso tra 0,05 e 0,2, la potenza massima erogabile nell'aula didattica è compresa tra 317 e 1267 W.

$$P_{\max_prese} = N \cdot P_M \cdot K_g = 2 \cdot 3168 \cdot (0,05 \div 0,2) = 317 \div 1267$$

Volendo quantificare con precisione il coefficiente globale K_g , da utilizzare per questa tipologia di ambiente, si procede alla valutazione puntuale dei coefficienti K_c e K_u . Il rapporto tra la potenza misurata sulla presa elettrica e la somma delle potenze nominali dei tre utilizzatori connessi, consente di ottenere il valore di K_u , che è pari a:

$$K_u = \frac{P_{\text{misurata}}}{P_{\text{nom_tot}}} = \frac{237,6 \text{ W}}{1773 \text{ W}} = 0.134$$

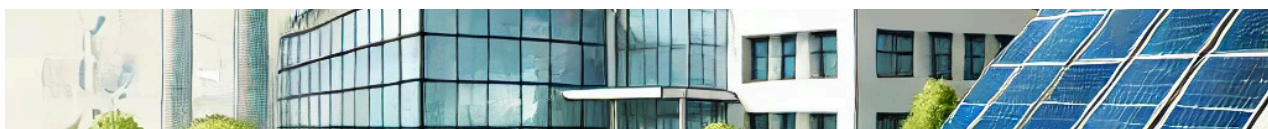
Sapendo che una sola delle due prese è in esercizio durante la didattica, K_c è pari a 0,5. Il coefficiente globale, ottenuto moltiplicando tra loro K_c e K_u è uguale a 0,067. Nota la massima potenza fornita dalle due prese (6336 W), si applica a questa il coefficiente globale e si ottiene il valore aggiornato di potenza massima che le prese erogano nell'ambiente, in questo caso pari a 424,5 W. Il risultato ottenuto è chiaramente superiore rispetto al valore effettivamente misurato sui dispositivi (237,6 W) perché è



ottenuto applicando dei fattori correttivi al valore massimo erogato dalle prese elettriche. In questo caso, si assume che solo il 13,4 % della potenza massima delle prese (6336 W) è effettivamente fornito dalle stesse (848,9 W) e dato che solo una presa è funzionante durante l'ora di lezione, il valore massimo di potenza erogato nell'ambiente è di 424,5 W. Va osservato che, in analogia a quanto svolto per il calcolo del coefficiente di riduzione per l'impianto di illuminazione, anche in questo caso, la valutazione di uno specifico Kg per l'aula, permette di definire, in modo agevole, la potenza richiesta dal complesso di aule simili e agevolare, conseguentemente, l'elaborazione del diagramma di carico della scuola. Nella tabella seguente sono riepilogati i risultati dell'applicazione dei tre metodi:

Metodo	Coefficiente di riduzione
1 - Misura diretta	237,6 W
2 - Stima basata sulla correzione della potenza nominale dei dispositivi	1094 W
3- Massima potenza erogabile dalle prese d'ambiente senza aggiornare Kc e Ku	317 - 1267 W
3 - Massima potenza erogabile dalle prese d'ambiente	424,5 W

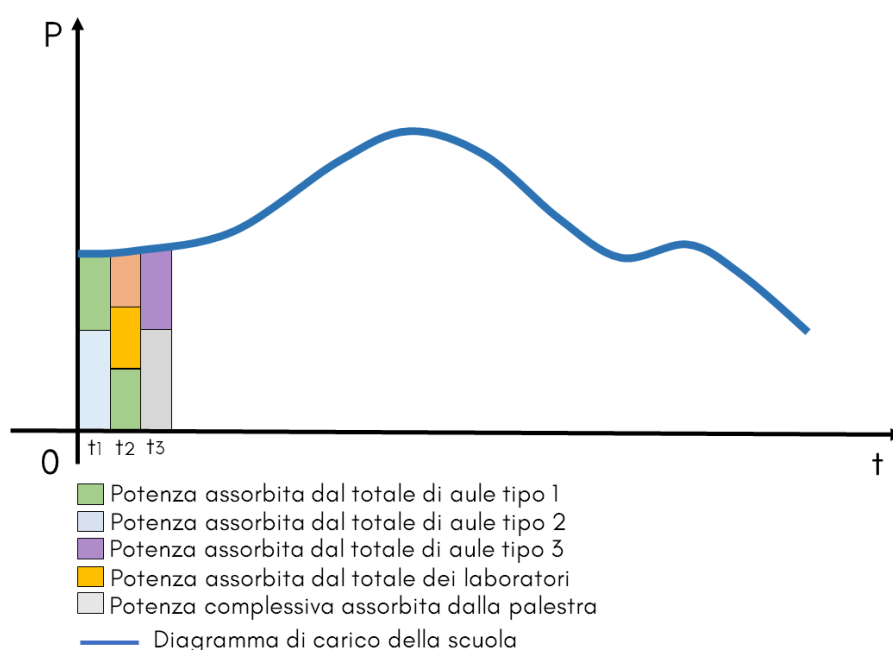
Questi risultati permettono di quantificare il valore di potenza massimo e minimo richiesto per l'ambiente, dati essenziali per determinare la potenza dell'impianto fotovoltaico da installare nella scuola. I metodi presentati possono essere impiegati in modo flessibile in funzione della disponibilità di strumenti di misura e di tempo. In mancanza di questi, si raccomanda di combinare il metodo 2 con il metodo 3, facendo uso dei coefficienti Kc e Ku calcolati statisticamente. Per prevenire il rischio di sovradimensionare l'impianto, è prudente escludere il valore massimo tra quelli calcolati



