



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI TRIESTE



Dipartimento di
Ingegneria
e Architettura

Convertitori elettronici

Elettrotecnica

A.A. 2024 - 2025

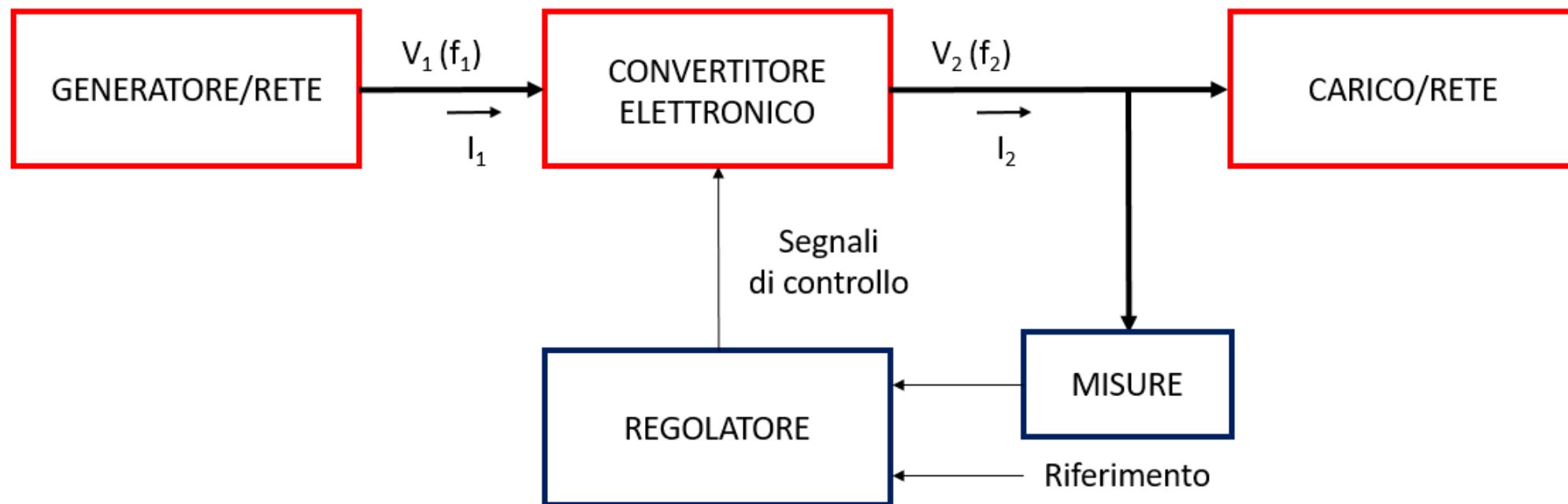
Prof. Alessandro Massi Pavan – apavan@units.it

MACCHINE ELETTRICHE

- Sistemi fisici in cui avvengono trasformazioni di energia da una forma all'altra (almeno una delle forme è elettrica)
- Trasformazioni solo elettriche in macchine statiche:
trasformatori e convertitori elettronici
- Trasformazioni elettromeccaniche in macchine rotanti
(generatori e motori): macchine asincrone (dette anche a induzione), sincrone e a corrente continua

ELETTRONICA DI POTENZA

Il compito dei convertitori elettronici (di potenza) è quello di controllare i flussi di energia elettrica



APPLICAZIONI

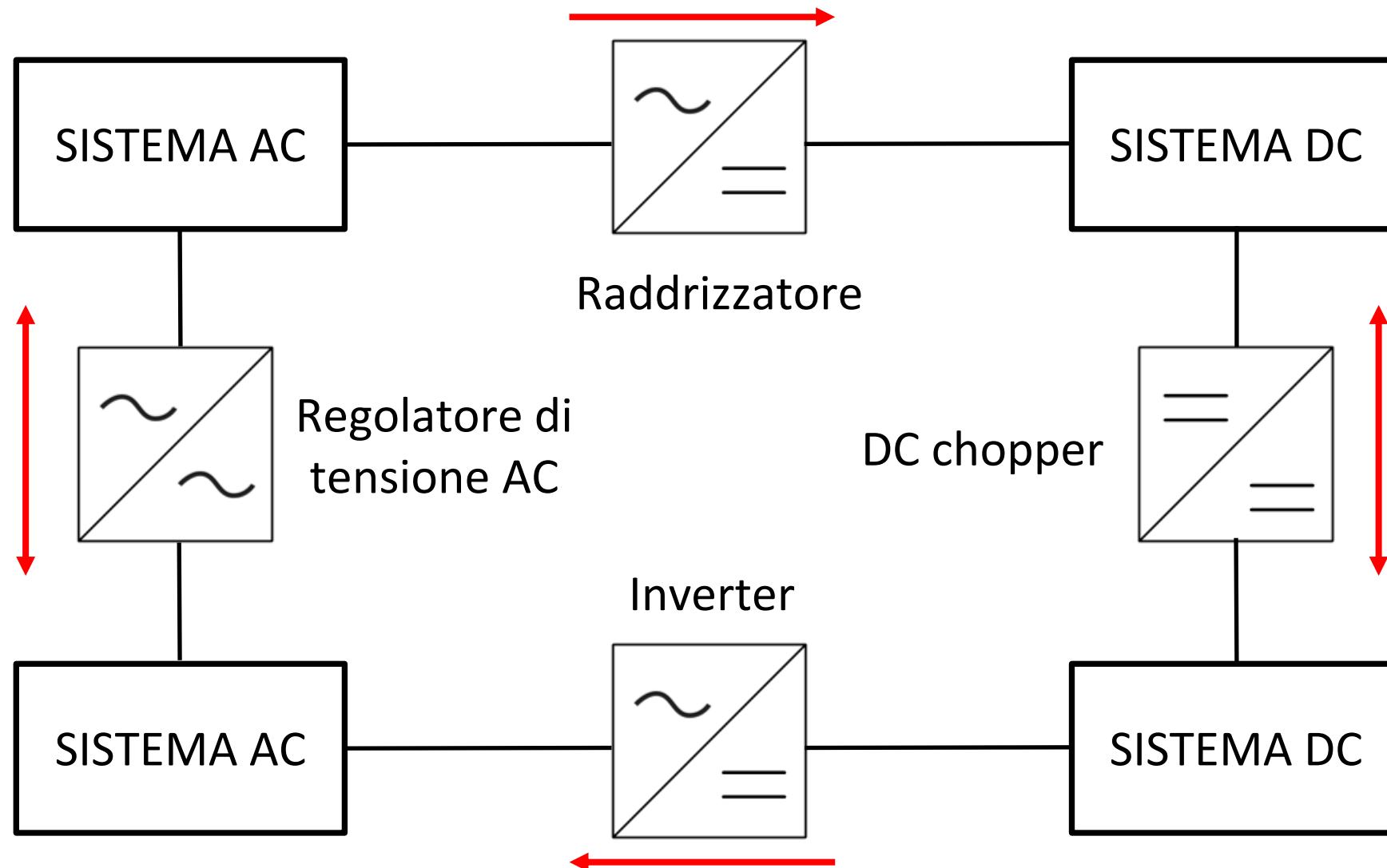
- Alimentatori statici in corrente continua e gruppi di continuità (UPS)
- Applicazioni per il risparmio energetico
- Generazione di energia elettrica
- Trasmissione dell'energia elettrica
- Controllo di processo e automazione industriale
- Trasporti
- Applicazioni elettriche

CLASSIFICAZIONE

- Raddrizzatori a diodi
- Convertitori AC-DC
- Raddrizzatori controllati
- Convertitori AC – AC
- Regolatori di tensione in AC
- Convertitori DC-DC (DC chopper)
- Convertitori DC-AC (Inverter)
- Interruttori statici



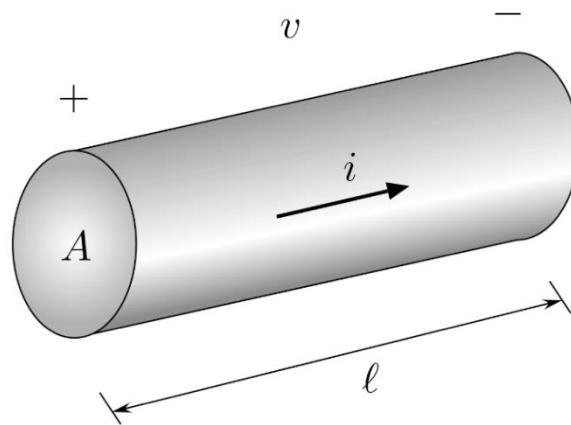
CLASSIFICAZIONE



COMPONENTI

- Interruttori di potenza (statici) realizzati in silicio monocristallino (semiconduttore intrinseco del IV gruppo) opportunamente drogato (semiconduttori tipo p e tipo n)
- A differenza di quelli ideali, gli interruttori elettronici presentano delle perdite, che sono di conduzione e di commutazione
- I diodi sono componenti non lineari e non controllabili
- Esempi di componenti controllabili sono: BJT, GTO, MOSFET, IGBT, ecc.

