

Corso di
ELETRONICA INDUSTRIALE

“Introduzione al Corso”

Elettronica Industriale

Conversione di energia

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione **elettrica**

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione **elettrica**



- Le grandezze elettriche erogate al carico hanno caratteristiche di ampiezza e frequenza **diverse** da quelle dell'alimentazione
- Il convertitore statico ha rendimento **molto alto** poiché é realizzato con componenti a basse perdite

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione **elettrica**
- Conversione **elettro-meccanica**

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione **elettrica**
- Conversione **elettro-meccanica** → **Azionamenti**

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione **elettrica**
- Conversione **elettro-meccanica** → **Azionamenti**



- La grandezza di uscita é **meccanica** (coppia, velocità, posizione)
- Il convertitore statico eroga le tensioni e le correnti opportune (in ampiezza, fase e frequenza) per controllare il motore

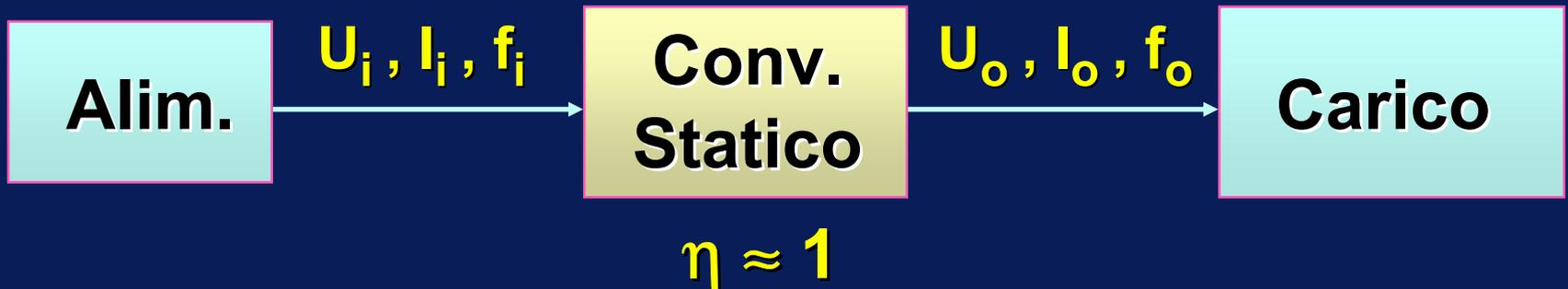
Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione **elettrica**
- Conversione **elettro-meccanica** → **Azionamenti**
- Altre conversioni:
 - **elettro-termica** (trattamenti termici: fusione, tempra, ecc.)
 - **elettro-chimica** (processi elettrochimici: elettrolisi, elettrodeposizione, ecc.)
 - **elettro-luminosa** (regolazione luminosa, alimentazione di lampade fluorescenti, ecc.)

Tipi di convertitori

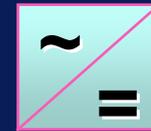
Per le conversioni di energia si usano prevalentemente **convertitori statici**:



Tipi di convertitori

Per le conversioni di energia si usano prevalentemente **convertitori statici**:

– **ca/cc** → raddrizzatori

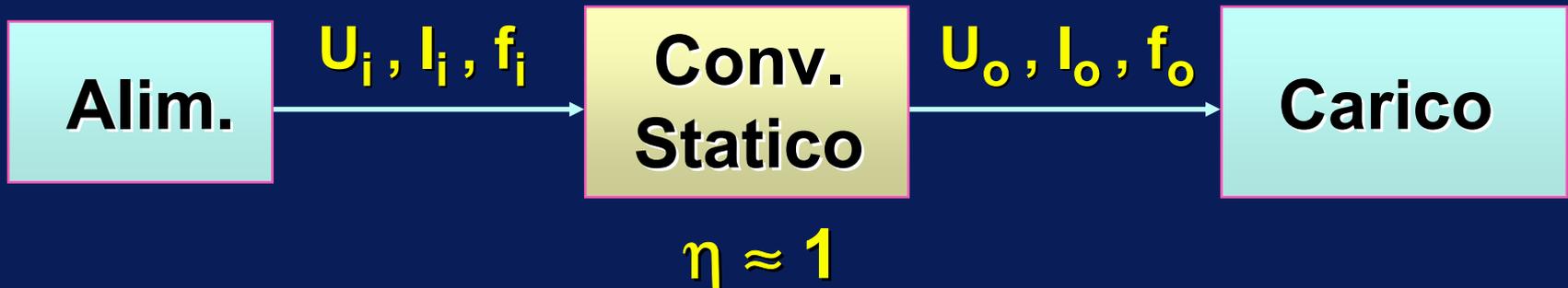
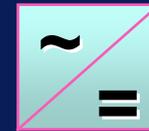
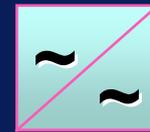


Tipi di convertitori

Per le conversioni di energia si usano prevalentemente **convertitori statici**:

– **ca/cc** → raddrizzatori

– **ca/ca**



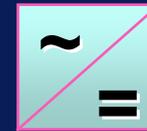
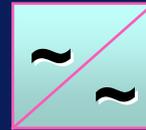
Tipi di convertitori

Per le conversioni di energia si usano prevalentemente **convertitori statici**:

– **ca/cc** → raddrizzatori

– **ca/ca**

– **cc/ca** → invertitori



Tipi di convertitori

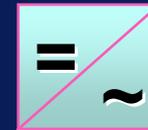
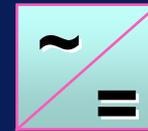
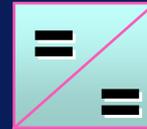
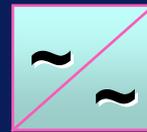
Per le conversioni di energia si usano prevalentemente **convertitori statici**:

– **ca/cc** → raddrizzatori

– **ca/ca**

– **cc/ca** → invertitori

– **cc/cc**



Tipi di convertitori

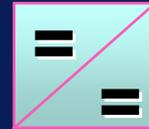
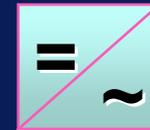
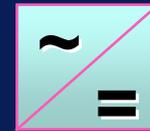
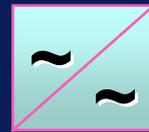
Per le conversioni di energia si usano prevalentemente **convertitori statici**:

– **ca/cc** → raddrizzatori

– **ca/ca**

– **ca/cc** → invertitori

– **cc/cc**



Tutti i convertitori impiegano **interruttori elettronici** che consentono **elevata velocità** di operazione e **buon rendimento energetico**

Settori di impiego

- **Alimentatori**
 - circuiti elettronici
 - lampade
 - riscaldamento elettrico
 - impianti elettrochimici

Settori di impiego

- **Alimentatori**
- **Interfacce di rete**
 - **rifasamento statico**
 - **correzione attiva del fattore di potenza**
 - **convertitori di frequenza**
 - **filtri attivi**

Settori di impiego

- Alimentatori
- Interfacce di rete
- Azionamenti

Settori di impiego

- **Alimentatori**
- **Interfacce di rete**
- **Azionamenti**
 - **applicazioni industriali**
 - laminatoi
 - trafilati
 - continue per carta, plastica, tessuti, ...
 - macchine utensili (torni, frese, ecc.)
 - macchine operatrici (aspi, nastri trasportatori, fusi, ...)

Settori di impiego

- **Alimentatori**
- **Interfacce di rete**
- **Azionamenti**
 - **applicazioni industriali**

Settori di impiego

- **Alimentatori**
- **Interfacce di rete**
- **Azionamenti**
 - **applicazioni industriali**
 - **applicazioni civili**
 - **elettrodomestici (utensili, lavatrici, lavastoviglie, rasoi, phon, ecc.)**
 - **ambiente (ventilazione, condizionamento, riscaldamento, pompe, ecc.)**
 - **consumer (CD, registratori, telecamere, ecc.)**

Settori di impiego

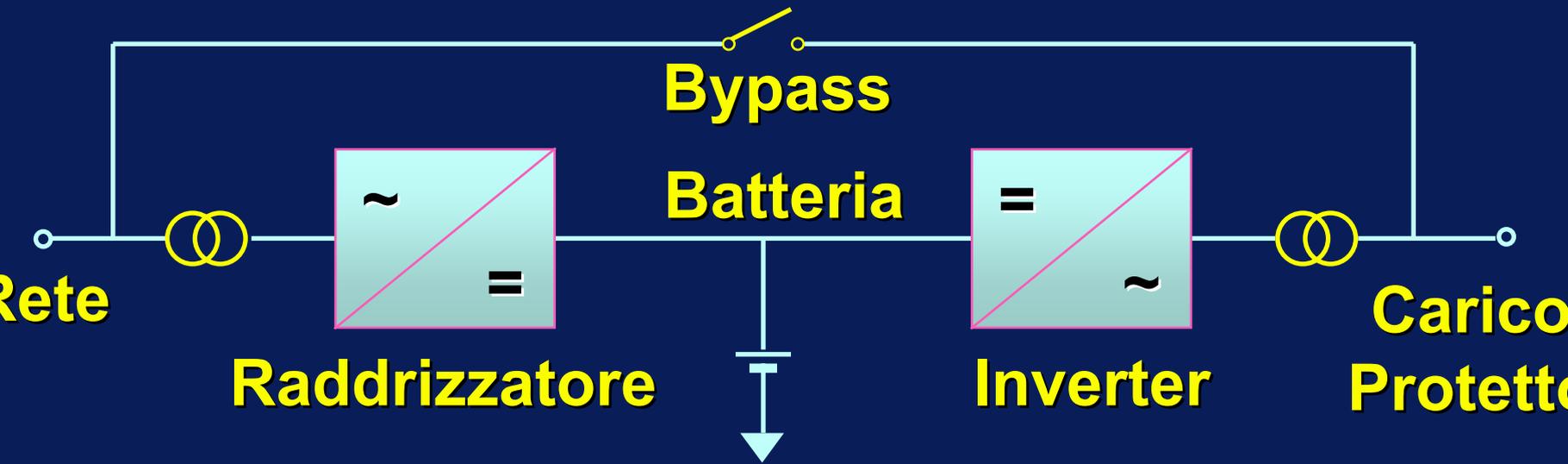
- **Alimentatori**
- **Interfacce di rete**
- **Azionamenti**
 - **applicazioni industriali**
 - **applicazioni civili**

Settori di impiego

- **Alimentatori**
- **Interfacce di rete**
- **Azionamenti**
 - **applicazioni industriali**
 - **applicazioni civili**
 - **applicazioni per trazione**
 - **treni, metropolitane, filobus**
 - **autoveicoli elettrici, carrelli elevatori**
 - **ascensori e montacarichi**
 - **carri ponte e gru**
 - **funivie, cabinovie, skilift**

