

E27: progettazione di impianti fotovoltaici  
autonomi e collegati alla rete

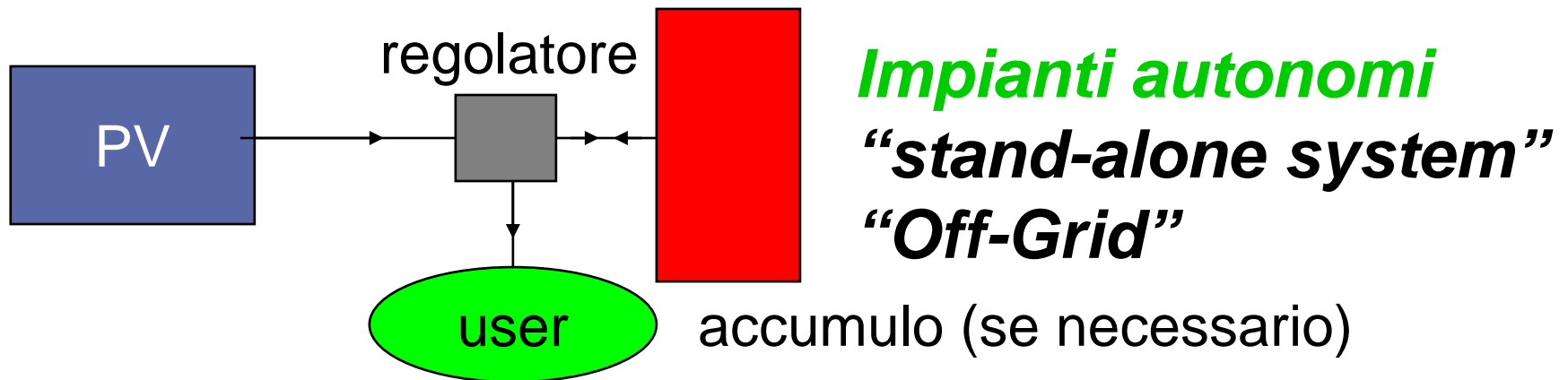
---

# IMPIANTI AUTONOMI

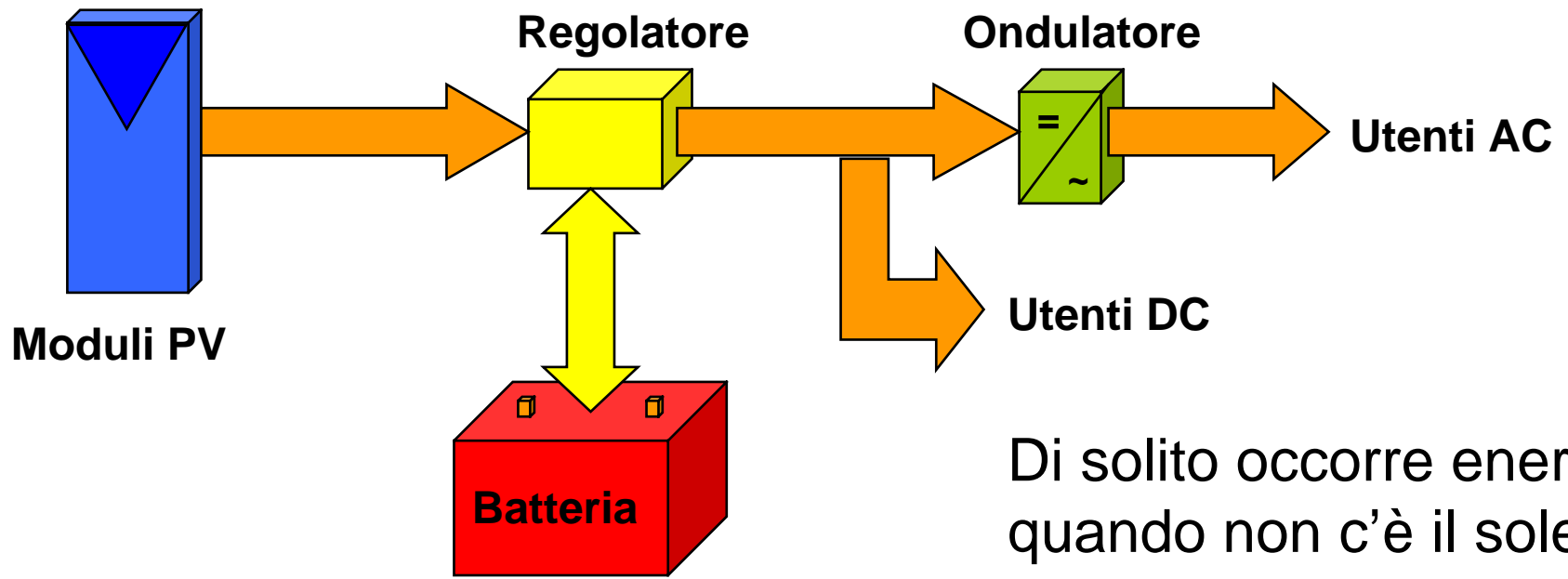
# Impianto autonomo

---

“Impianto indipendente,  
non allacciato alla rete pubblica”



# Impianto autonomo



## Batteria:

- punto debole 💣
- impone la tensione di sistema (multiplo di 12 V)

Di solito occorre energia quando non c'è il sole (notte, pioggia)  
⇒ necessario un **ACCUMULATORE**

# Tipi di accumulo

---

**Batteria** (di solito al piombo, se T bassa al Ni-Cd)

**Energia potenziale** (pompaggio acqua)

**Elettrolisi** (produzione idrogeno)

**Rete** (caso particolare)

**Nessun accumulo, uso immediato:** raramente  
(pompaggio diretto, ventilazione)



# Tipi di impianti autonomi

---

## **Piccoli consumatori (1..50Wp):**

calcolatrici, orologi, caricatori di batterie, luci di accesso,...

## **Applicazioni di servizio, industriali (10Wp..10kWp):**

applicazioni spaziali, applicazioni agricole, pompaggio, illuminazione pubblica, segnaletica, telecom., monitoraggio, protezione catodica, refrigerazione vaccini,...

## **Impianti a carattere residenziale ( 50W..100kW)**

casa d'abitazione secondaria (baita), villaggi isolati

# Impianti autonomi, categorie

---

## Sistemi PV

**Sistemi ibridi:** per fare fronte ai periodi di bassa insolazione **generatore complementare:**

- **Motore** (benzina/diesel/gas): più frequente
  - ☺ facile da installare, buon mercato
  - ☹ inquinamento fonico e atmosferico, manutenzione
- **Eolica**