RESISTENZA ELETTRICA



Conduttori

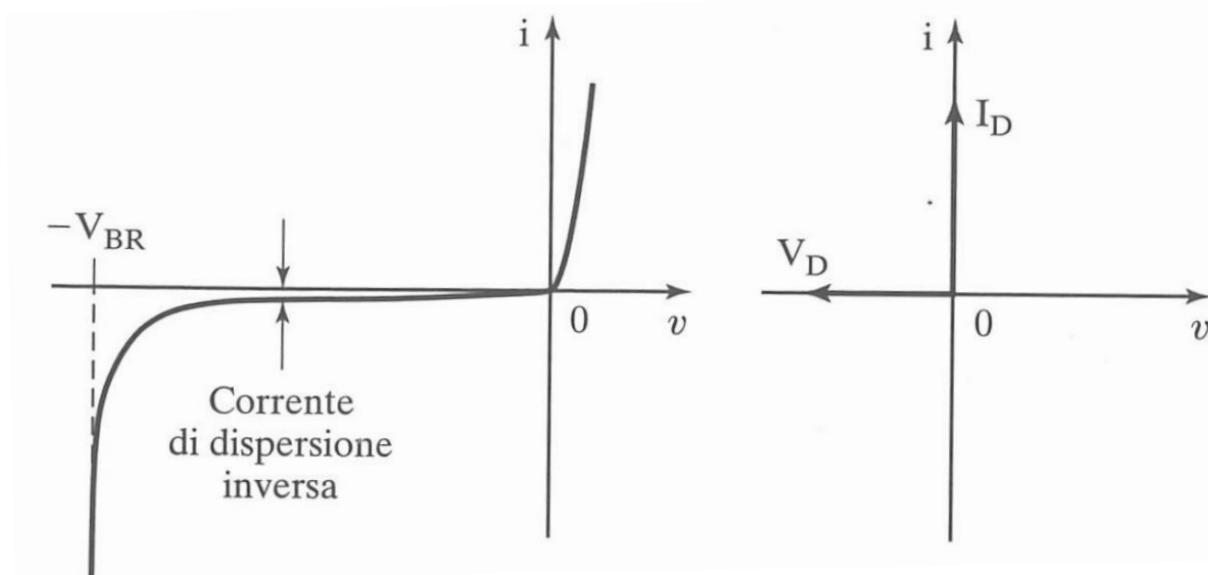
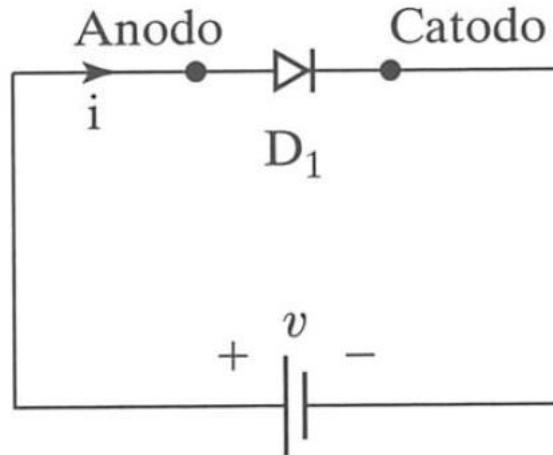
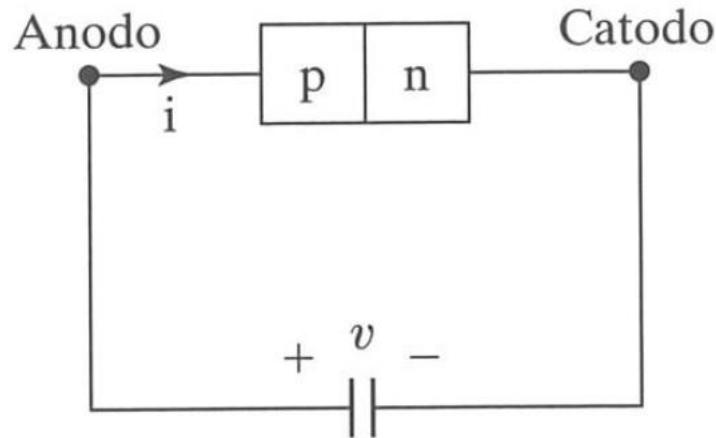
Semi conduttore

Isolante

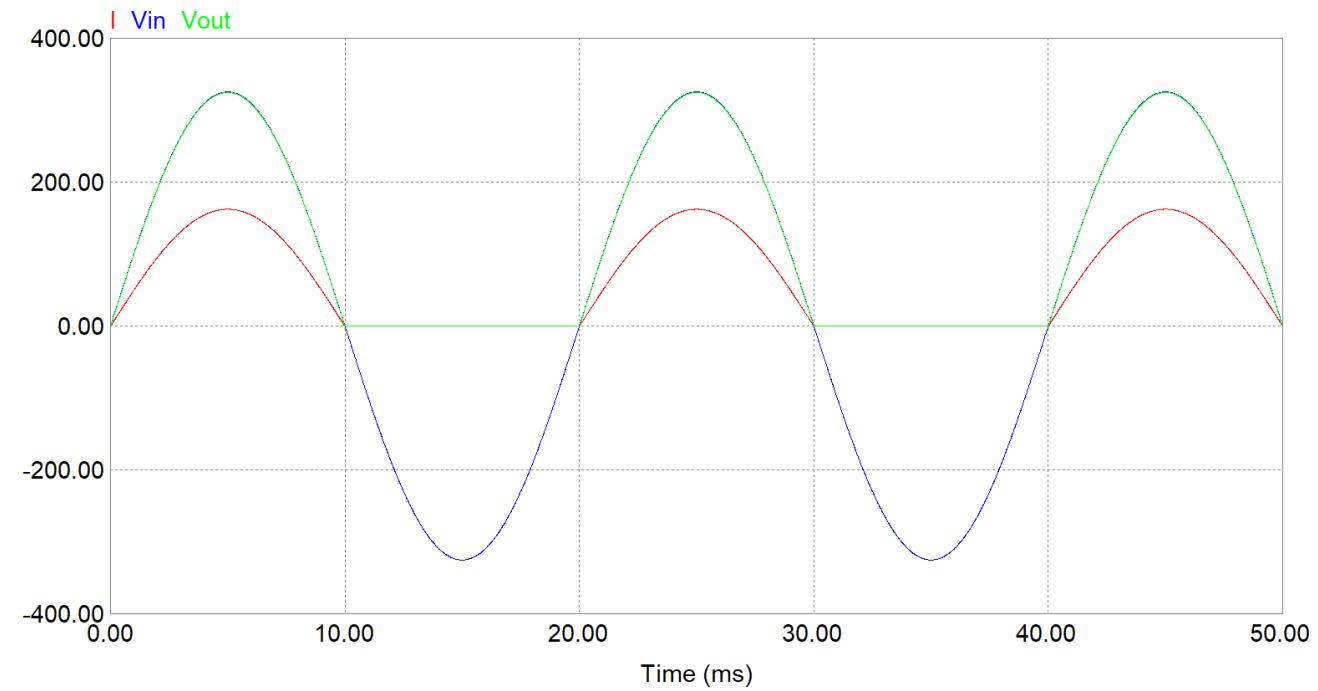
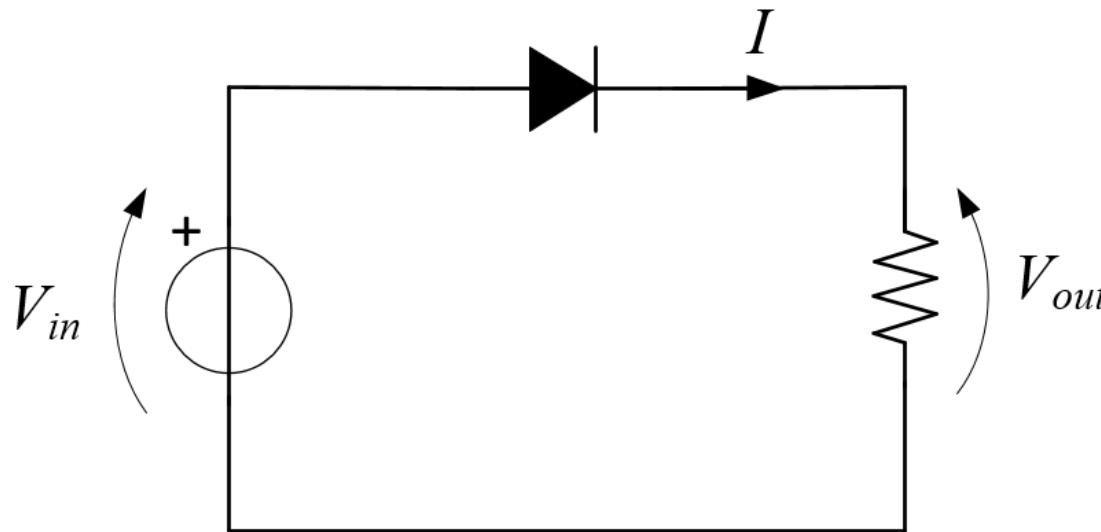
$$R = \rho \times \frac{l}{A}$$

MATERIALE	RESISTIVITA' ($\Omega \cdot m$)	APPLICAZIONE
Rame	$1,7 \times 10^{-8}$	Anima dei cavi
Oro	$2,3 \times 10^{-8}$	Interruttori
Alluminio	$2,7 \times 10^{-8}$	Anima dei cavi
Silicio	$6,4 \times 10^2$	Circuiti integrati/Celle fotovoltaiche
Polietilene	10^{14}	Guaine dei cavi

IL DIODO

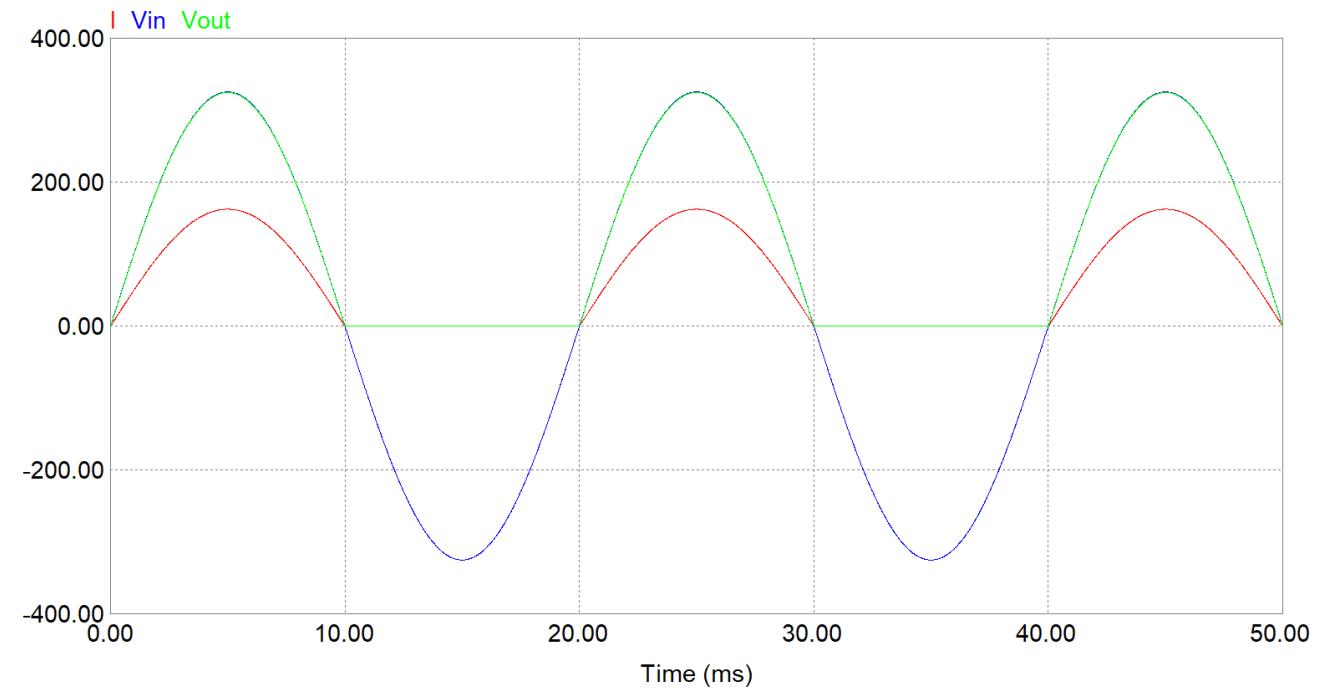
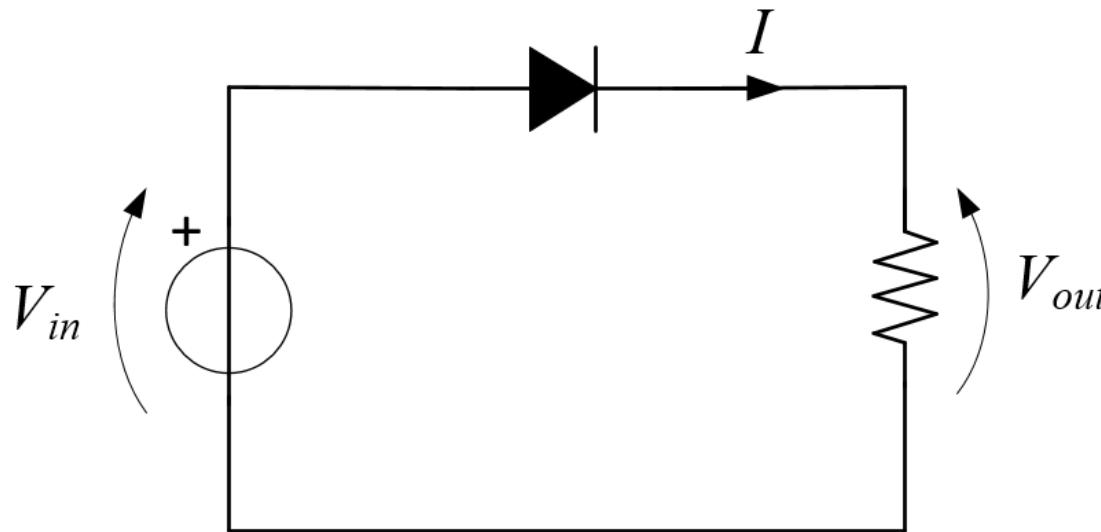