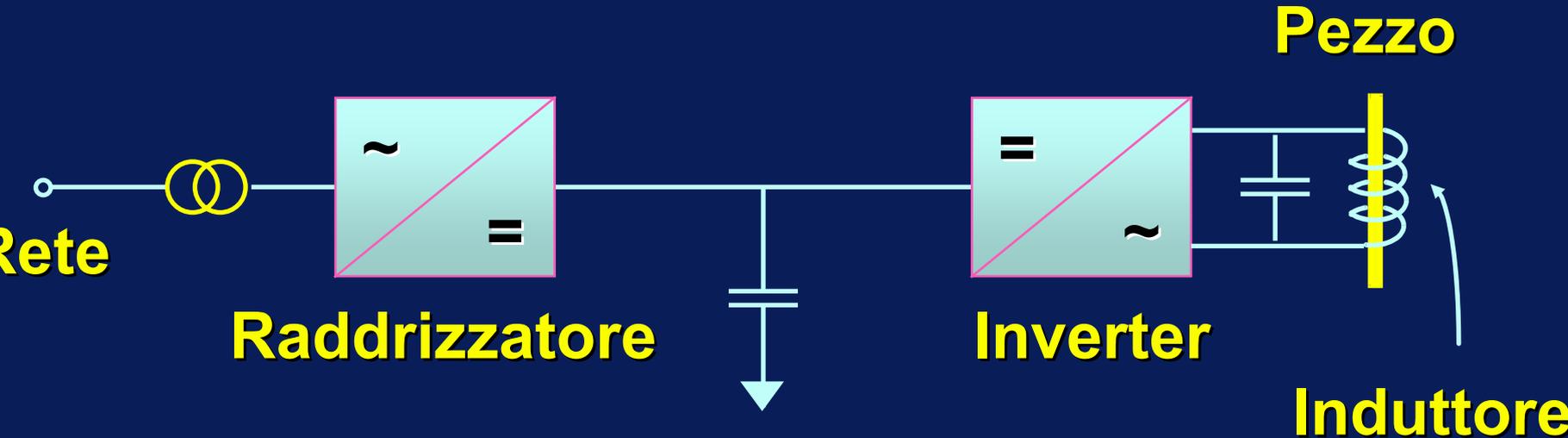
Esempio di applicazione: Gruppo di continuità (UPS, Uninterruptible Power Supply)

Esempio di applicazione: Gruppo di continuità (UPS, Uninterruptible Power Supply)



- Il carico viene alimentato anche in assenza di rete prelevando **energia dalla batteria**
- L'inverter fornisce tensioni **molto stabili** in frequenza, ampiezza e forma d'onda
- Il bypass consente l'**alimentazione diretta** dalla rete in caso di **guasto dell'inverter** o **sovraccarico**

Esempio di applicazione: Forno ad induzione



- L'inverter genera una **corrente ad AF** nell'induttore
- Il pezzo metallico viene **riscaldato** dalle correnti di Foucault
- Lo **spessore** del trattamento termico dipende dalla **frequenza** della corrente impressa nell'induttore
- Il carico induttivo viene rifasato capacitivamente (inverter con carico risonante)

ALIMENTATORI ELETTRONICI

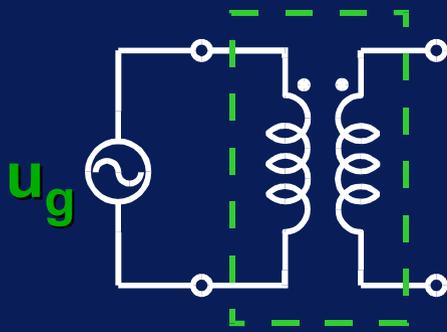
- Alimentatori elettronici non regolati
- Alimentatori con regolatori lineari
- Alimentatori con regolatori switching
(**Switched-Mode Power Supplies, SMPS**)
- Impatto sulla rete degli alimentatori
- Alimentatori con stadio di ingresso ad alto fattore di potenza (**Power Factor Correctors, PFC**)

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



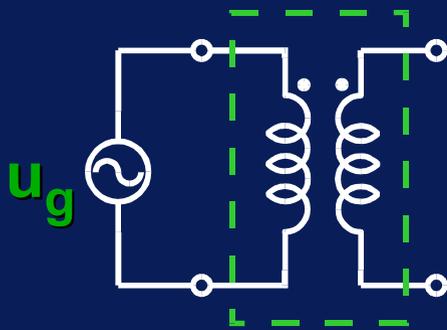
Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



trasformatore



Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



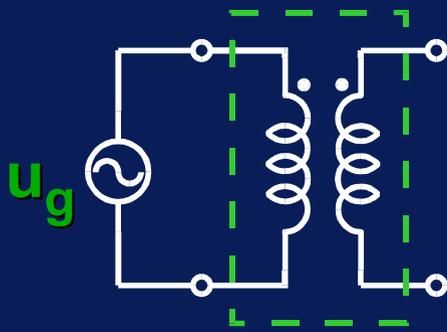
trasformatore



Funzioni del trasformatore

- Isolamento tra alimentazione e carico

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



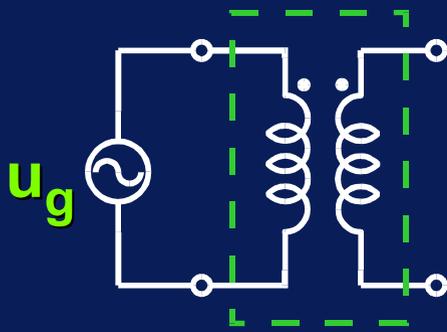
trasformatore



Funzioni del trasformatore

- Adattamento di tensione

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



trasformatore



Funzioni del trasformatore

- Possibilità di generare diverse tensioni tra loro isolate (sistemi multiuscita)

Funzioni del trasformatore

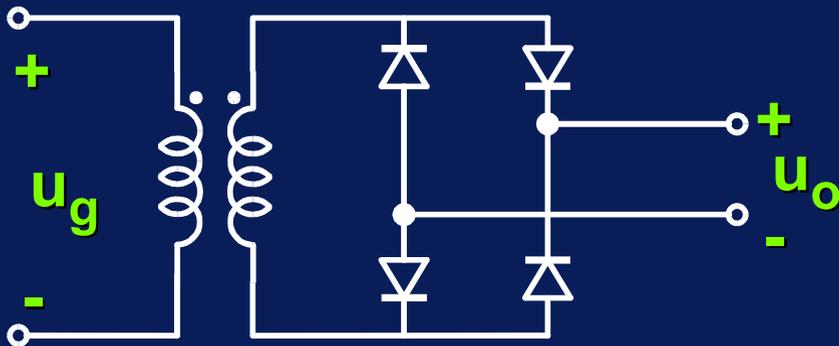
- **Isolamento tra alimentazione e carico**
- **Adattamento di tensione**
- **Possibilità di generare diverse tensioni tra loro isolate (sistemi multiuscita)**

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



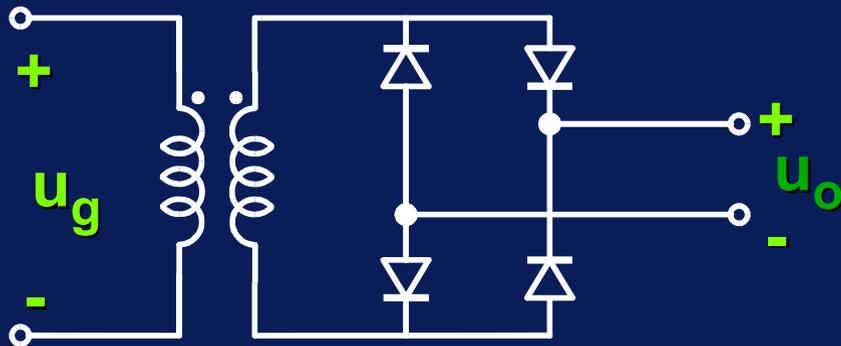
Struttura del raddrizzatore (a doppia semionda)

Struttura del raddrizzatore (a doppia semionda)

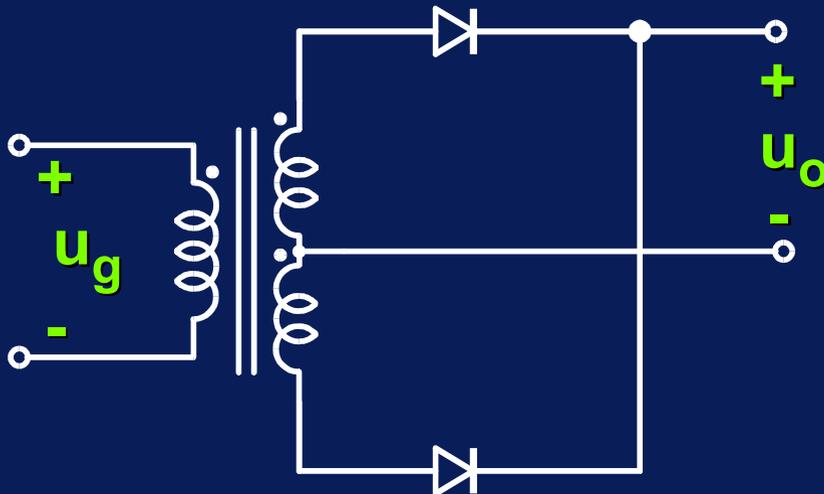


raddrizzatore a
ponte di Graetz

Struttura del raddrizzatore (a doppia semionda)

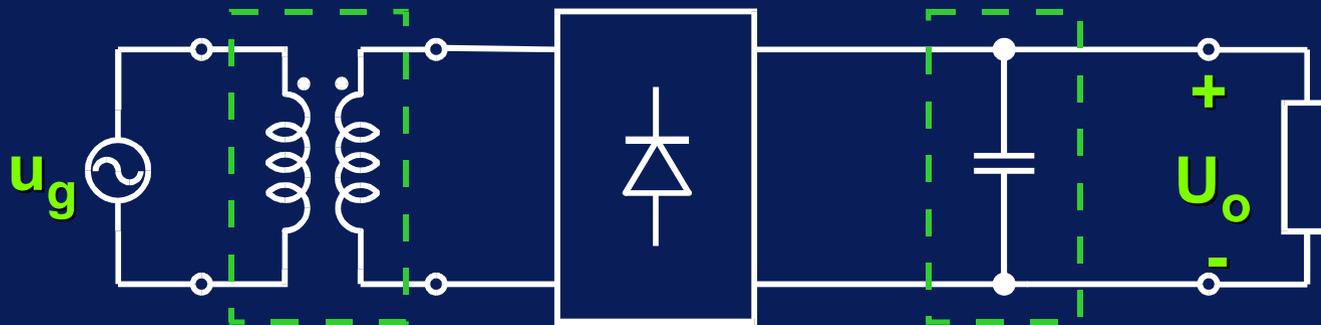


raddrizzatore a
ponte di Graetz



raddrizzatore con
trasformatore a
presa centrale

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



trasformatore raddrizzatore filtro carico

Caratteristiche dell'alimentatore non regolato

- **Rendimento elevato**

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



Caratteristiche dell'alimentatore non regolato

- Tensione di uscita non regolata
 - varia se u_g varia (+10%, -20%)
 - dipende dal carico

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



Caratteristiche dell'alimentatore non regolato

- Corrente d'ingresso deformata

Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



Caratteristiche dell'alimentatore non regolato

- Trasformatore a 50Hz (ingombrante e costoso)