  - ☺ produce molto quando fa brutto tempo
  - ☹ indispensabile nozioni meccanica, manutenzione

# Generatore complementare, vantaggi

---

**Garantire la carica** dell'accumulatore durante i periodi di bassa insolazione

Alimentare **apparecchi 220VAC occasionali** (trapano, aspirapolvere), senza dovere disporre di un ondulatore, risp. senza usare un grande ondulatore

Trovare **soluzioni eleganti** ai problemi di dimensionamento

N.B: In generale, in fase di dimensionamento, si cercherà di ridurre al massimo il tempo di funzionamento del generatore complementare (es. diesel) per limitarne gli effetti nocivi.

# Scelta del generatore PV

---

## 1) Scelta tecnologia

Moduli **a-Si** ideali se:

Luoghi “caldi” o applicazioni dove T esercizio elevata

Luoghi parzialmente ombreggiati (grosse celle)

Moduli **c-Si** ideali se:

Impianto di potenza medio-alta

Superficie a disposizione ridotta

# Scelta del generatore PV

---

## 2) Scelta dei tipi di modulo, in funz. dei criteri seguenti:

### Tensione di funzionamento

Raramente si usa un regolatore MPPT. Scegliere il modulo che fornisce la massima corrente alla tensione nominale di carica (batteria) o alla tensione di funzionamento dell'utilizzatore (pompa).

### Temperatura di funzionamento tipica

Alle nostre latitudini:  $T_{\text{modulo}} = \text{NOCT}$

Per paesi caldi:  $T_{\text{modulo}} = T_{\text{aria}} + 30..40^{\circ}\text{C}$

### Frequenza e periodi d'utilizzo

se solo illuminazione  $\Rightarrow$  riferimento inverno

se anche frigo  $\Rightarrow$  riferimento estate (se 2 gio/7 frigo necessario?)