RADDRIZZATORE A DIODI MONOFASE A SEMIONDA



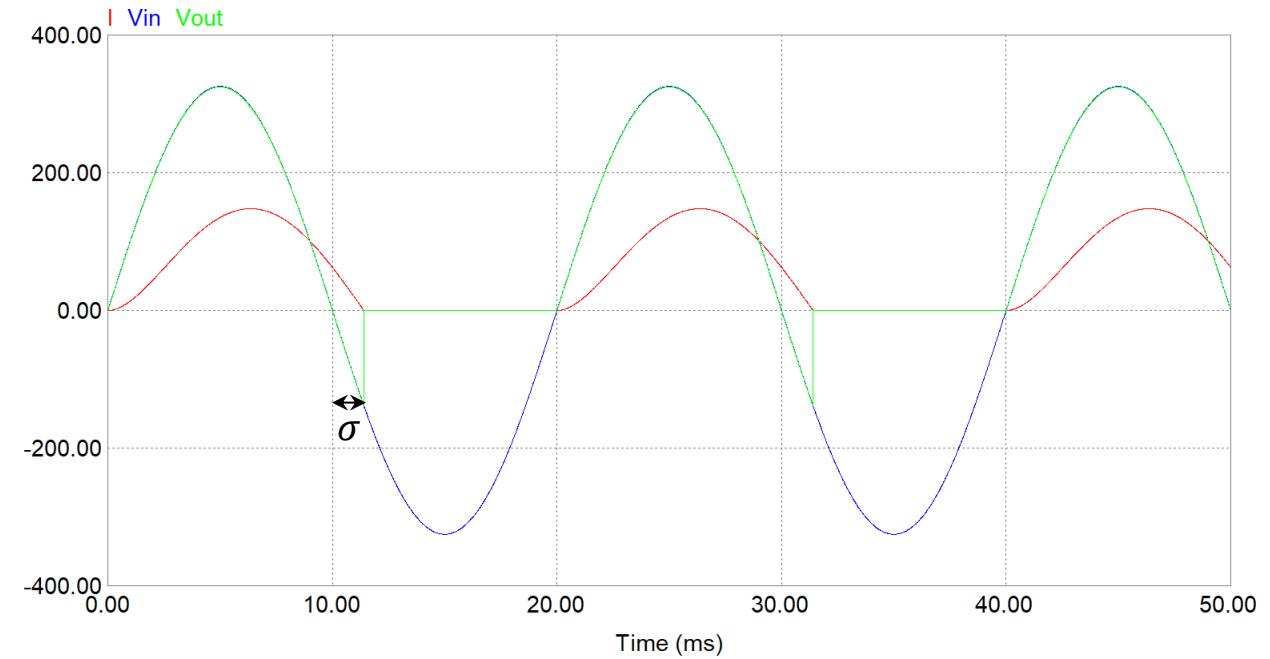
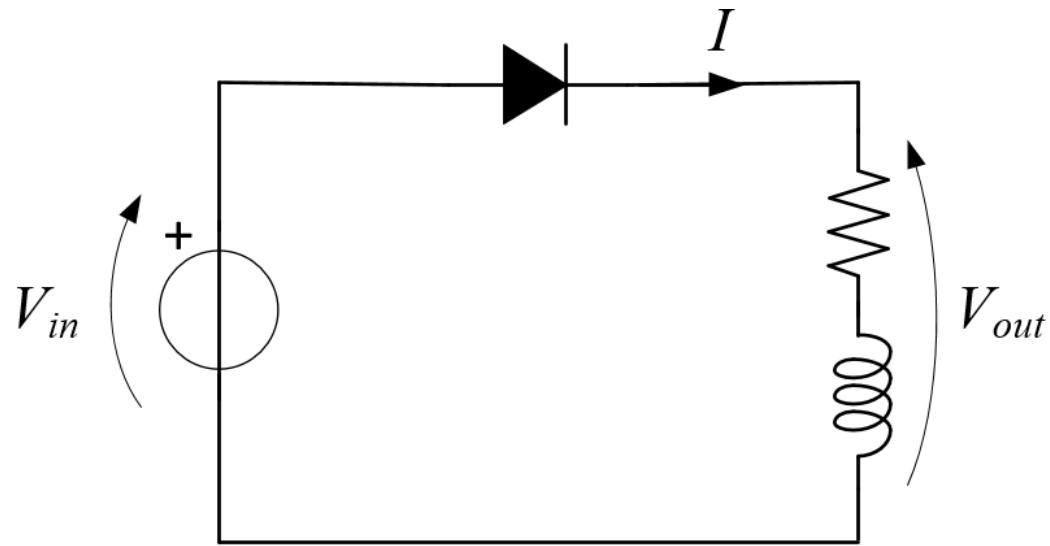
$$V_{out} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{in} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_{in}}{\pi} = 0,318 V_{in}$$

RADDRIZZATORE A DIODI MONOFASE A SEMIONDA



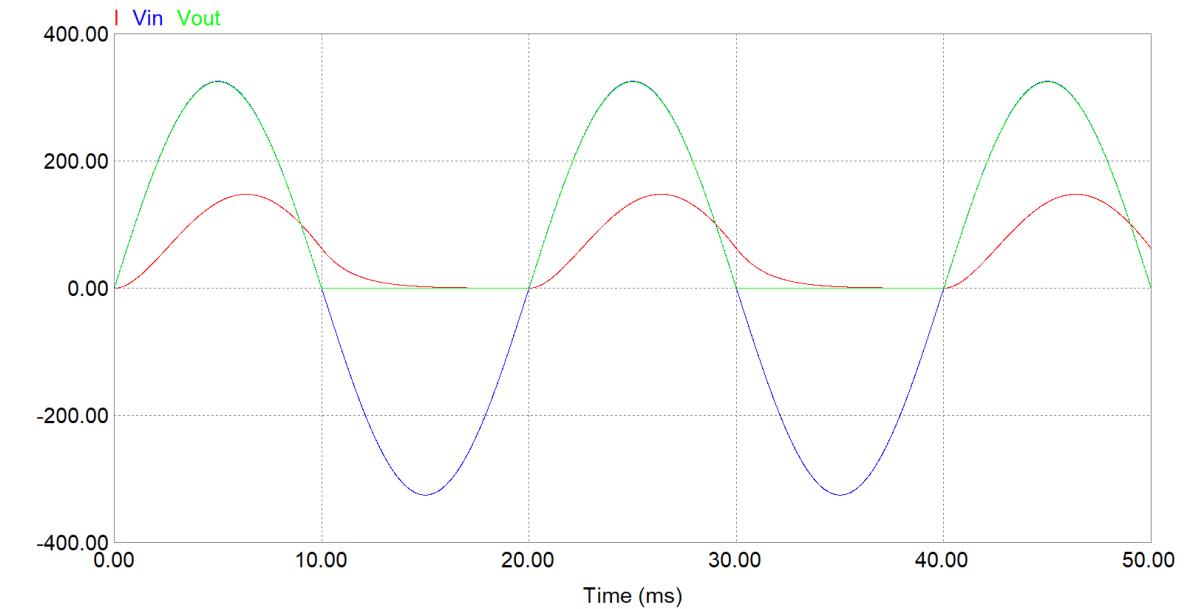
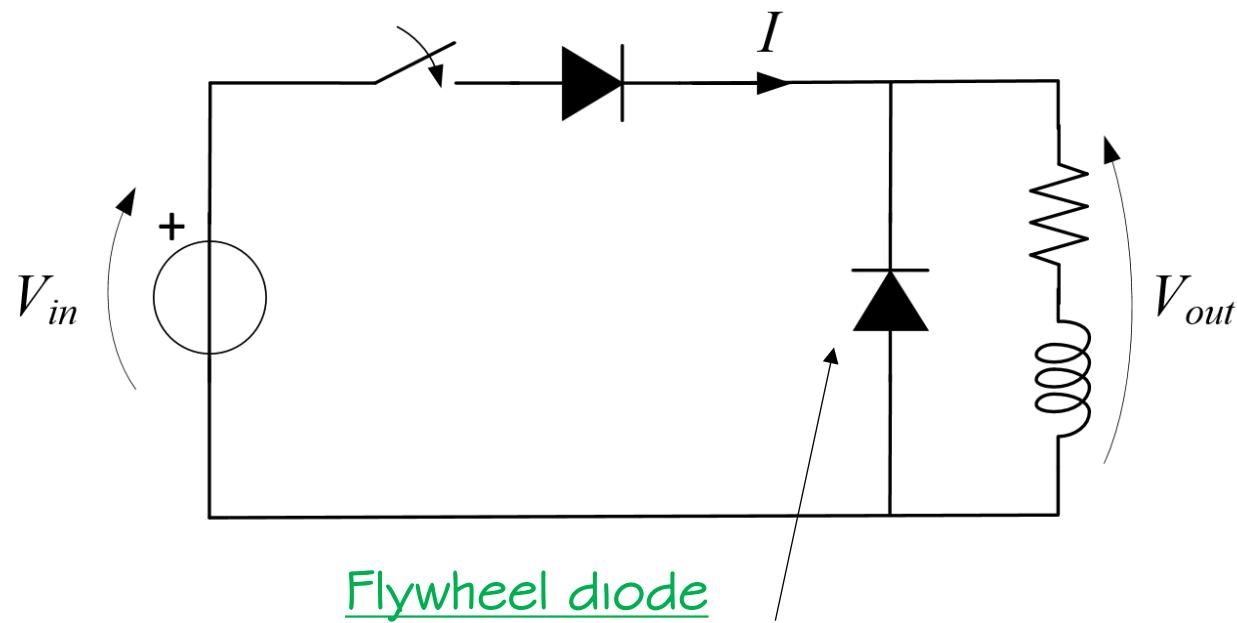
$$V_{out} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} V_{in} \sin \omega t d(\omega t) = \frac{V_{in}}{\pi} = 0,318 V_{in}$$