Caratteristiche dell'alimentatore non regolato

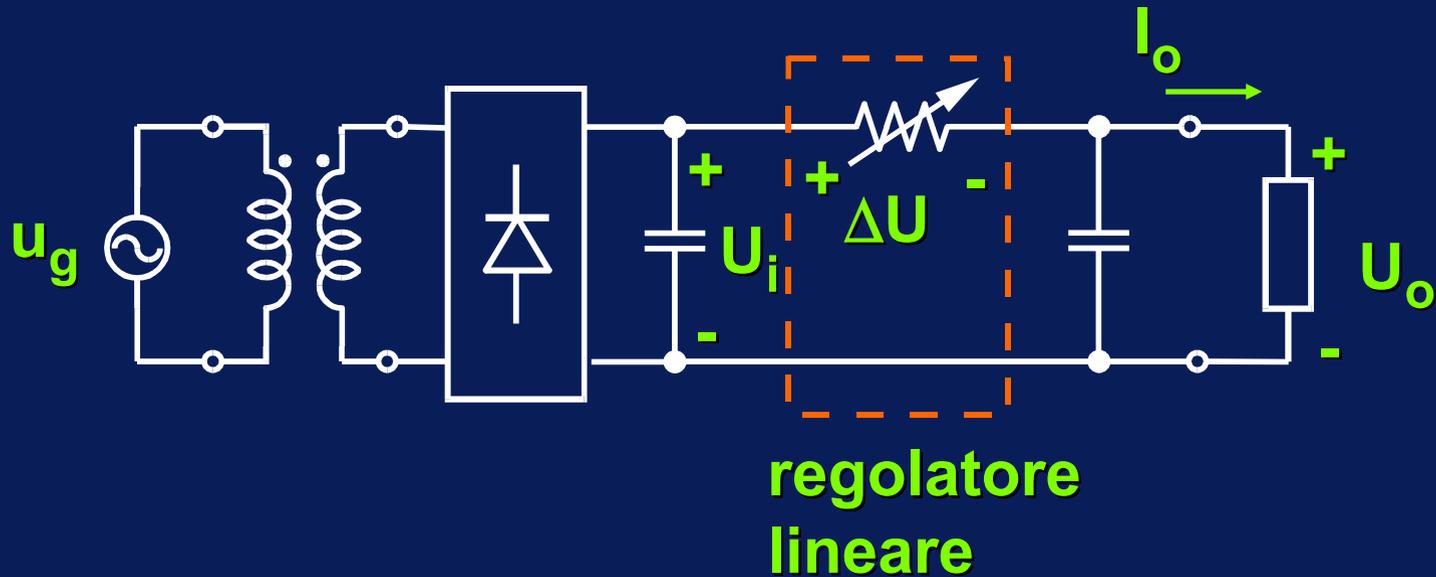
- **Rendimento elevato**
- **Tensione di uscita non regolata**
 - varia se u_g varia (+10%, -20%)
 - dipende dal carico
- **Corrente d'ingresso deformata**
- **Trasformatore a 50Hz (ingombrante e costoso)**

Alimentatore di tensione con regolatore lineare

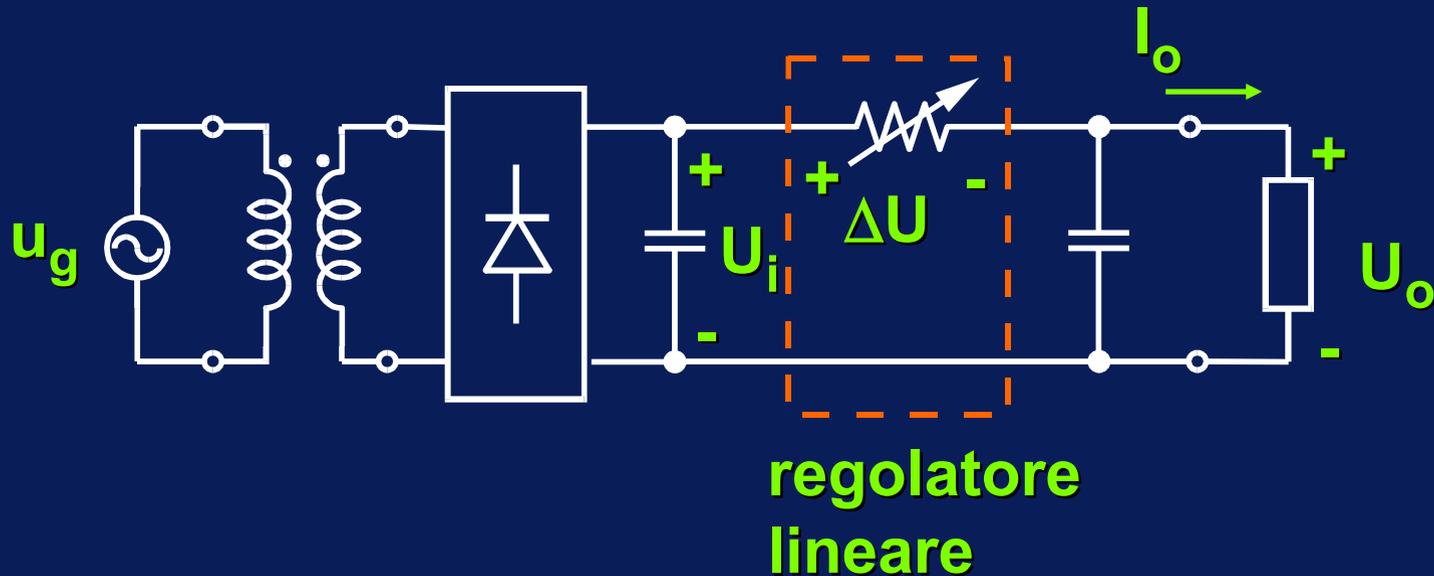
Alimentatore di tensione con regolatore lineare



Alimentatore di tensione con regolatore lineare



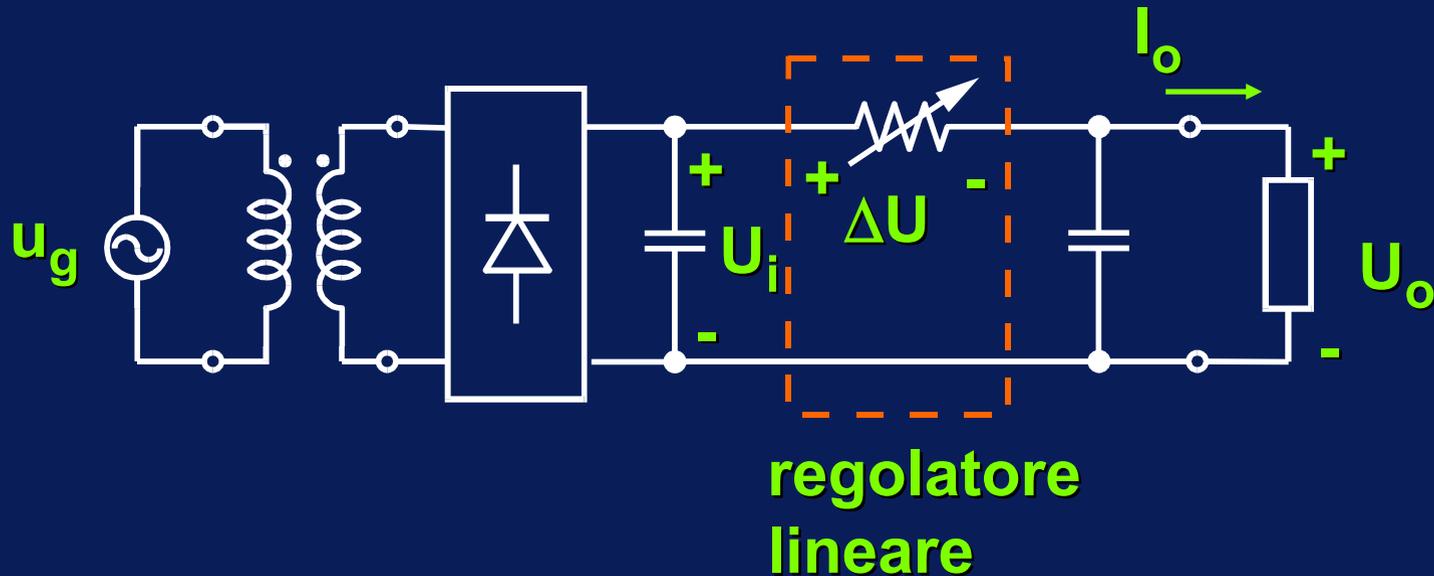
Alimentatore di tensione con regolatore lineare



Caratteristiche

- **Uscita stabilizzata ad un valore fisso**

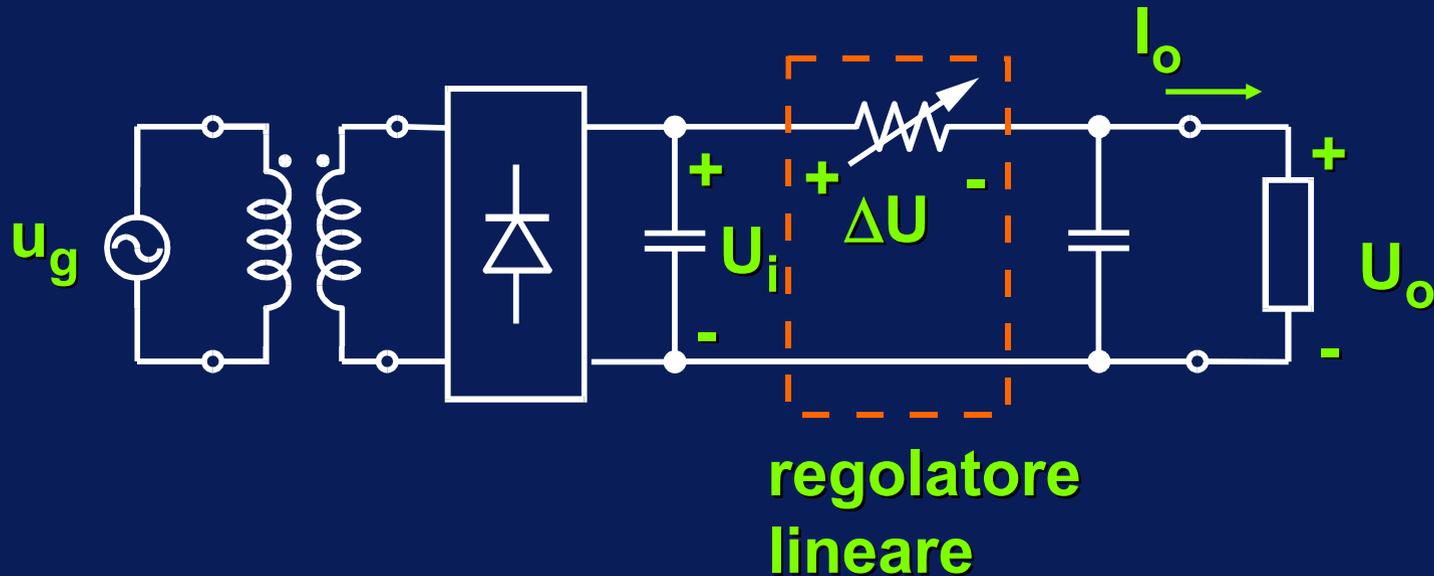
Alimentatore di tensione con regolatore lineare