# Scelta del generatore PV

---

## 3) Scelta finale del modulo, in funzione di:

- Qualità e garanzie:
  - dati forniti dai fabbricanti
  - dati misurati (Es. Tests ISAAC-TISO  $\Rightarrow$  P iniziale e degrado P, E/P)
- Prezzo
- Facilità di montaggio, cablaggio, aspetti pratici
- Estetica

# Regolatore: **Misura** $\Rightarrow$ **Confronta** $\Rightarrow$ **Protegge**

---

Lettura costante di  $U_b$ , e:

- se  $U_b \geq U_{max} \Rightarrow$  **interrompe la carica**

- se  $U_{min} < U_b < U_{max}$

$\Rightarrow$  **collega sia utilizzatori che generatore**

- se  $U_{min} \geq U_b \Rightarrow$  **disinserisce gli utilizzatori**

$\Rightarrow$  Il regolatore dev'essere stato progettato per gli accumulatori usati.

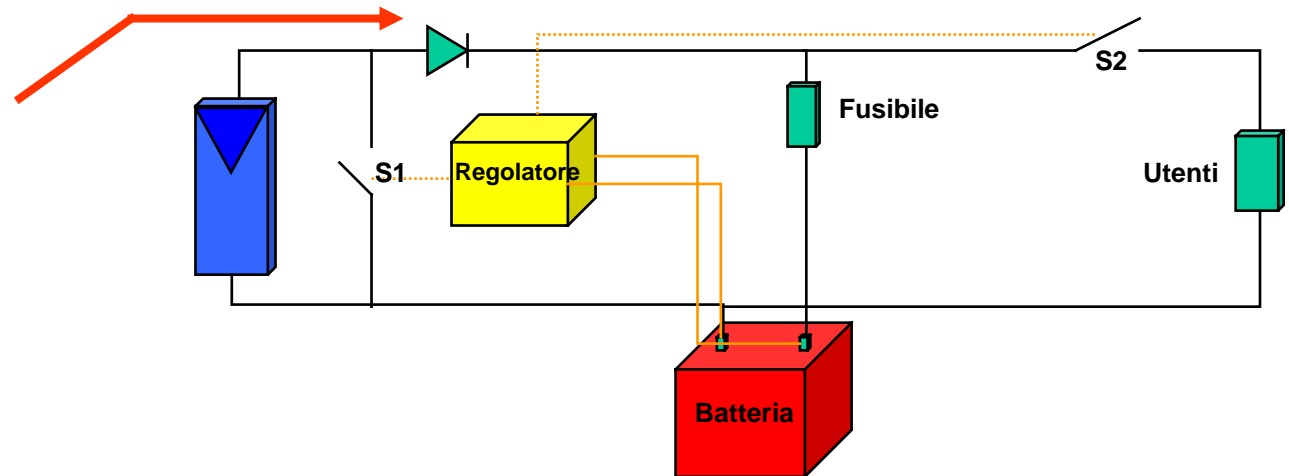
$\Rightarrow$  Un buon regolatore **adatta  $U_{min}$  e  $U_{max}$  in funzione di  $T$** : valore tipico di compensazione per una cella di batteria di 2V:  $-6 \text{ mV}/^\circ\text{C}$

# Regolatore parallelo

Quando  $U_b = U_{max} \Rightarrow S1$  chiuso  $\Rightarrow$  modulo in corto  $\Rightarrow$  carica interrotta

Quando  $U_b = U_{min} \Rightarrow S2$  aperto  $\Rightarrow$  scarica interrotta

**Diodo di blocco indispensabile!**



$\Rightarrow$  Dissipazione potenza durante la carica (es.  $15A \times 0.6V = 9 W$ )