RADDRIZZATORE A DIODI MONOFASE A SEMIONDA

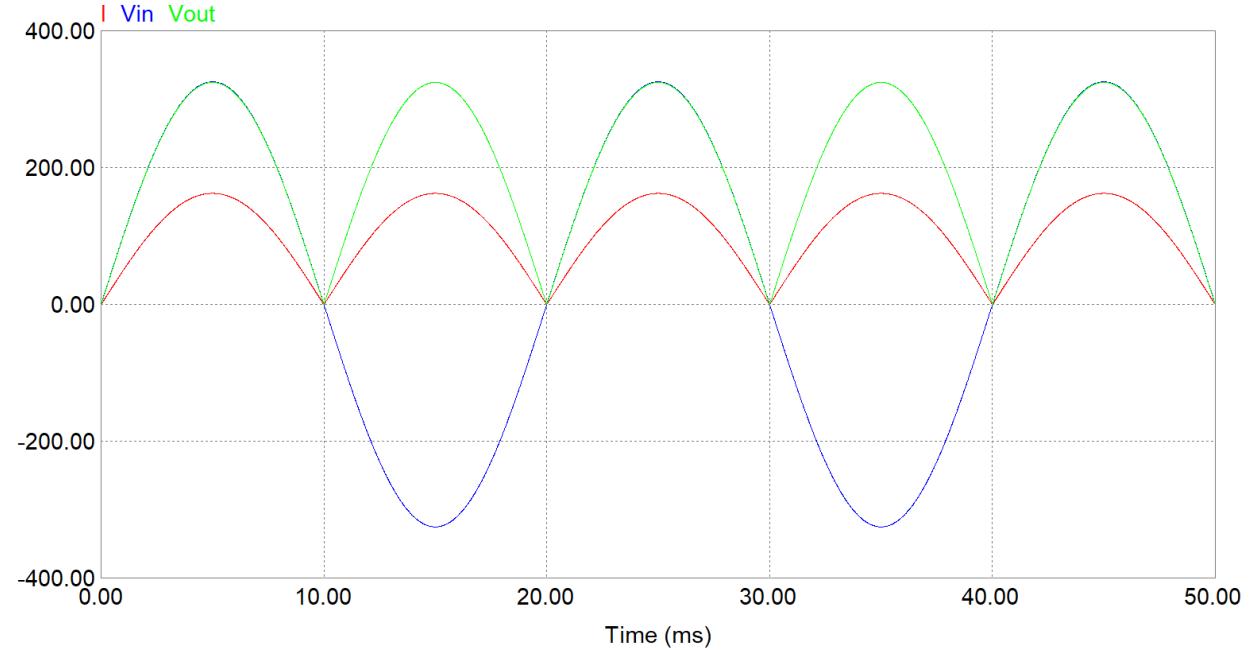
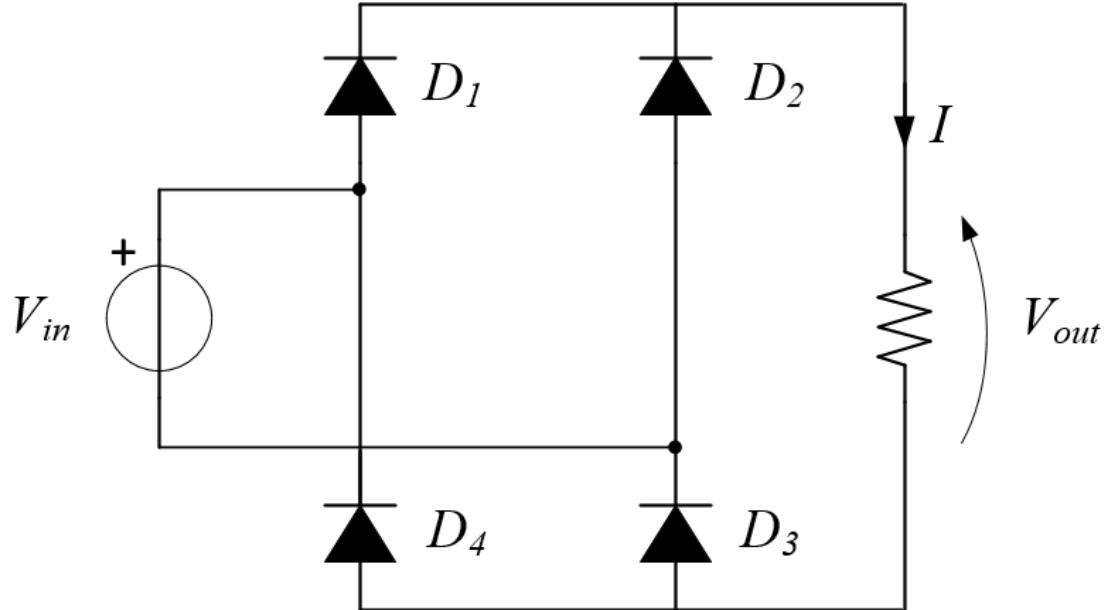


$$V_{out} = \frac{V_{in}}{2\pi} [1 - \cos(\pi + \sigma)]$$

RADDRIZZATORE A DIODI MONOFASE A SEMIONDA CON DIODO DI RICIRCOLO

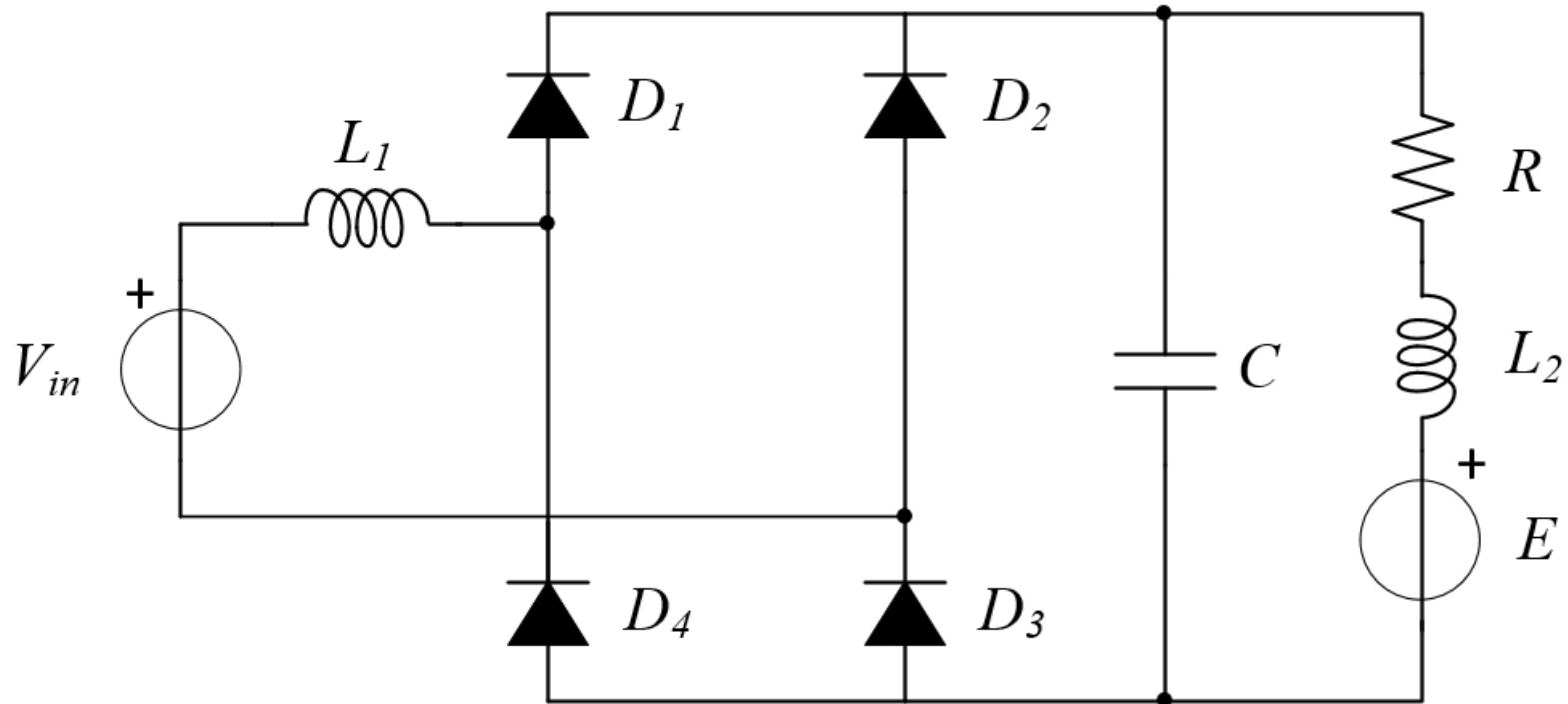


RADDRIZZATORE A DIODI MONOFASE A DOPPIA SEMIONDA



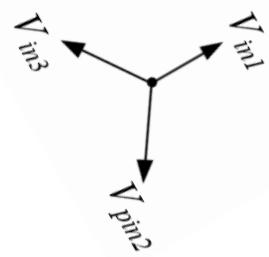
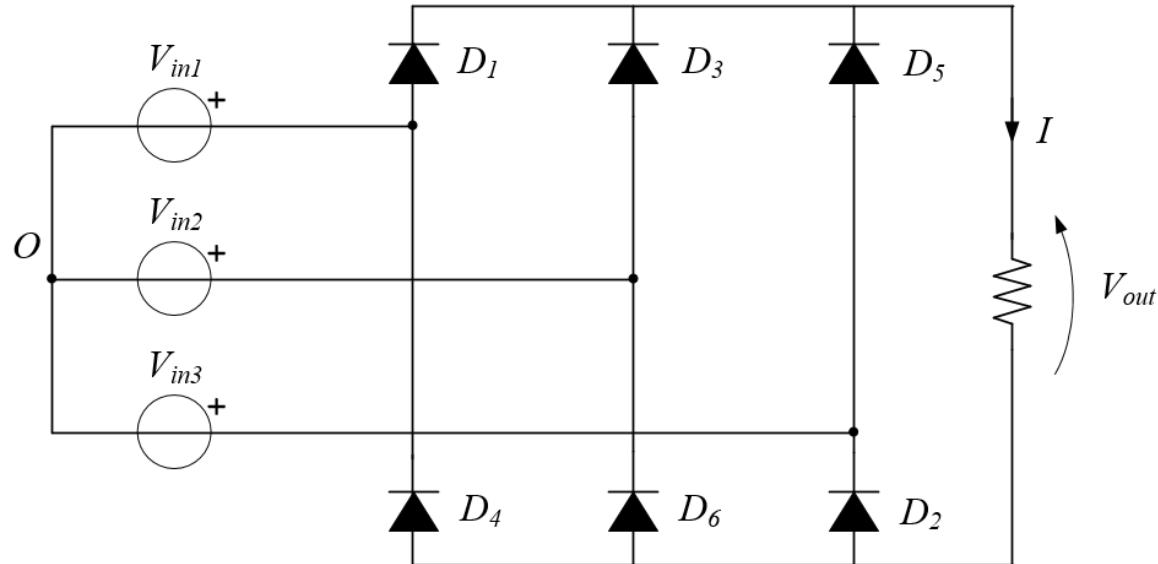
$$V_{out} = \frac{2V_{in}}{\pi} = 0,6366V_{in}$$