Caratteristiche

- Semplice ed economico (IC commerciali)

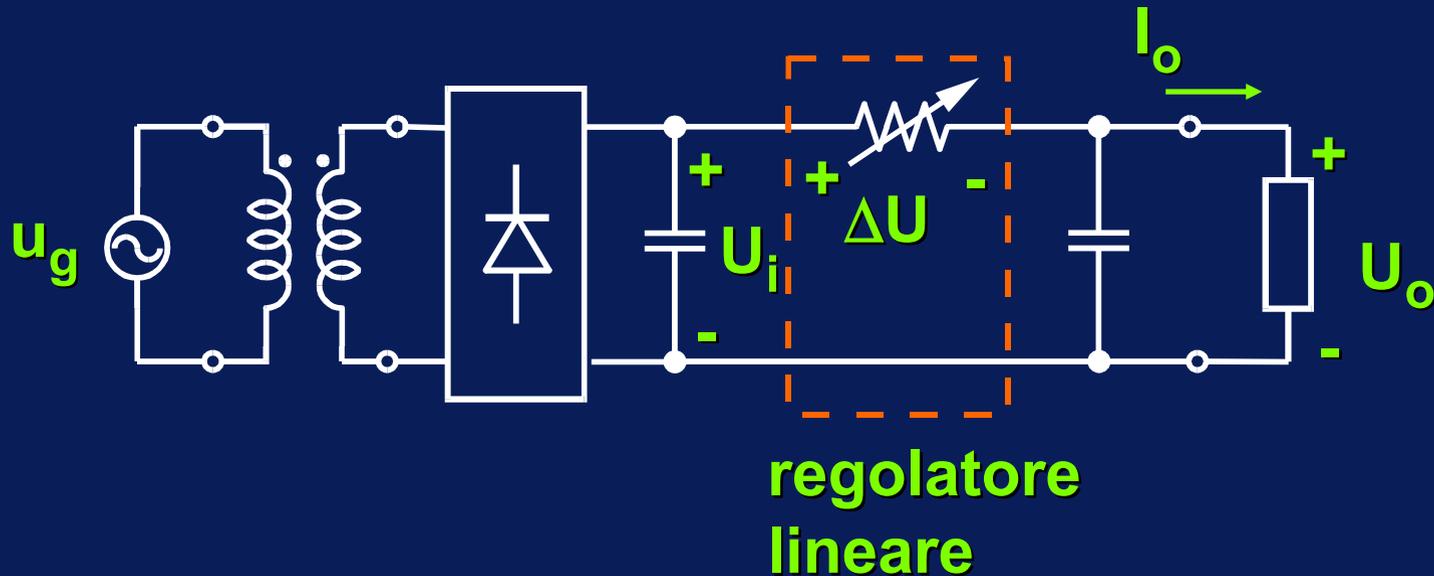
Alimentatore di tensione con regolatore lineare



Caratteristiche

- **Rendimento basso (regolatore dissipativo)**
 - $\Delta U = U_i - U_o > 3V$
 - $P_d = \Delta U I_o$ é proporzionale a I_o

Alimentatore di tensione con regolatore lineare



Caratteristiche

- Utilizzabile per piccole potenze di uscita

Caratteristiche

- **Uscita stabilizzata ad un valore fisso**
- **Semplice ed economico (IC commerciali)**
- **Rendimento basso (regolatore dissipativo)**
 - $\Delta U = U_i - U_o > 3V$
 - $P_d = \Delta U I_o$ é proporzionale a I_o
- **Utilizzabile per piccole potenze di uscita**

Esempio

Specifiche:

$$U_g = 220V \text{ rms } \pm 20\%$$

$$U_o = 12V$$

$$I_o = 1A$$

Esempio

Scelta del rapporto spire $\frac{N_1}{N_2}$ del trasformatore

$$U_{i\min} = U_o + \Delta U_{\min} = 12 + 3 = 15 \text{ V}$$

$$U_{i\min} \cong \sqrt{2} \cdot U_{g\min} \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0.8 \cdot 220}{15} \longrightarrow \frac{N_1}{N_2} = 16$$

Esempio

$$U_i \cong U_g \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 19V \pm 20\% \cong 15 \div 23 V$$

$$\Delta U = U_i - U_o = 3 \div 11V$$

$$P_d = \Delta U \cdot I_o = 3 \div 11W$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_d} = 77 \div 54\%$$

Limitazione della temperatura dei componenti

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} \text{ (125 – 150 } ^\circ\text{C)}$$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} \text{ (125 – 150 } ^\circ\text{C)}$$

R_{th} dipende da

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da  contenitore

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da  **contenitore**
dissipatore

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da

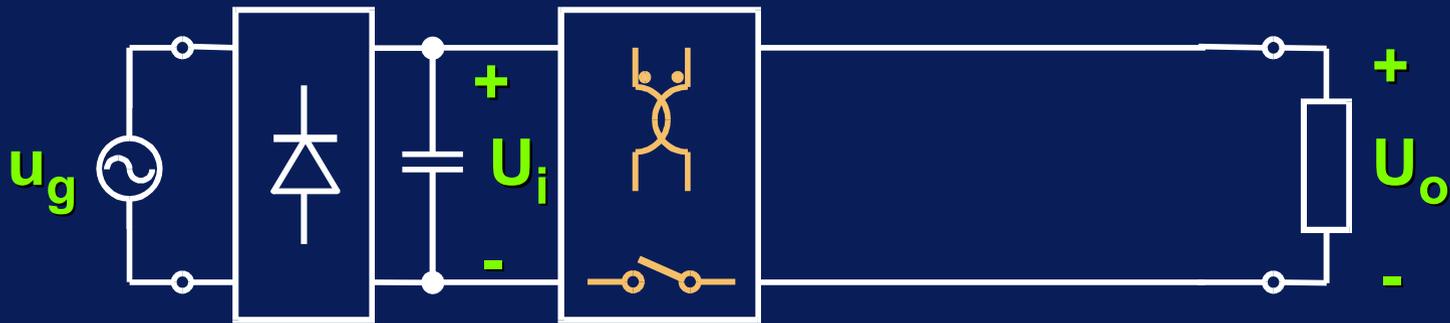
- contenitore
- dissipatore
- refrigerazione

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)

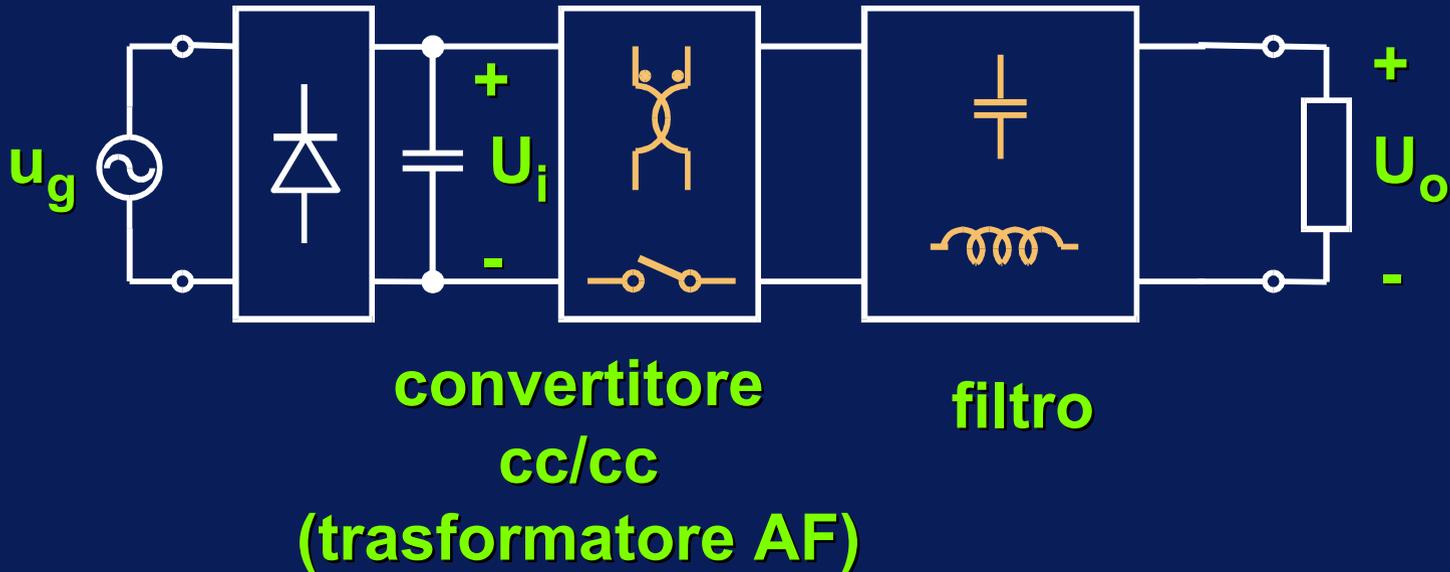


Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)

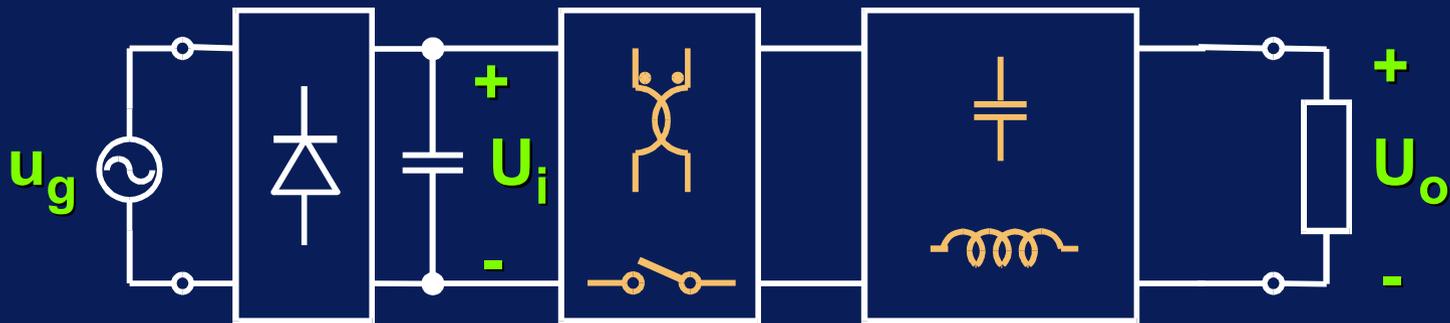


**convertitore
cc/cc
(trasformatore AF)**

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



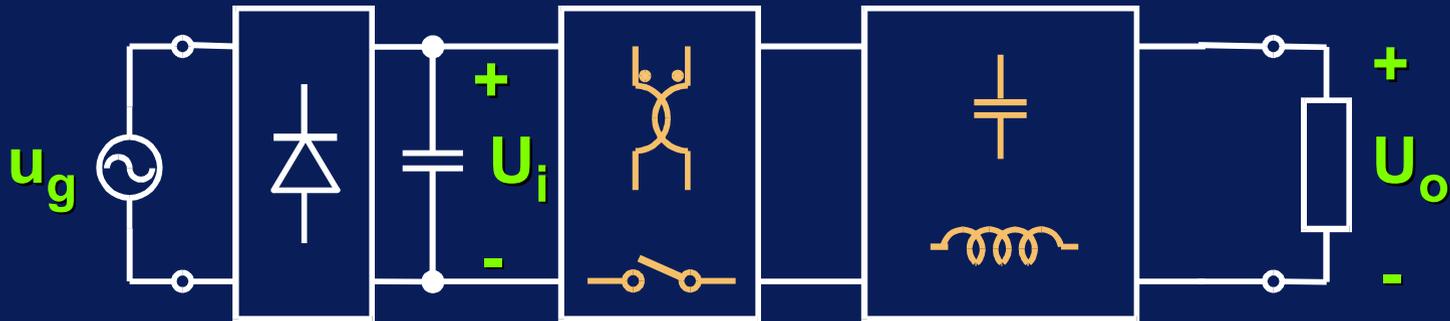
**convertitore
cc/cc
(trasformatore AF)**