$\Rightarrow$  Pochi moduli in parallelo, corrente carica raramente  $> 10-15A$

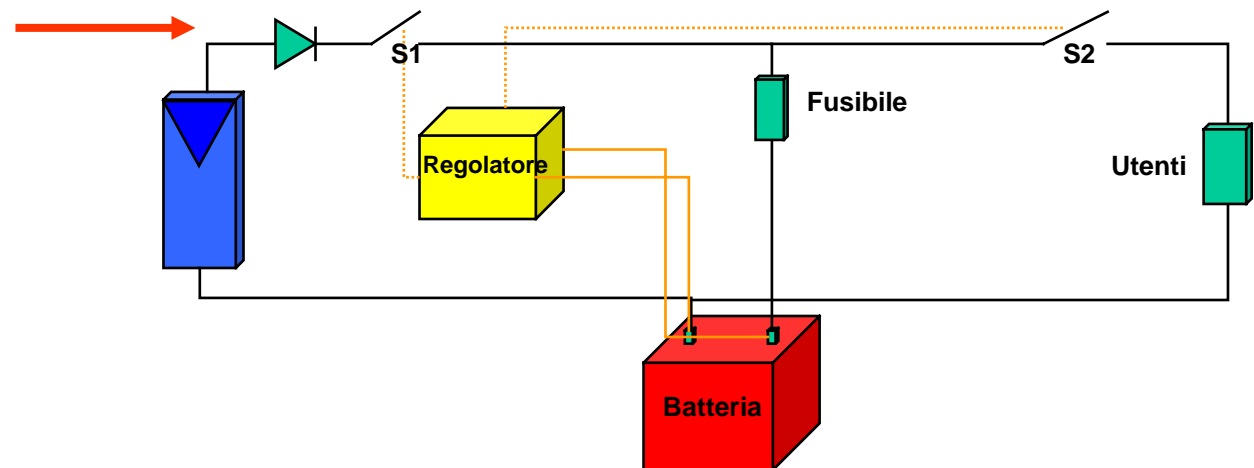
$\Rightarrow$  Buon regolatore usa diodo a bassa tensione diretta (Schottky)

# Regolatore serie: il più usato

$U_b = U_{max} \Rightarrow S1$  aperto  $\Rightarrow$  modulo a circuito aperto  $\Rightarrow$  carica interrotta

$U_b = U_{min} \Rightarrow S2$  aperto  $\Rightarrow$  scarica interrotta

**Diodo di blocco: non obbligatorio!**



$\Rightarrow$  Paesi temperati:  $T \searrow$ , “riserva di tensione”, diodo “non disturba”

$\Rightarrow$  Paesi caldi:  $T \nearrow$ , valutare le perdite notturne senza diodo