ALTRÉ CONFIGURAZIONI

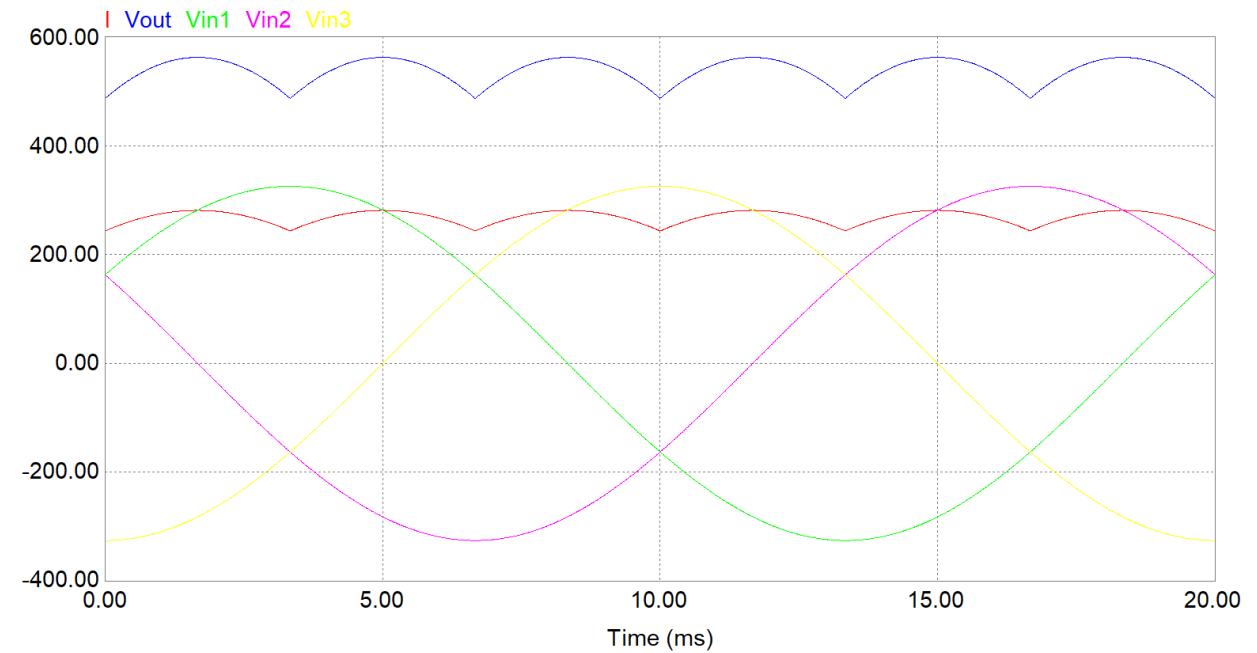


- V_{p1} – Alimentazione AC
- L_1 – Induttanza di commutazione
- C – Filtro capacitivo
- Carico RL_2
- E - Batteria

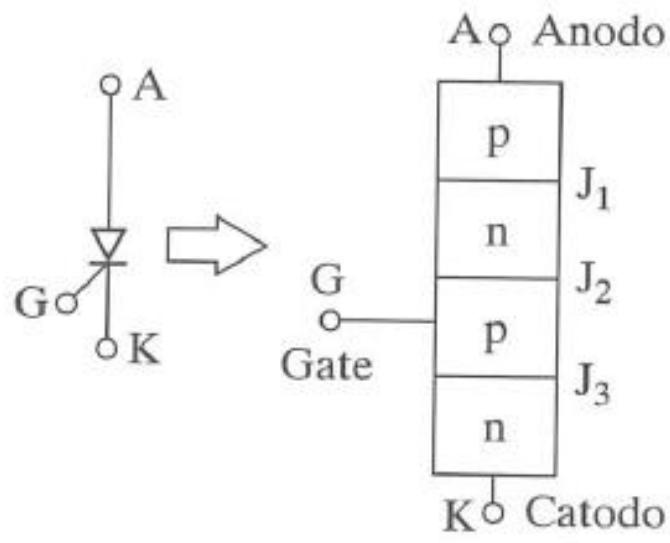
RADDDRIZZATORE A DIODI TRIFASE



$$V_{out} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} V_{in} = 1,654 V_{in}$$

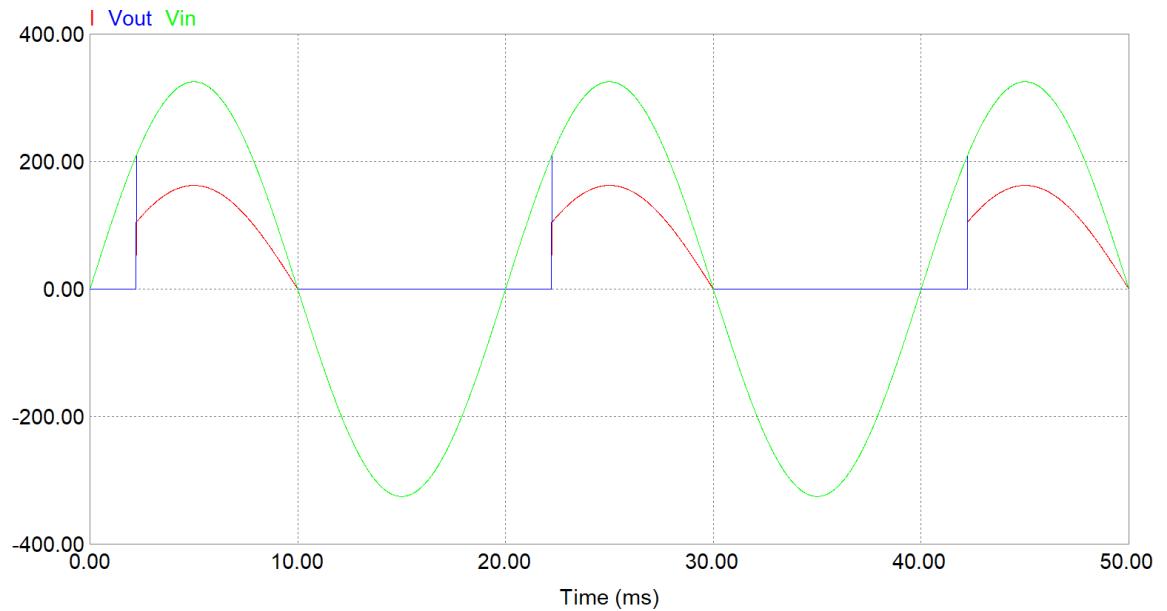
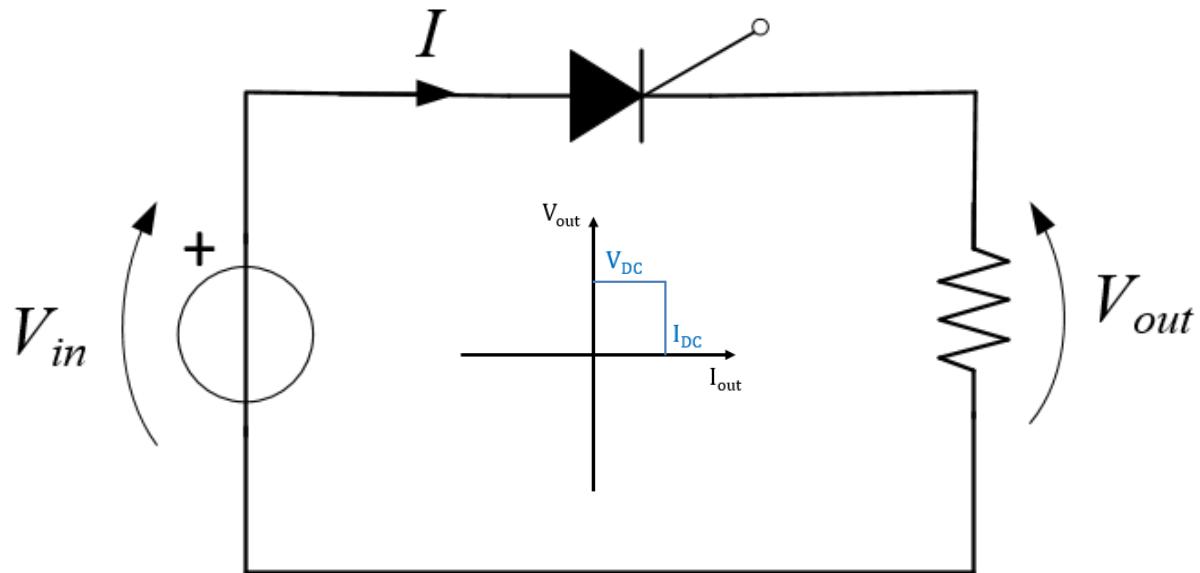


IL TIRISTORE



- Diodo controllato o SCR
- Due modalità di accensione: tensione di breakover o corrente di gate
- Diverse modalità di spegnimento: commutazione di linea o naturale