filtro

Caratteristiche

- **Manca il trasformatore a 50 Hz**

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



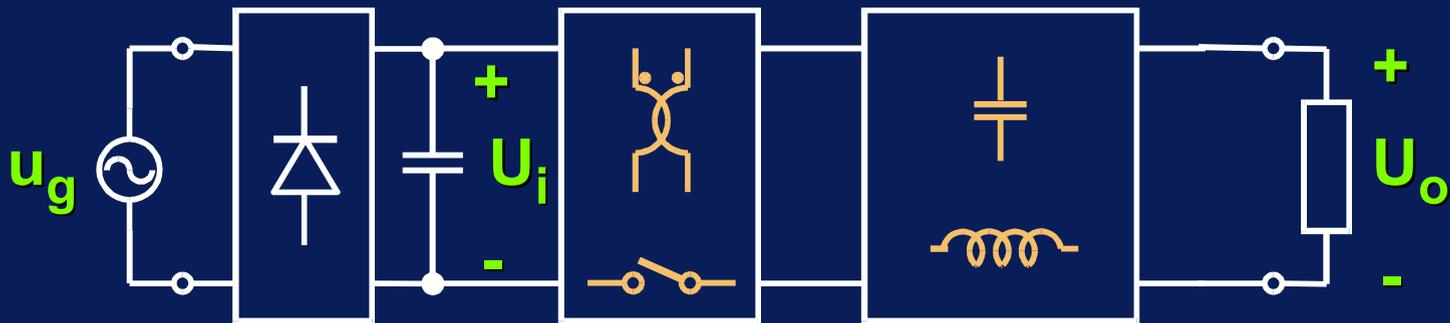
convertitore
cc/cc
(trasformatore AF)

filtro

Caratteristiche

- Tensione d'uscita stabilizzata e regolabile

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



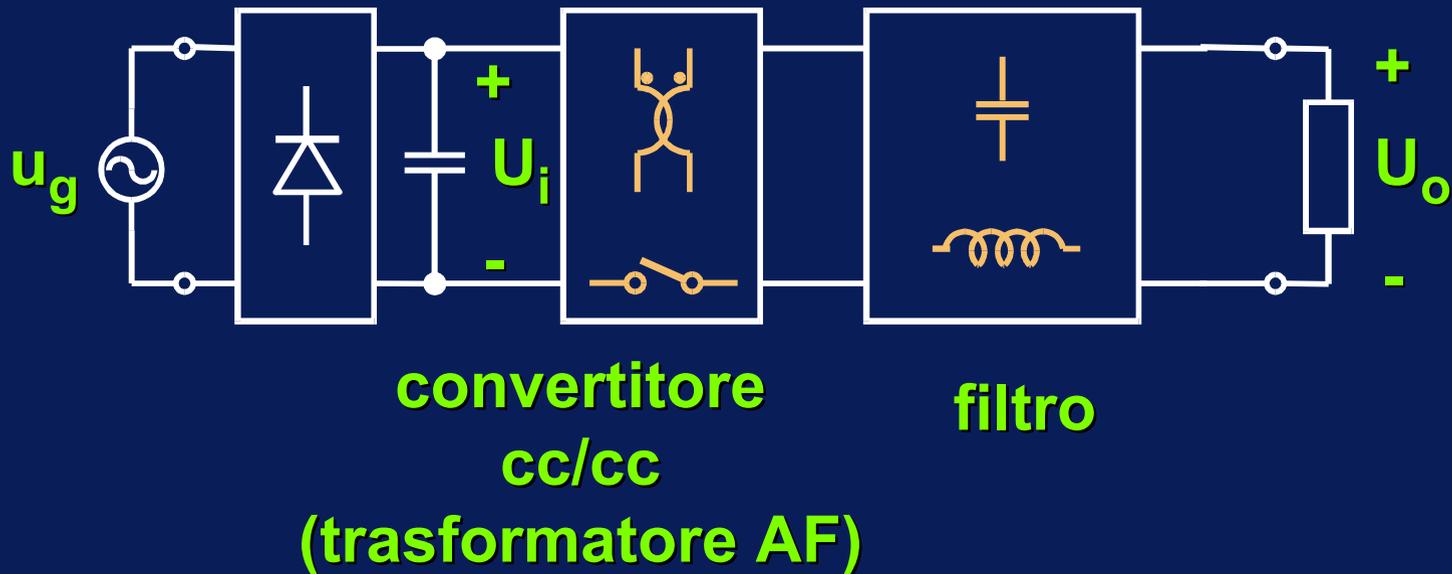
**convertitore
cc/cc
(trasformatore AF)**

filtro

Caratteristiche

- **Rendimento elevato**

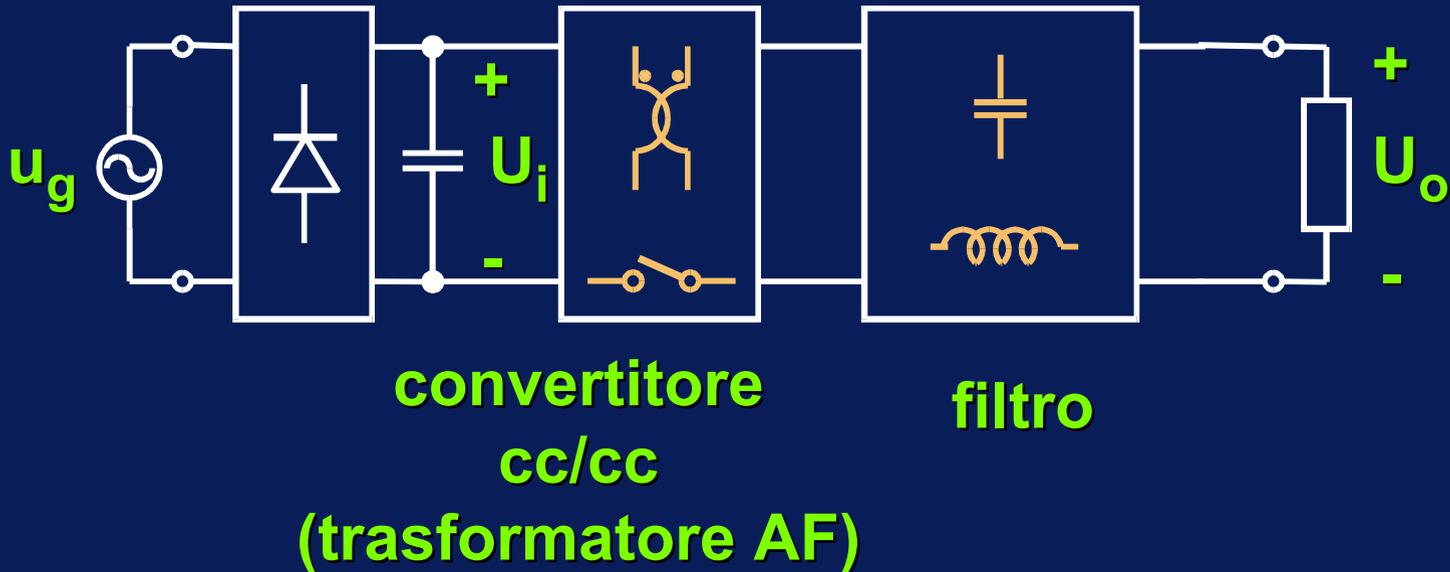
Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



Caratteristiche

- Trasformatore ad AF (piccolo ed economico)

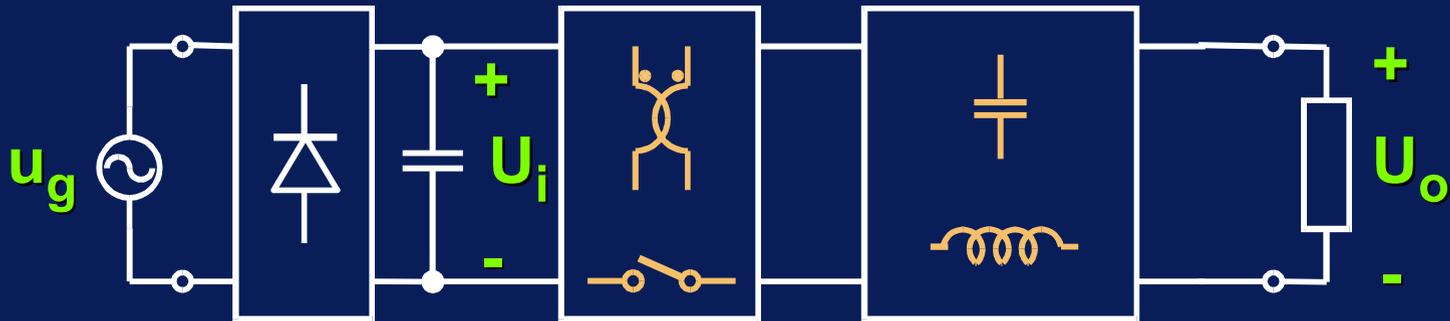
Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



Caratteristiche

- Un solo convertitore cc/cc può fornire più uscite isolate

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



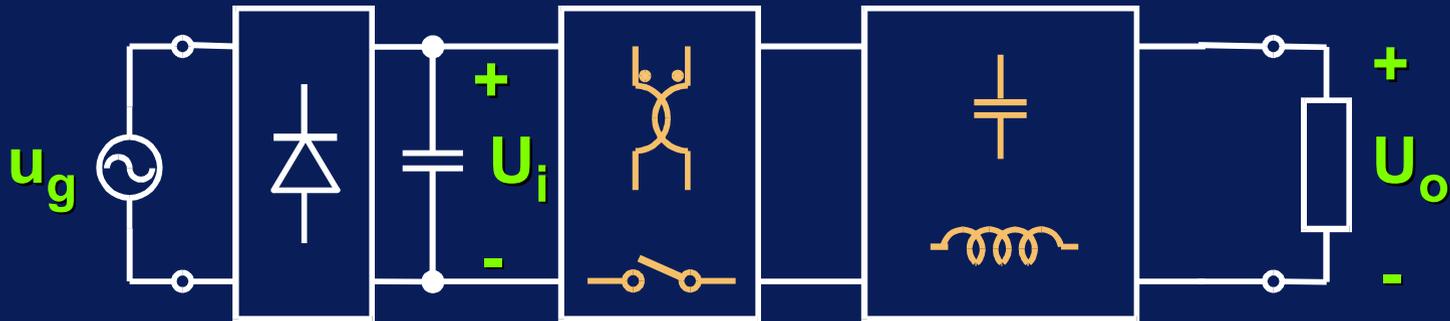
convertitore
cc/cc
(trasformatore AF)

filtro

Caratteristiche

- Utilizzabile per potenze anche elevate

Alimentatore con regolatore switching (Switched Mode Power Supply, SMPS)