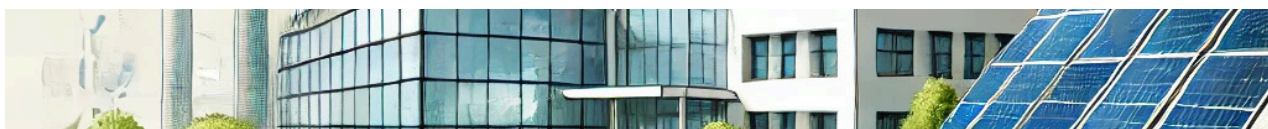
(1267 W nel caso specifico). Se sono disponibili i dati di misura, è preferibile applicare il metodo 1 insieme al metodo 3, che permettono di valutare il valore minimo che riflette il reale funzionamento dei dispositivi e il massimo teorico, che le prese d'ambiente possono erogare secondo lo specifico funzionamento dei dispositivi riscontrato nell'ambiente.

Correzione del diagramma con le misure reali del prelievo.

Valutando i consumi negli ambienti scolastici con i metodi precedentemente descritti, si può ricostruire il diagramma di carico giornaliero della scuola come illustrato di seguito:



Come anticipato, questo diagramma è tuttavia qualitativo perché l'approccio metodologico adottato, può non riflettere la potenza effettivamente prelevata dall'intero istituto. Per migliorare il diagramma, è possibile correggere i risultati ottenuti utilizzando le misure lette sul contatore della scuola in diversi orari della giornata come, ad esempio, le ore 8:00, 11:00 e 13:00. Raccogliendo i dati di



misura per una settimana e valutando il loro valore medio, si procede all'aggiornamento del diagramma di carico interpolando tra loro i dati. In questo modo si corregge il valore di potenza stimata in un dato orario, utilizzando le misure lette negli istanti temporali precedenti e successivi. Con riferimento al diagramma di carico riportato in figura, per correggere la potenza stimata nell'intervallo t_2 si utilizza la formula:

$$P_{t_2} = P_{t_1} + \frac{P_{t_3} - P_{t_1}}{t_3 - t_1} \cdot (t_2 - t_1)$$

Con:

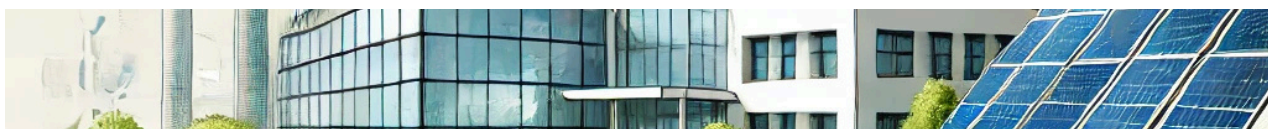
P_{t_1} e P_{t_3} : potenze misurate rispettivamente nell'intervallo precedente t_1 e successivo t_3 ;

t_2 : è l'istante temporale della potenza stimata da correggere;

t_1 e t_3 : sono gli istanti temporali delle misurazioni più vicine a t_2 .

Supponiamo, ad esempio, di svolgere una campagna di misura di una settimana, acquisendo i valori della potenza istantanea dal contatore della scuola alle ore 8:00 e alle ore 10:00 del mattino e di voler correggere la potenza stimata alle ore 09:00. I dati necessari per correggere l'istante t_2 sono:

- Potenza media settimanale misurata nel primo intervallo - t_1 (ore 08:00 AM) = 150 kW
- Potenza media settimanale misurata nel terzo intervallo - t_3 (ore 10:00 AM) = 190 kW



Applicando la formula:

$$P_{t_2} = P_{t_1} + \frac{P_{t_3} - P_{t_1}}{t_3 - t_1} \cdot (t_2 - t_1) = 150 \frac{190 - 150}{3 - 1} \cdot (2 - 1) = 170 \text{ kW}$$

Ripetendo la procedura di calcolo con le misure lette alle ore 11:00 e 13:00 è possibile correggere il valore stimato di potenza alle ore 12:00 migliorando nel complesso il diagramma di carico della scuola. Nel caso fosse previsto l'utilizzo degli spazi scolastici in orari differenti da quelli delle lezioni (es. per attività extrascolastiche pomeridiane), il diagramma di carico va aggiornato:

1. individuando preliminarmente gli ambienti e i dispositivi utilizzati al di fuori dell'orario di lezione
2. stimando l'incremento di potenza conseguente l'utilizzo di questi ambienti e
3. sommando questo incremento al diagramma di carico valutato nelle ore di didattica.