RADDRIZZATORE CONTROLLATO MONOFASE A SEMIONDA

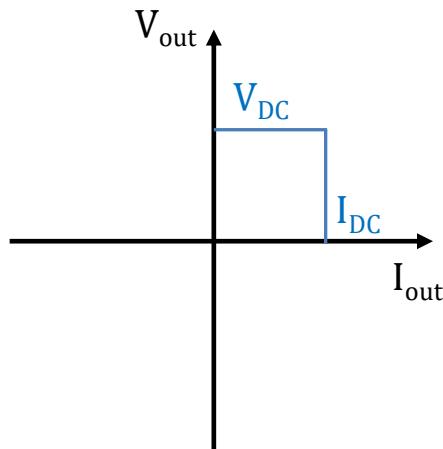


$$V_{out} = 0,159 V_{in} \times (1 + \cos \alpha)$$

RADDRIZZATORI CONTROLLATI

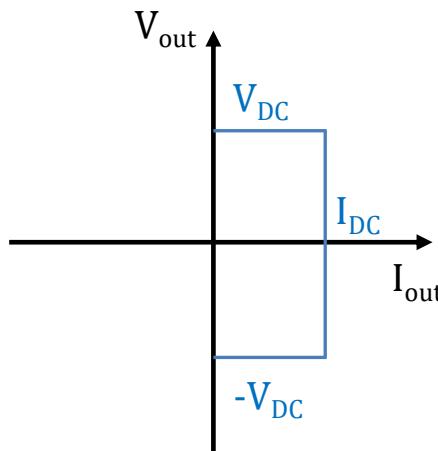
Convertitore a semi-ponte

$$V_{out} = 0,159V_{in} \times (1 + \cos \alpha)$$



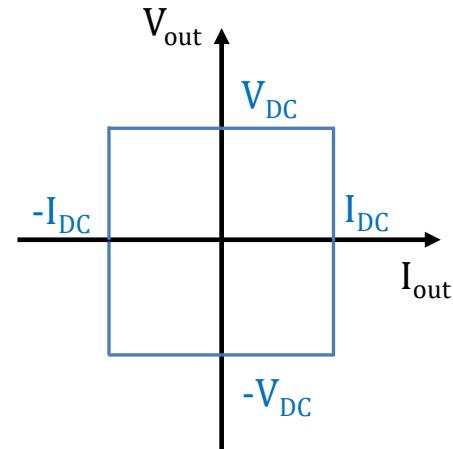
Convertitore a ponte intero

$$V_{out} = 0,637V_{in} \times \cos \alpha$$



Convertitore a
doppi ponte

$$V_{out} = 0,637V_{in} \times \cos \alpha$$



Convertitore trifase
a singola semionda

$$V_{out} = 0,827V_{in} \times \cos \alpha$$

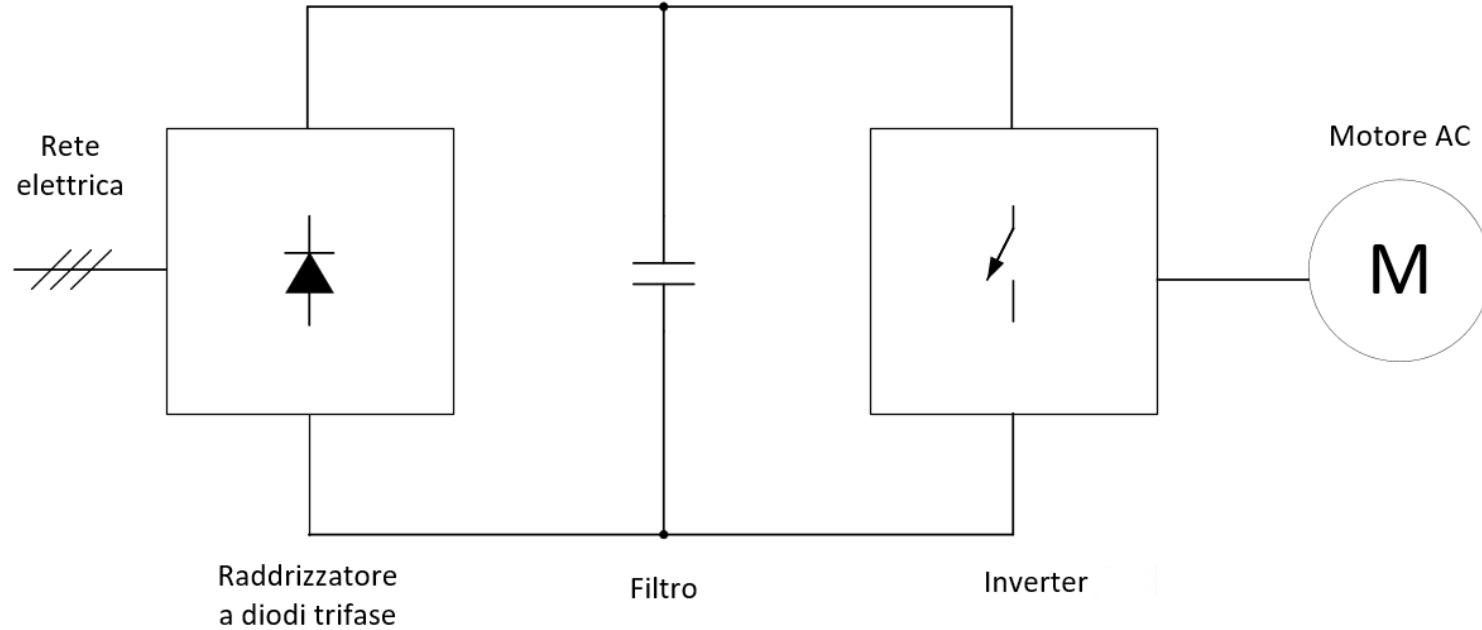
Convertitore trifase
a ponte intero

$$V_{out} = 1,654V_{in} \times \cos \alpha$$

INVERTER

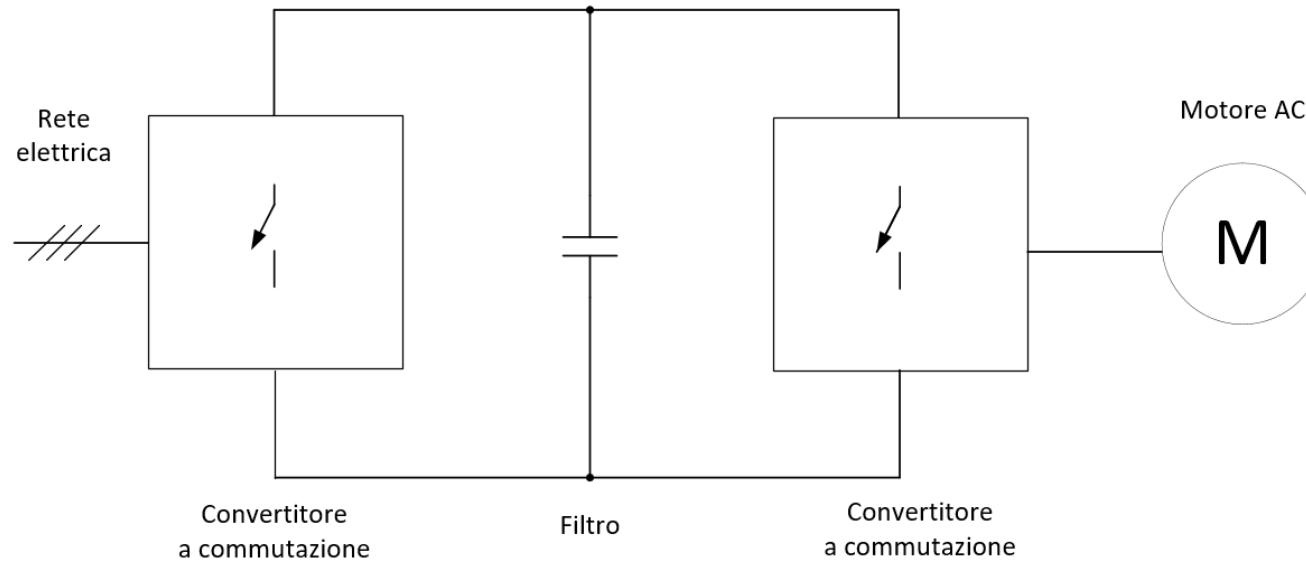
- Tensioni di ingresso continue da raddrizzatori, batterie, celle a combustibile, moduli fotovoltaici, ecc.
- Tensioni di uscita con ampiezza e frequenza fisse o variabili
- L'uscita di un inverter ideale è sinusoidale
- L'uso di dispositivi elettronici ad alta velocità e **completamente controllati** (BJT, MOSFET, IGBT, ecc.) permette di ridurre significativamente il contenuto armonico della tensione di uscita degli inverter reali

INVERTER



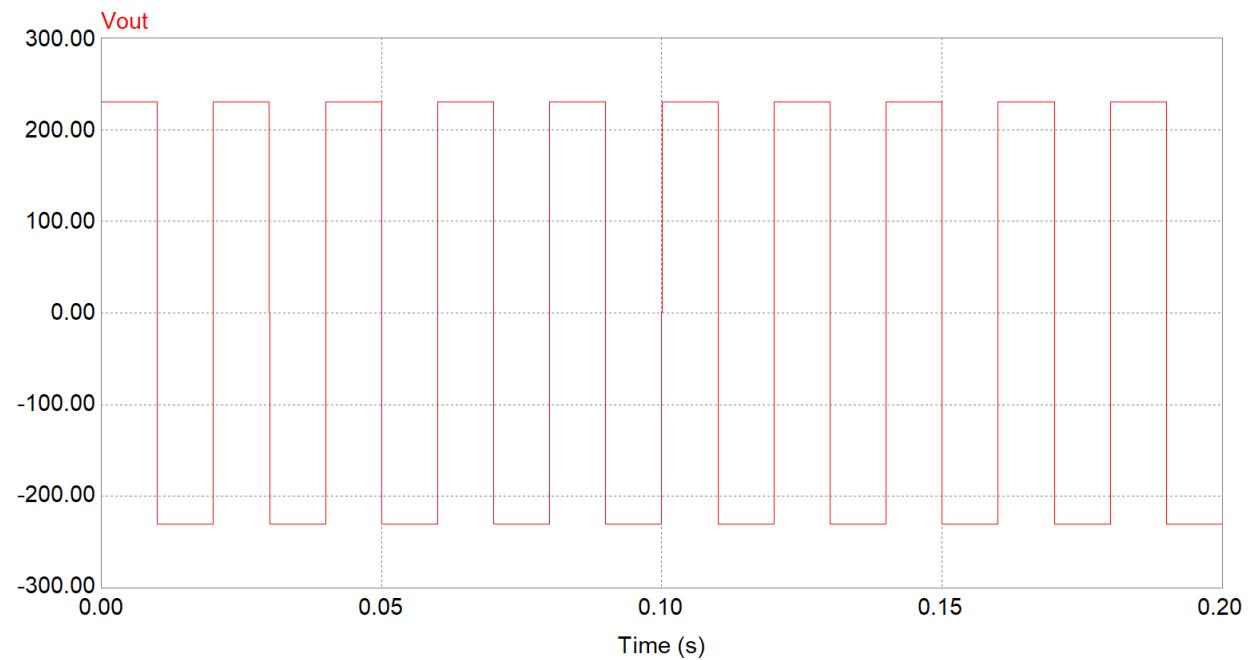
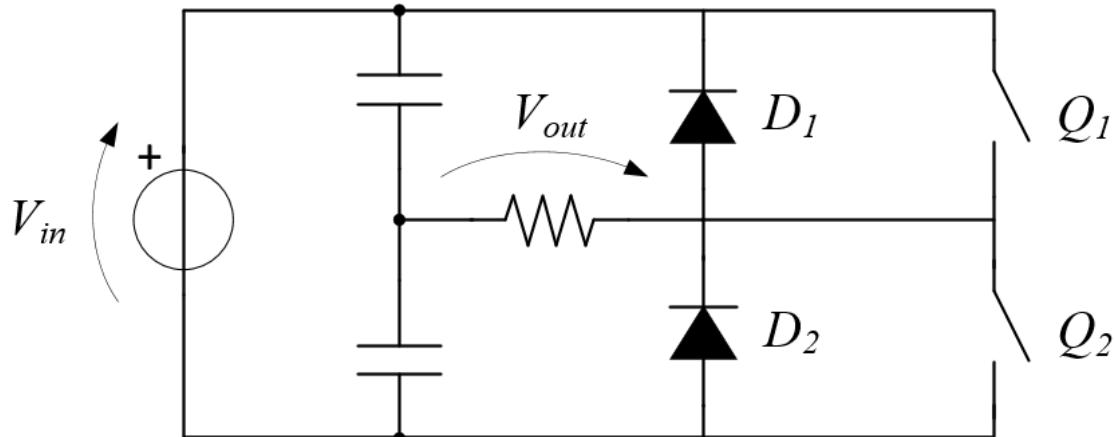
- Azionamento per motore in CA
- Tensione regolabile (ampiezza e frequenza)
- Flusso di potenza reversibile
- In frenatura il convertitore si comporta come un raddrizzatore