**convertitore
cc/cc
(trasformatore AF)**

filtro

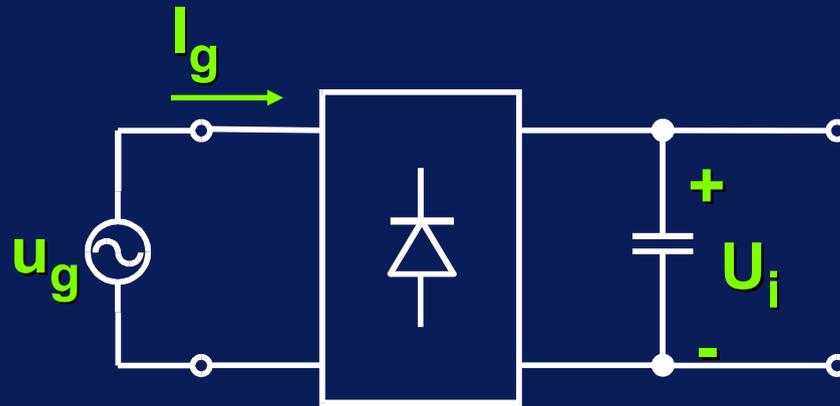
Caratteristiche

- **Circuito complesso**

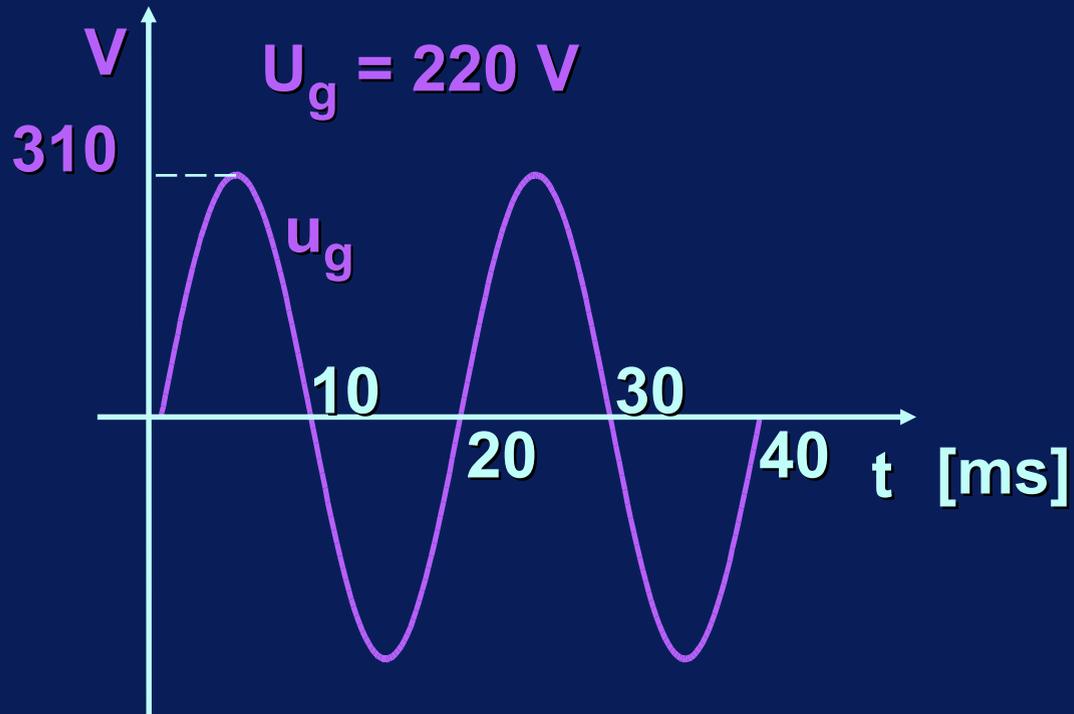
Caratteristiche

- **Manca il trasformatore a 50Hz**
- **Tensione d'uscita stabilizzata e regolabile**
- **Rendimento elevato**
- **Trasformatore ad AF (piccolo ed economico)**
- **Un solo convertitore cc/cc può fornire più uscite isolate**
- **Utilizzabile per potenze anche elevate**
- **Circuito complesso**

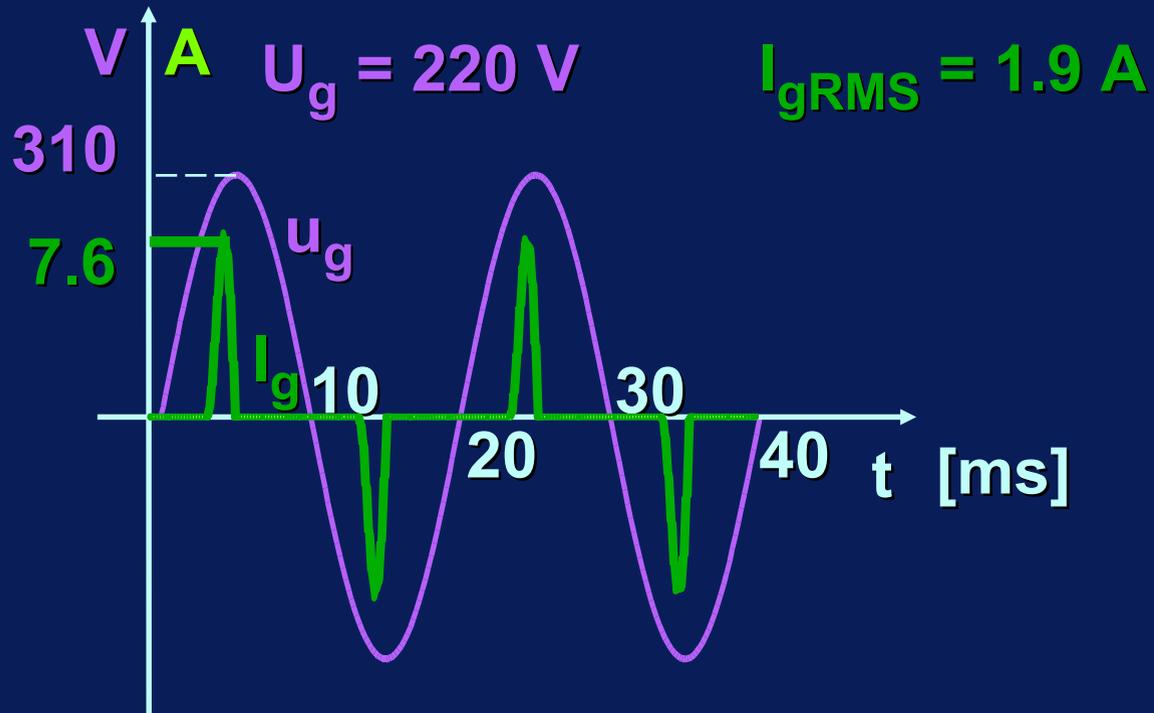
Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi



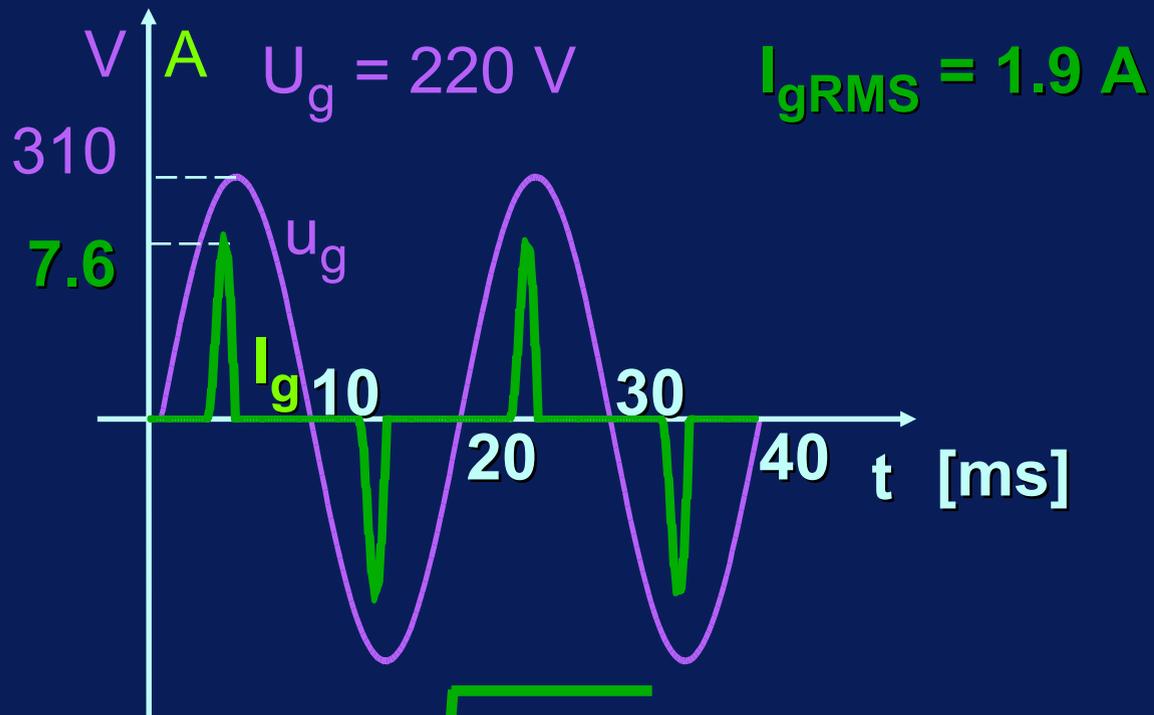
Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi



Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi

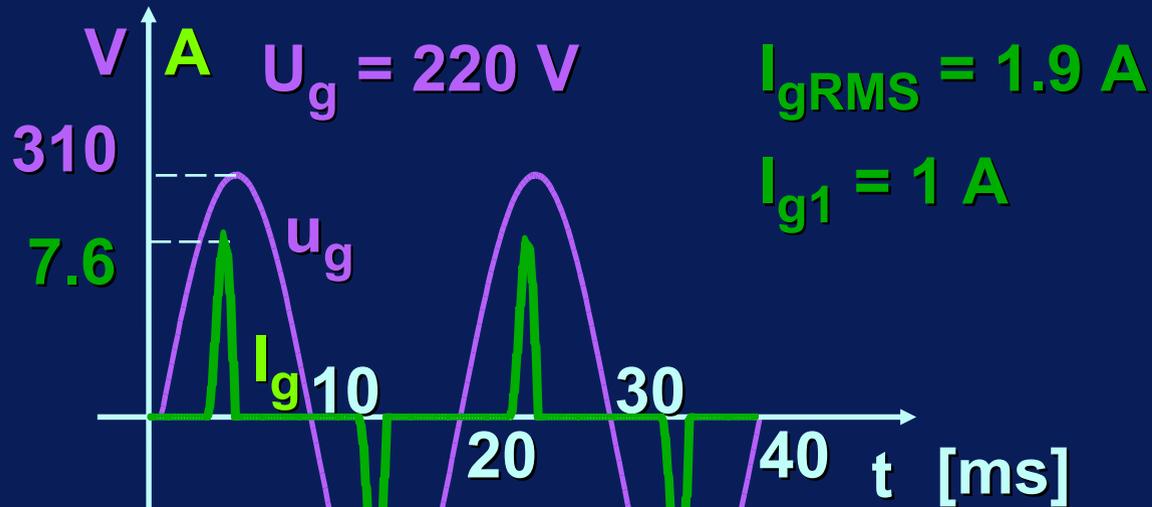


Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi



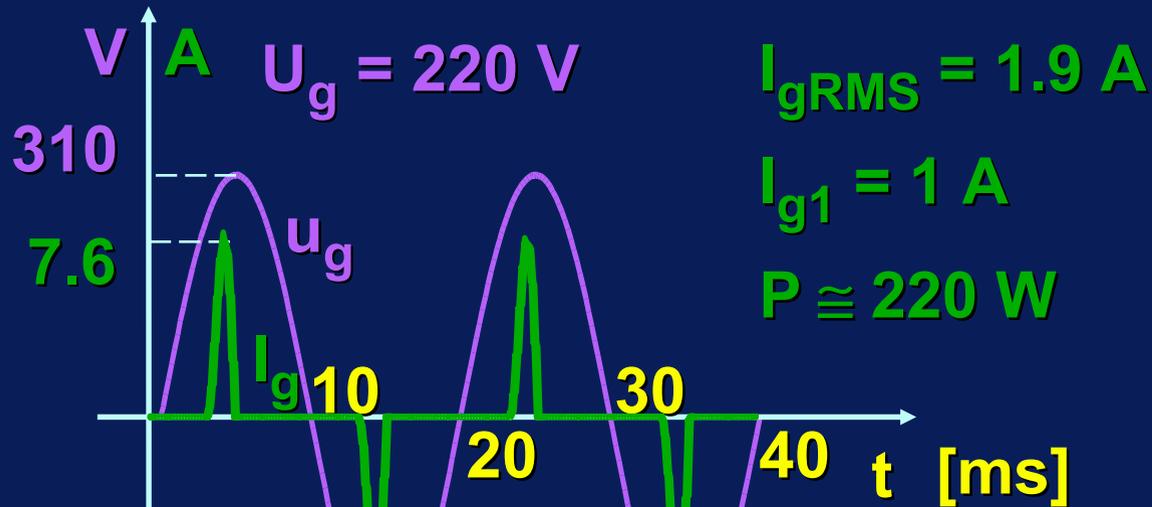
$$I_g = \sqrt{\sum_{1}^{\infty} I_{gn}^2}$$

Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi



$$I_g = \sqrt{\sum_{1}^{\infty} I_{gn}^2}$$

Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi



$$I_g = \sqrt{\sum_1^{\infty} I_{gn}^2}$$

Impatto sulla rete

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}}$$

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}}$$

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}}$$

Fattore di potenza (Power Factor, PF)

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}}$$

Fattore di potenza (Power Factor, PF)

$$\text{PF} = \frac{\text{potenza attiva}}{\text{potenza apparente}}$$

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}}$$

Fattore di potenza (Power Factor, PF)

$$\text{PF} = \frac{\text{potenza attiva}}{\text{potenza apparente}} = \frac{U_g \cdot I_{g1} \cdot \cos\varphi_1}{U_g \cdot I_g}$$

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}} = 1.61$$

Fattore di potenza (Power Factor, PF)

$$\text{PF} = \frac{\text{potenza attiva}}{\text{potenza apparente}} = \frac{U_g \cdot I_{g1} \cdot \cos\varphi_1}{U_g \cdot I_g}$$

Impatto sulla rete

Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

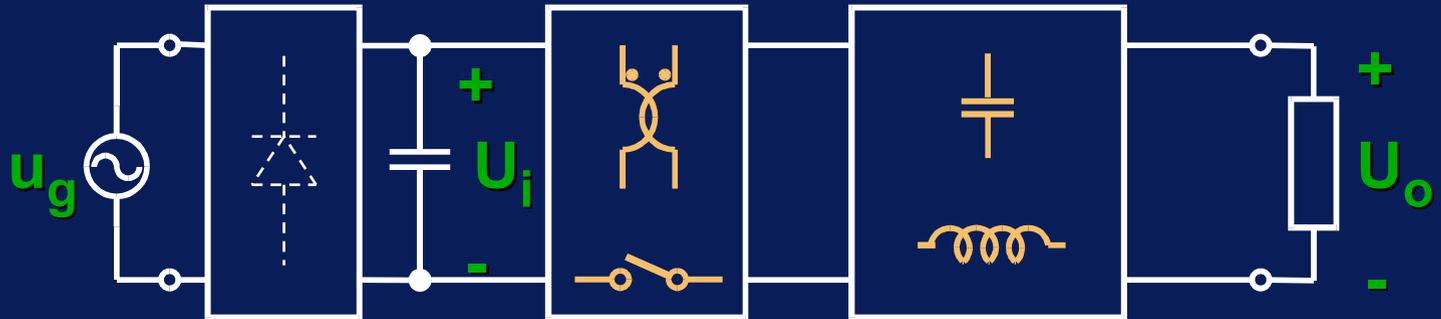
$$\text{THD} = \frac{I_{g \text{ armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}} = 1.61$$

Fattore di potenza (Power Factor, PF)

$$\text{PF} = \frac{\text{potenza attiva}}{\text{potenza apparente}} = \frac{U_g \cdot I_{g1} \cdot \cos\varphi_1}{U_g \cdot I_g} = 0.53$$

Alimentatore con Power Factor Corrector

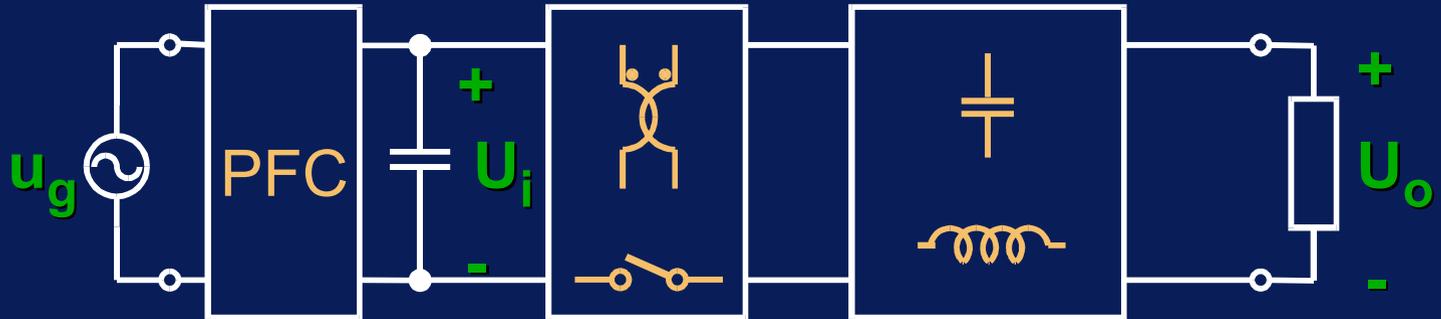
Alimentatore con Power Factor Corrector



Convertitore
cc/cc

Filtro

Alimentatore con Power Factor Corrector

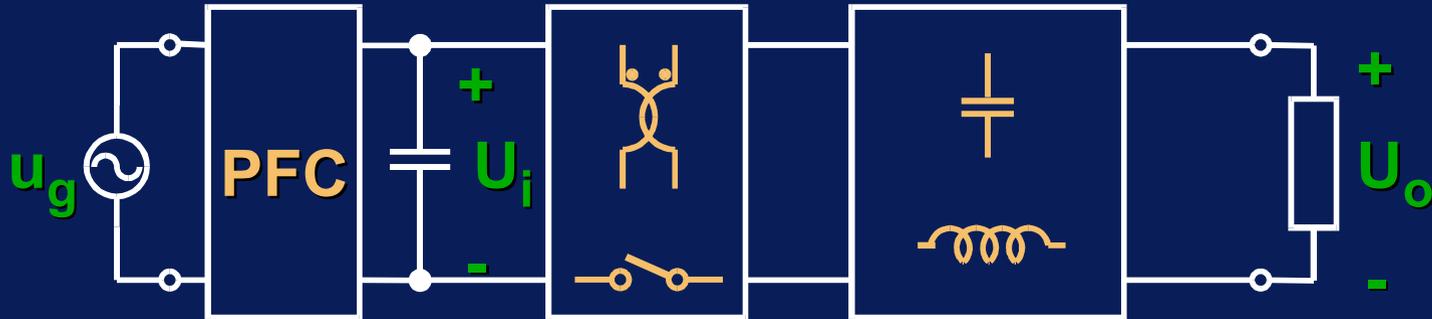


Power
Factor
Corrector

Convertitore
cc/cc

Filtro

Alimentatore con Power Factor Corrector



**Power
Factor
Corrector**

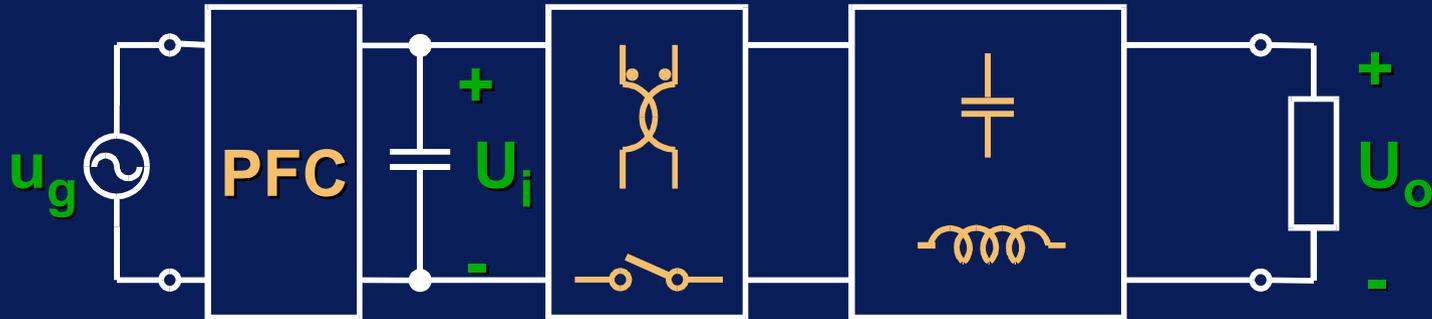
**Convertitore
cc/cc**

Filtro

Caratteristiche del PFC

- **Migliora il comportamento lato rete**
 - **riduce la distorsione armonica**
 - **aumenta il fattore di potenza**