# Regolatore serie con diodo di blocco: perdite nei paesi caldi

---

Es: Modulo BP250, 50W: corrente inversa (a 12V) = 26mA

**Notte:** senza diodo di blocco, perdita = 12h . 26mA = 0.312 Ah

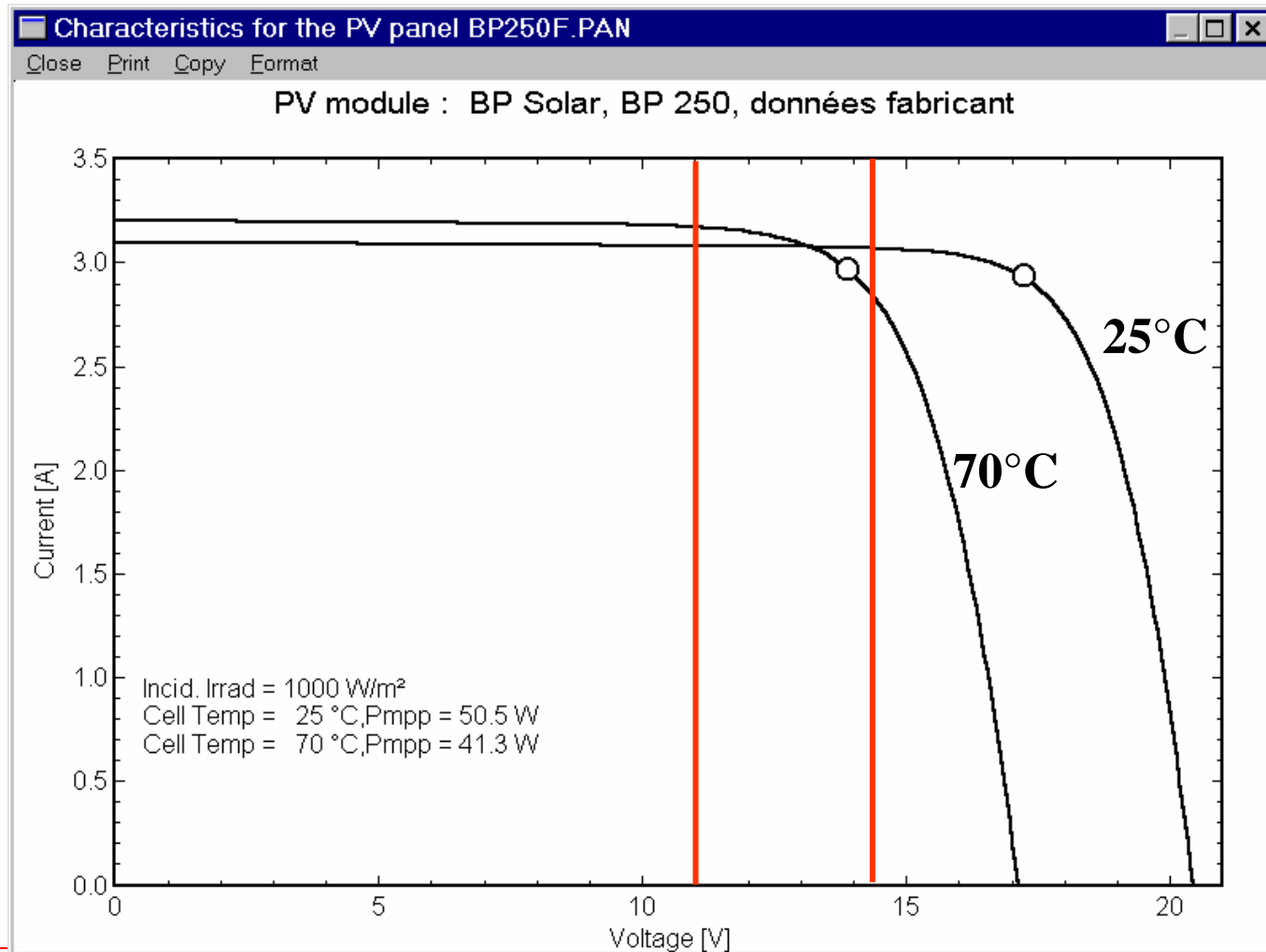
**Giorno:**

- temperatura moduli **70°C**
- punto di funzionamento con e senza diodo: 14V e 14.5V
- differenza corrente nei due casi: 0.16 A

⇒ Sufficienti **2 ore per compensare le perdite notturne**

⇒ In questo esempio **non conviene utilizzare il diodo di blocco**

# Caratteristica del modulo BP250 a diverse temperature



# Regolatore MPPT (Maximum Power Point Tracker)

---

L'MPPT fa lavorare il campo PV al punto di massima potenza (indipendente dalla temperatura e dalla tensione della batteria) per **ottimizzare la carica dell'accumulatore.**

Vale la pena se:

- Impianto di “grande” potenza (> 500W), causa costi
- Tutto l'anno si utilizza tutta l'energia prodotta
- Grande escursione di temperatura

Altrimenti è più redditizio installare moduli con una tensione adatta al carico e alla stagione di maggior bisogno d'energia

# Regolatore di scarica

---

- Impedisce la scarica profonda della batteria
- Di solito incorporato nei regolatori di carica
- 2 tipi: a reinserimento automatico rispettivamente manuale
  - ⇒ Per impianti su abitazioni parzialmente abitate, si raccomanda il regolatore con **reinserimento manuale** degli utilizzatori
  - (luce rimasta accesa per errore ⇒ cicli batteria tra 10-20% capacità ⇒ distruzione batteria in qualche mese)

# Regolatori: criteri di scelta - riassunto

---

**Regolatore serie:** in generale adatto per paesi caldi

**Regolatore parallelo:** in generale adatto se pochi moduli in parallelo

**Regolatore MPPT:** in generale adatto se  $P > 500W$

Criteri di scelta:

- Diodo di blocco di tipo Schottky (se necessario)
- Consumo interno minimo (qualche mA al massimo)
- Compensazione termica della carica ( $T > 30^{\circ}C$  e  $T < 0^{\circ}C$ )
- Reinserimento manuale degli utilizzatori per i sistemi abitati
- Indicatori di piena carica e scarica
- Protezione delle uscite (fusibili)

# Ondulatori, forma d'onda

---

- **Onda quadra**

- ☺ tecnica più **semplice** per generare un'onda alternativa

- ☹ può generare **armoniche dispari** ⇒ problemi

- ☹ nessuna regolazione della tensione di uscita (varia col carico e la tensione di entrata)

- **Onda pseudo-sinusoidale**

- ☺  $\eta \nearrow$

- ☺ meno armoniche della quadrata, regolazione precisa della tensione di uscita

- ☺ funzionano molti apparecchi: TV, motori, trapani, segchetti, ...