INVERTER



- Quando la frenatura avviene di frequente conviene recuperare l'energia restituendola alla linea di alimentazione
- In questi casi si usano due convertitori a commutazione (o due raddrizzatori controllati in antiparallelo)

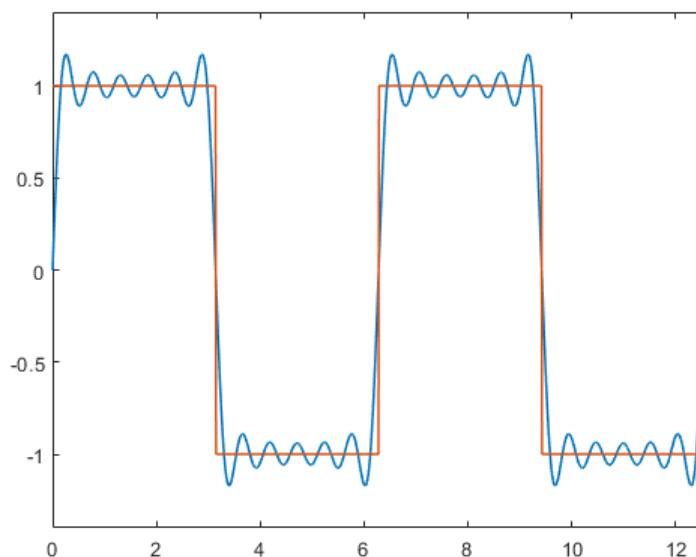
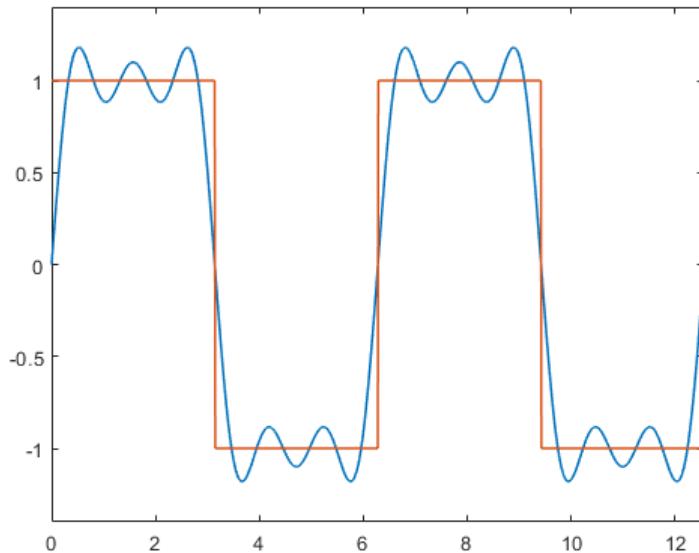
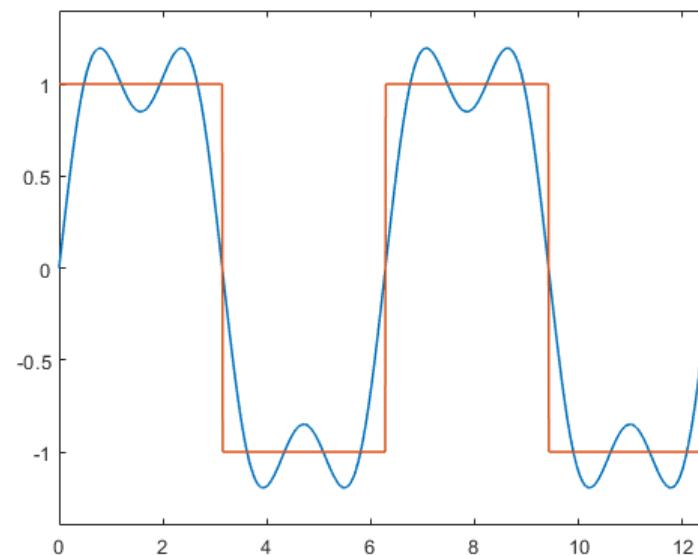
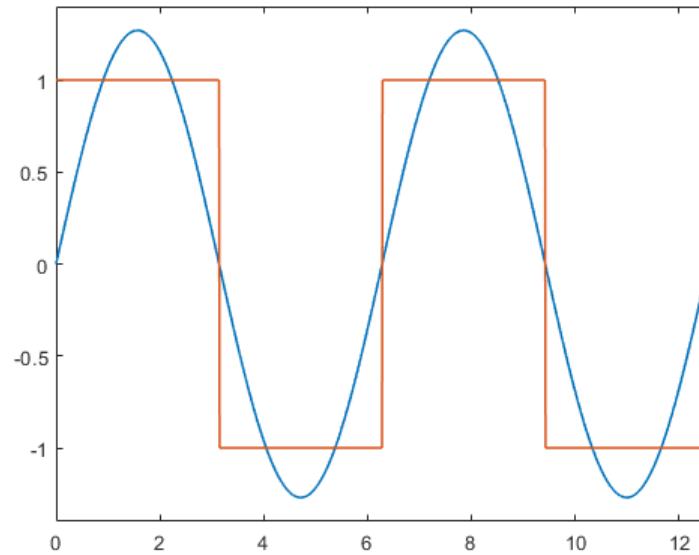
INVERTER A MEZZO PONTE ONDA QUADRA



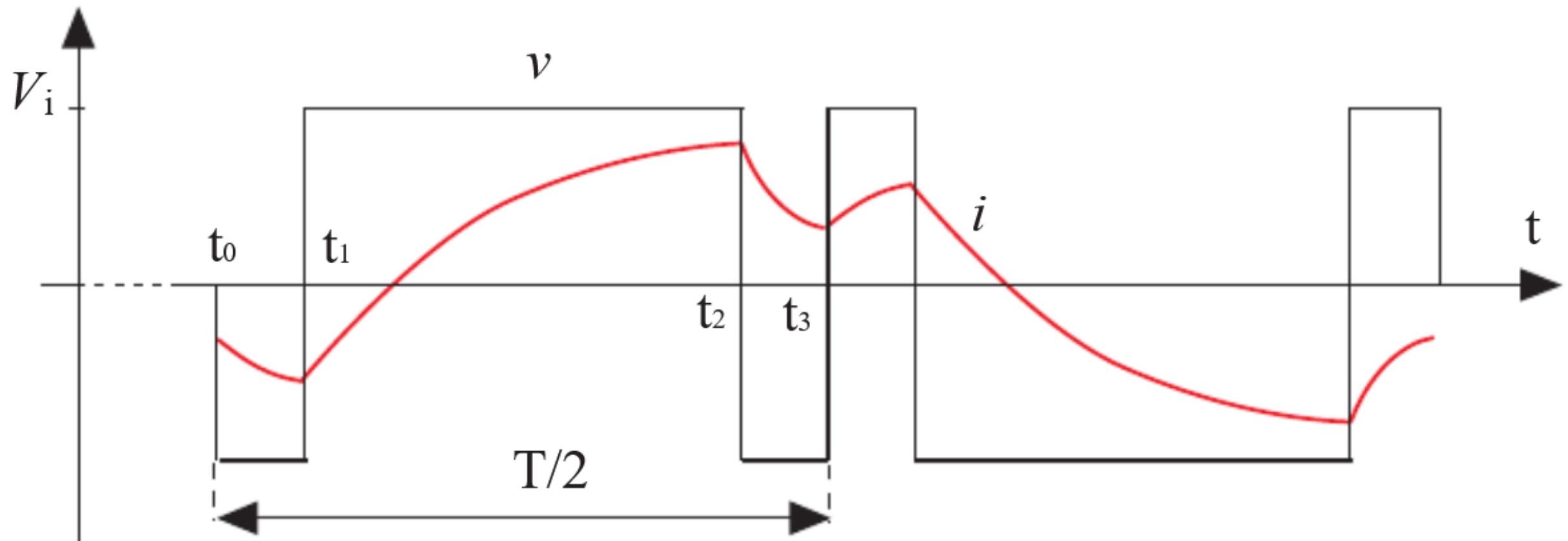
$$V_{out,eff} = \frac{V_{in}}{2}$$

$$V_{out}(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi} \sin n\omega t$$