Alimentatore con Power Factor Corrector



**Power
Factor
Corrector**

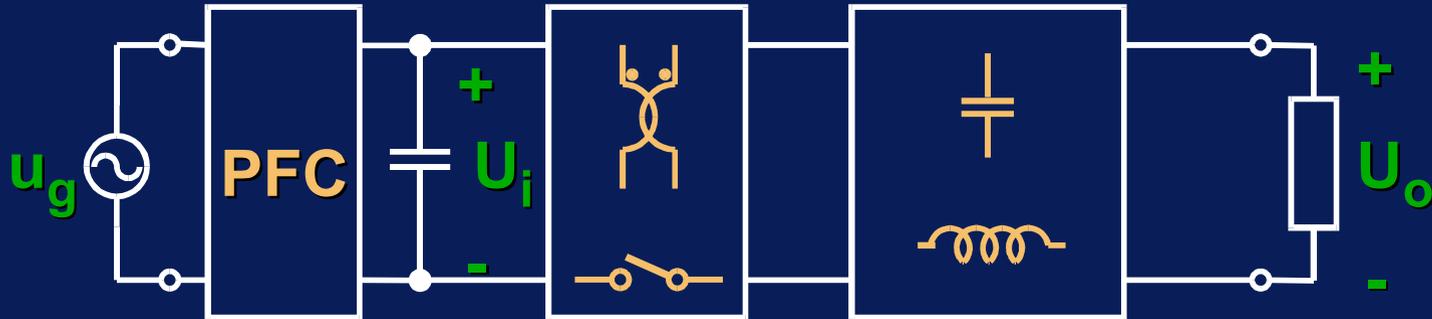
**Convertitore
cc/cc**

Filtro

Caratteristiche del PFC

- **Richiede uno stadio switching anche in ingresso**
 - **abbassa il rendimento**
 - **complica il circuito**

Alimentatore con Power Factor Corrector



**Power
Factor
Corrector**

**Convertitore
cc/cc**

Filtro

Caratteristiche del PFC

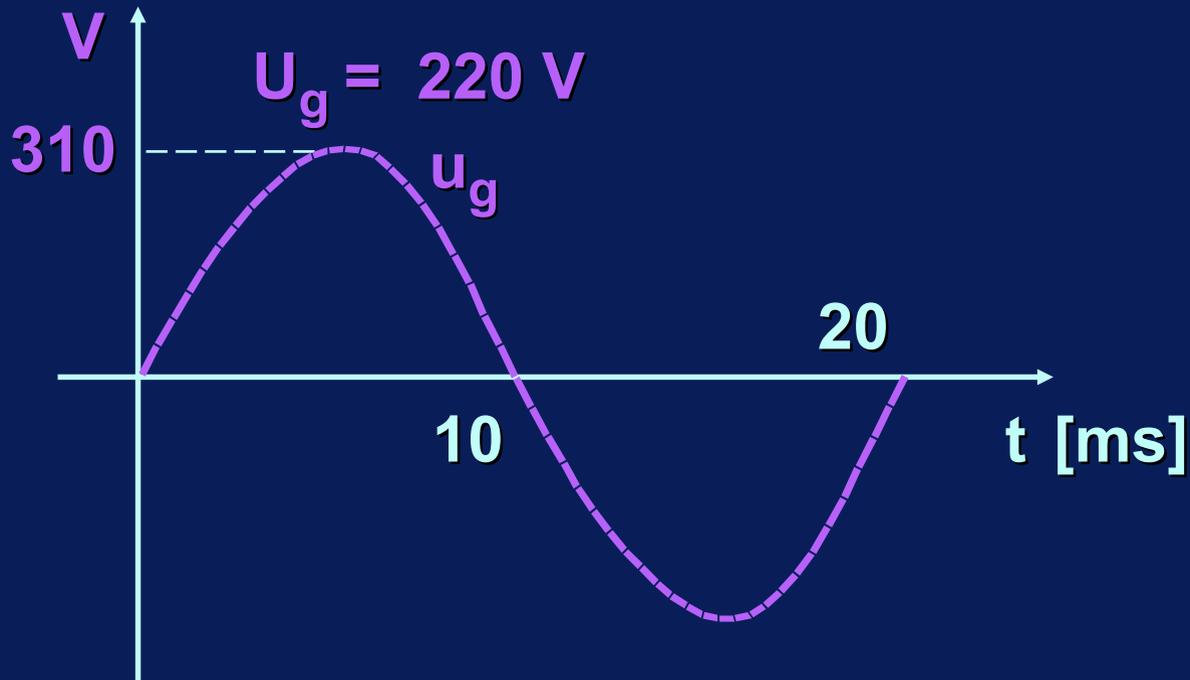
- Può essere necessario per garantire la conformità alle normative che limitano l'emissione armonica

Caratteristiche del PFC

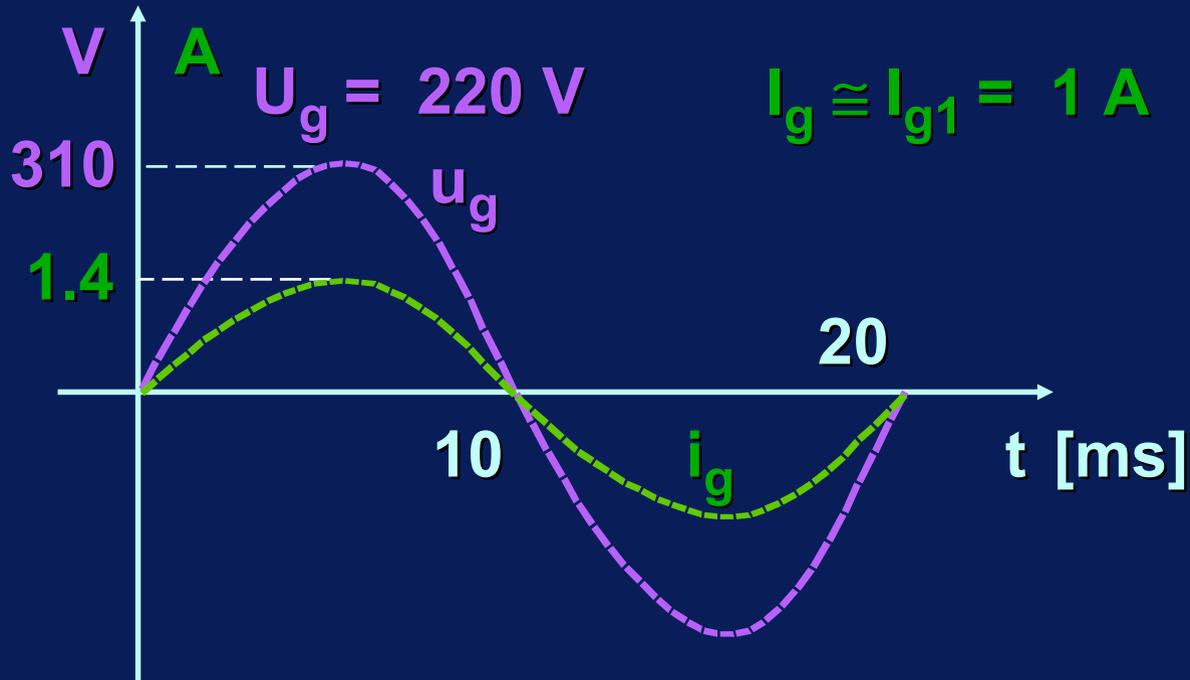
- **Migliora il comportamento lato rete**
 - **riduce la distorsione armonica**
 - **aumenta il fattore di potenza**
- **Richiede uno stadio switching anche in ingresso**
 - **abbassa il rendimento**
 - **complica il circuito**
- **Puó essere necessario per garantire la conformità alle normative che limitano l'emissione armonica**

Forme d'onda tipiche dei Power Factor Corrector

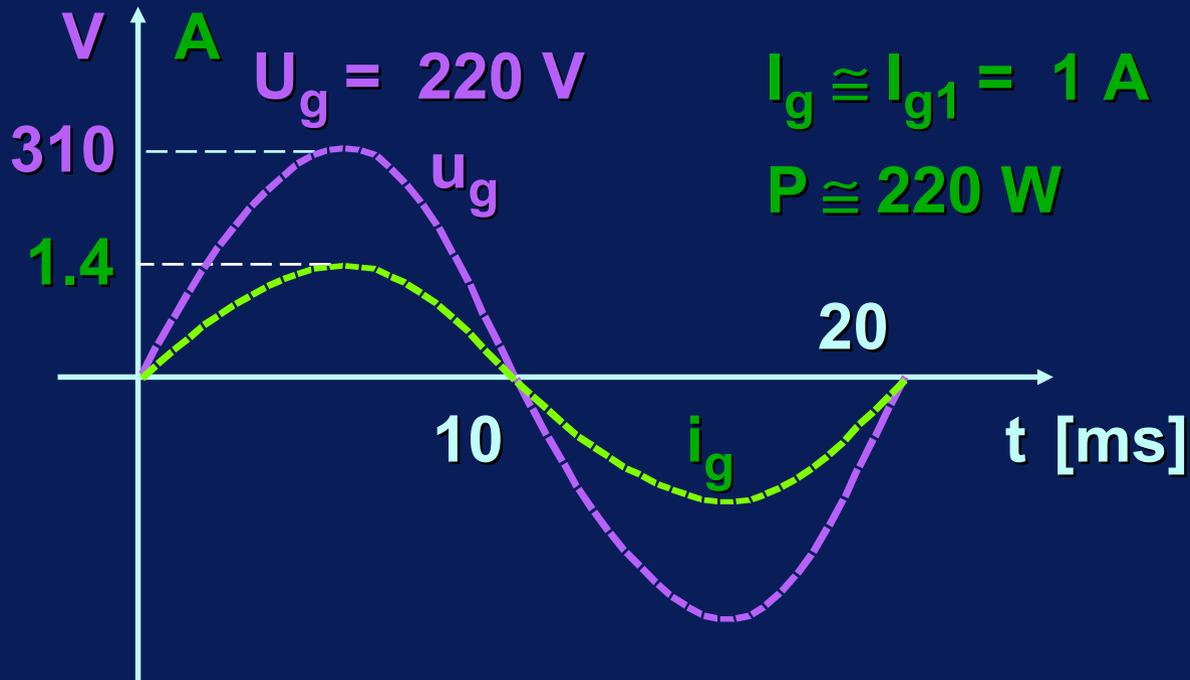
Forme d'onda tipiche dei Power Factor Corrector



Forme d'onda tipiche dei Power Factor Corrector



Forme d'onda tipiche dei Power Factor Corrector



THD = 0.035

PF = 0.996

Conclusioni

Principali problematiche degli alimentatori elettronici

- **Rendimento e dissipazione di potenza**
- **Ingombro e peso**
- **Impatto sulla rete di alimentazione**
- **Impatto sull'ambiente (EMC)**
- **Costo**
- **Costo**
- **Costo**