- **Onda sinusoidale**

- ☺ tecnica simile a ondulatori per rete, ma circuiti più semplici, senza protezioni e sincronizzazione rete

- ☺  $\eta \nearrow (>90\%)$ , adatto anche per utilizzatori sofisticati (HI-FI, computers)

# Ondulatori, criteri di scelta

---

- **Precisione Uout** (stabilità): data in % rispetto a 230Vac  
⇒ Hi-Fi
- **Spunti di potenza**: “può fornire n.Pmax per un DT”?  
⇒ Frigo: 5-10 volte Pmax per partire
- **Distorsione armoniche** ⇒ Hi-Fi
- **Rendimento**: criterio più importante ⇒  $\eta$  grande anche a P basse?
- **Consumo stand-by** ⇒ a volte > consumo utile (se uso occasionale)

# Consumatori PV

---

## Requisiti:

- rendimento massimo
- funzionare nel range di tensione della batteria (Pb: 10-11 → 14V)

## Principali consumatori

- lampadine
- televisori e radio
- frigoriferi, pompe, ventilatori
- computers e periferiche
- connettori e cablaggio

# Lampadina: consumatore principale

---

## Fluorescenti:

- ☺ le più utilizzate, rendimento elevato
- ☹ necessario un circuito elettronico per elevare la tensione (alta frequenza)

## Incandescenza e alogene:

- ☹ rendimento luminoso basso (a parità di P:  $\eta_{\text{flu}} = 4-6 \eta_{\text{inc.}}$  ;  $\eta_{\text{alo}} = 1.2 \eta_{\text{inc.}}$ )
- ☹ raccomandate solo per utilizzazioni brevi (corridoi...)

## Al vapore di sodio:

- ☺ rendimento elevato ( $\eta_{\text{sodio}} = 9.5 \eta_{\text{inc}}$ )
- ☹ luce arancione e monocromatica, prezzo elevato
- ☹ necessario un circuito elettronico (vedi fluorescenti)

# Lampadine: caratteristiche

TIPO DI LAMPADA	Potenza [W]	Flusso [lm]	$\eta$ [lm/W]	$\eta$ relativo (rispetto a inc. 60W)
Incandescente	40	580	14.5	0.9
Incandescente	60	980	16.3	1
Alogena	50	1000	20	1.23
Alogena	100	2300	23	1.41
Fluorescente dritta	8	430	54	3.31
Fluorescente dritta	13	950	73	4.48
Fluorescente U (PL)	9	600	67	4.11
Fluorescente U (PL)	11	900	82	5.03
Sodio	18	1800	100	6.14
Sodio	36	4800	137	8.41

⇒ **Per tutti i tipi:  $\eta$  aumenta con la potenza**

# Perdite sui cavi

---

$$P_{v_{20^{\circ}C}} = I^2 * \frac{\rho * l}{A}$$

Dove:

$P_v$  = potenza dissipata [W]

$I$  = corrente nominale [A]

$\rho = \rho_{cu} = 0.0175$  [ $\Omega * \text{mm}^2/\text{m}$ ] a  $20^{\circ}\text{C}$

$L$  = lunghezza della linea =  $2 * L_{\text{cavi}}$  [m]

$A$  = sezione dei conduttori [ $\text{mm}^2$ ]

$$P_{v_{T_1}} = I^2 * \frac{\rho * l}{A} * [1 + \alpha * (T_1 - 20)]$$

# ESEMPI:

condizione:  $V_m = 80V$

4A in 2\*10m a  $1\text{mm}^2$ :  $P_v = 5.6W \Rightarrow 1.75\%$

4A in 2\*10m a  $2.5\text{mm}^2$ :  $P_v = 2.2W \Rightarrow 0.7\%$

4A in 2\*10m a  $4\text{mm}^2$ :  $P_v = 1.4\text{W} \Rightarrow 0.44\%$

La perdita massima non dovrebbe superare  
l'**1%**.