ANALISI ARMONICA SERIE DI FOURIER

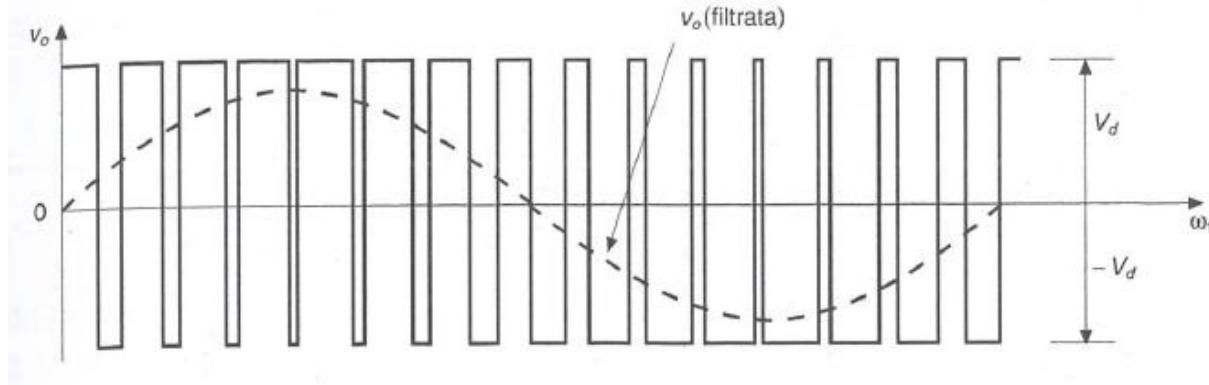


MODULAZIONE D'AMPIEZZA



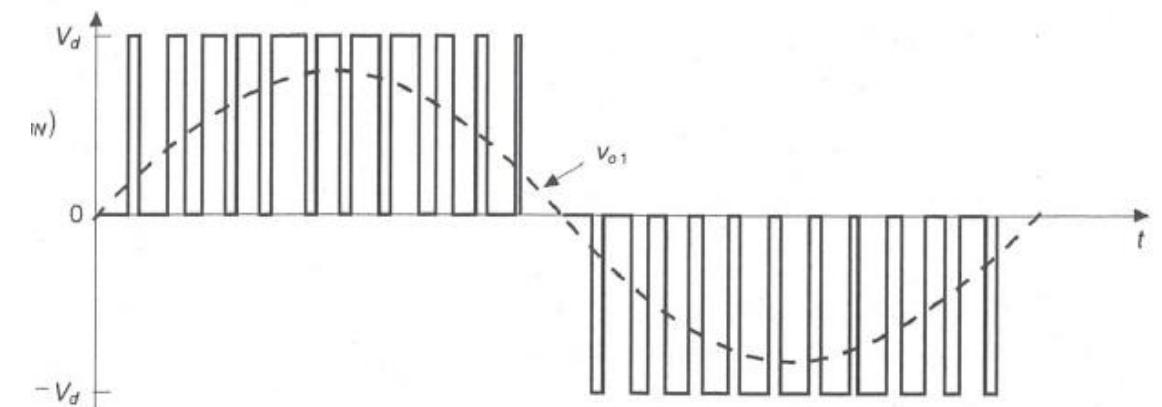
INVERTER A PONTE PWM

PWM con tensione bipolare

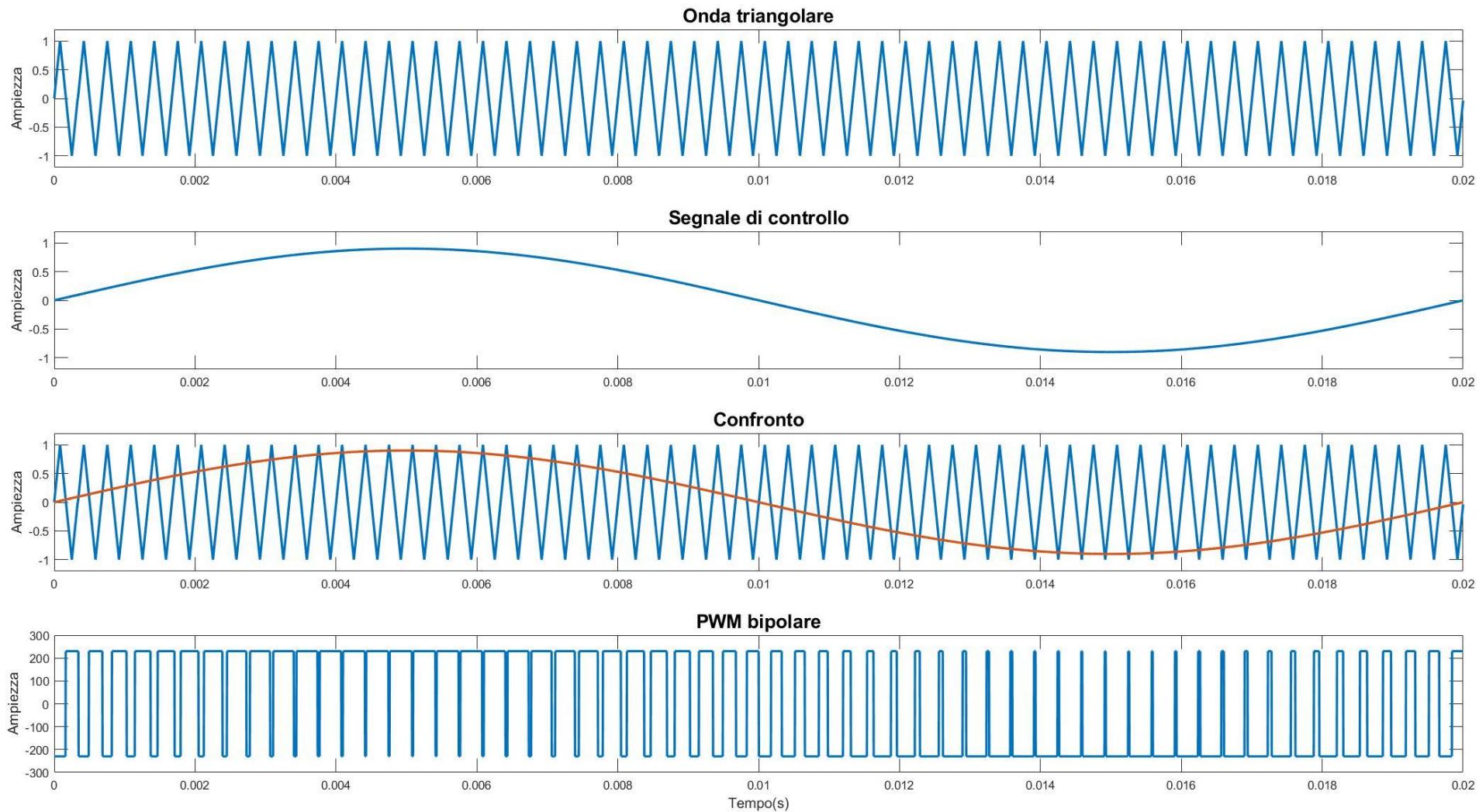


- Permette di regolare la frequenza e il modulo
- Genera correnti armoniche più contenute

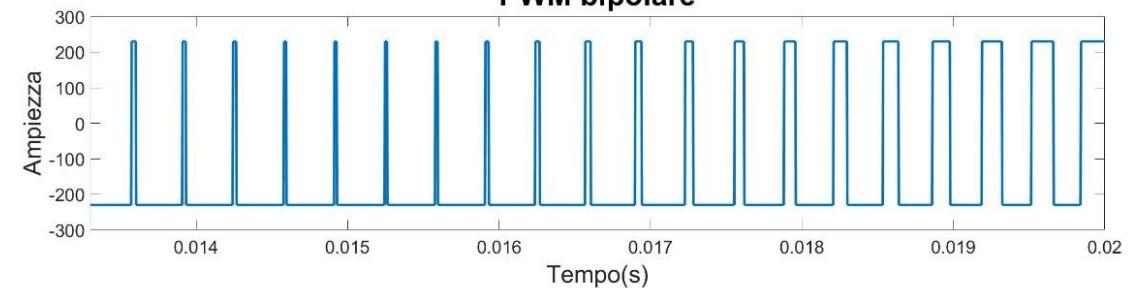
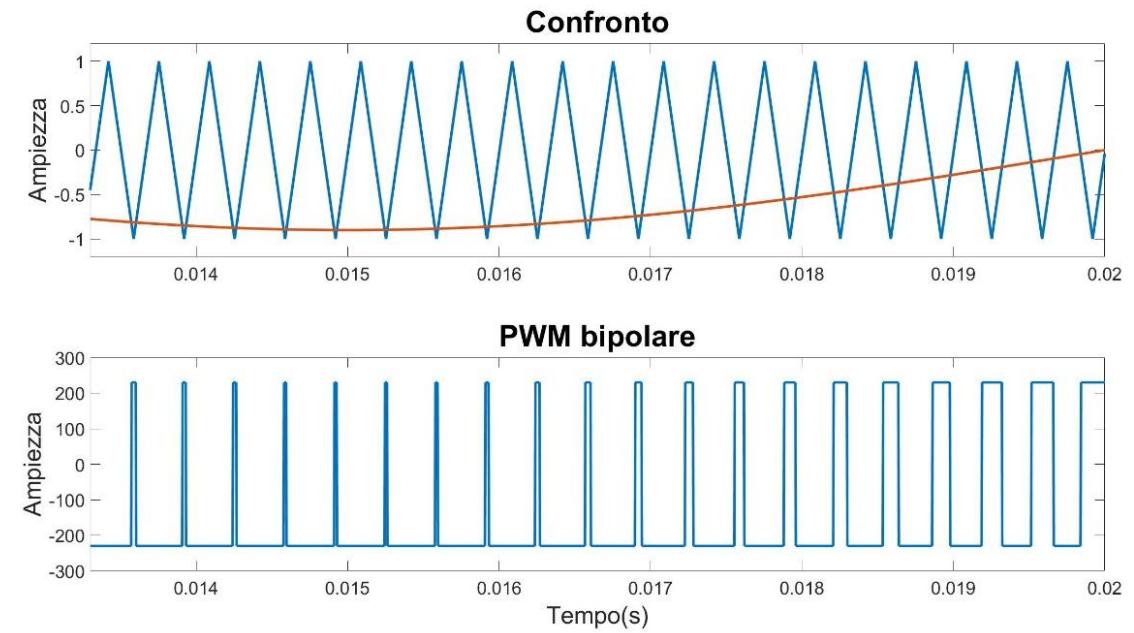
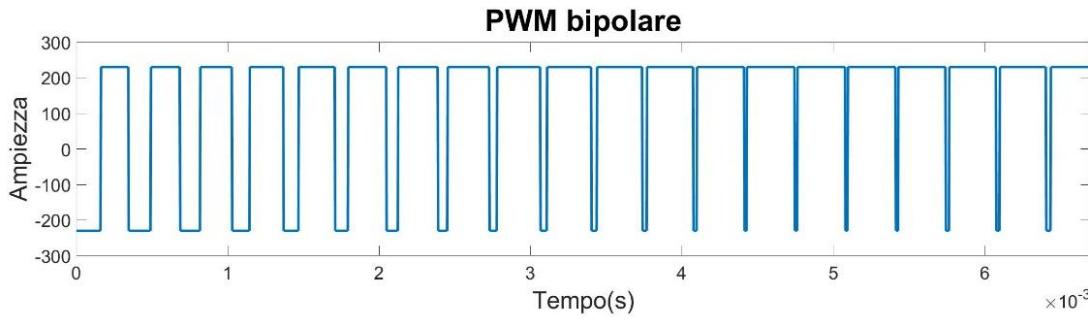
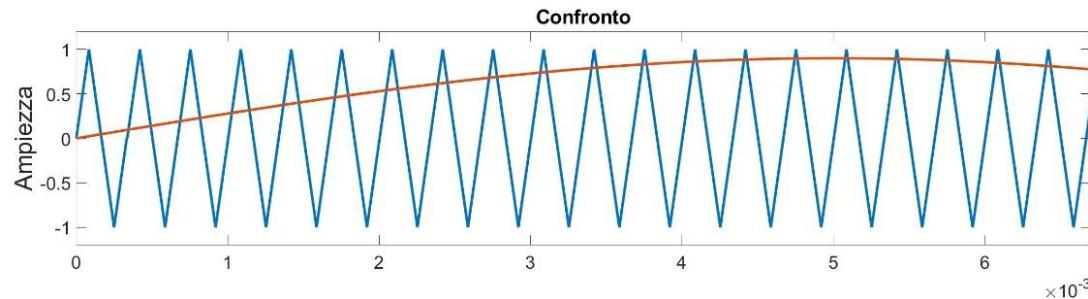
PWM con tensione unipolare



PWM BIPOLARE



PWM BIPOLARE



UPS

