

# Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

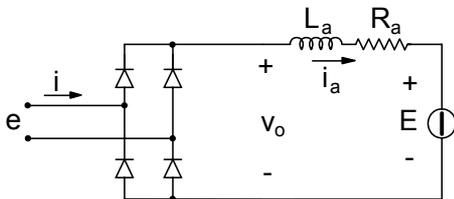
## CONVERTITORI CA/CC A TIRISTORI

### Convertitori alternata / continua

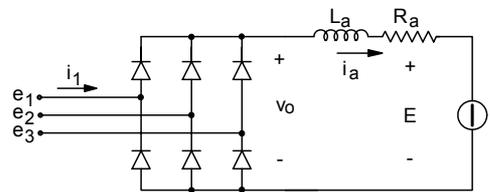
Per la conversione dalla corrente alternata monofase o trifase alla corrente continua si usano spesso schemi a ponte di Graetz

Si usano diodi di potenza per realizzare convertitori non controllati e tiristori per i convertitori controllati. Schemi ibridi sono attualmente poco comuni

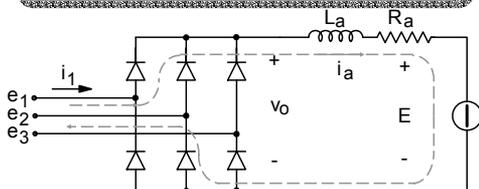
Ponte di Graetz monofase non controllato



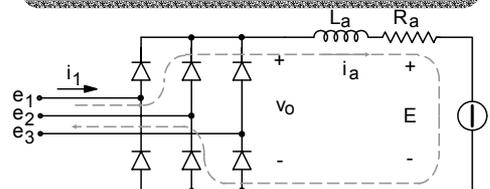
Ponte di Graetz trifase non controllato



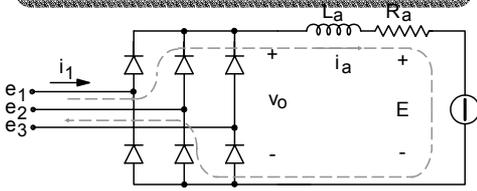
Nella parte superiore del ponte, conduce il diodo connesso alla fase la cui tensione istantanea è massima e, nella parte inferiore, il diodo connesso alla fase la cui tensione istantanea è minima



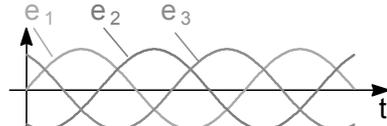
Vi sono sempre solo due diodi in conduzione contemporanea, uno nella parte superiore ed uno nella parte inferiore del ponte



Il passaggio della conduzione da un diodo all'altro (commutazione) avviene naturalmente all'incrocio tra le forme d'onda delle tensioni di due fasi successive

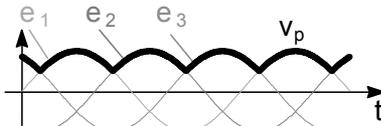


### Ponte di Graetz trifase non controllato



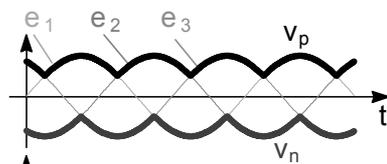
Nel circuito in continua, l'uscita positiva segue la tensione della fase con valore istantaneo massimo

### Ponte di Graetz trifase non controllato



Nel circuito in continua, l'uscita positiva segue la tensione della fase con valore istantaneo massimo

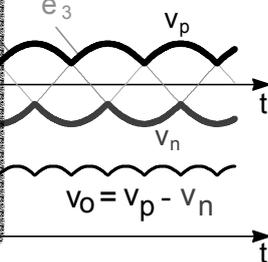
### Ponte di Graetz trifase non controllato



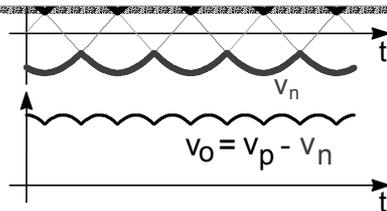
Similmente, l'uscita negativa segue la tensione della fase con valore istantaneo minimo

### Ponte di Graetz trifase non controllato

La tensione continua si ottiene dalla differenza fra le tensioni dell'uscita positiva e di quella negativa



La tensione continua presenta una ondulazione, a frequenza sei volte quella di rete, sovrapposta al suo valore medio

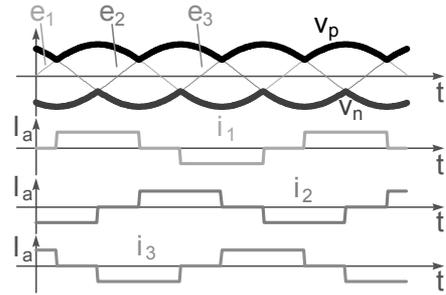


### Ponte di Graetz trifase non controllato

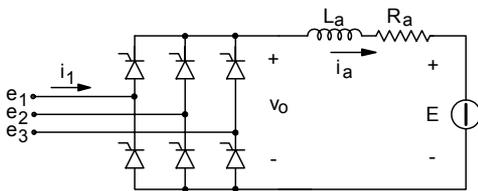
In un ponte di Graetz trifase, ogni fase conduce per 120 gradi sia in senso positivo che negativo. Invece per un ponte monofase le fasi conducono in ciascun senso per 180 gradi

Con elevato valore dell'induttanza di carico l'oscillazione della corrente di uscita è ridotta e nelle fasi si hanno correnti con forma d'onda prossima a quella rettangolare, in fase con le rispettive tensioni

### Ponte di Graetz trifase non controllato

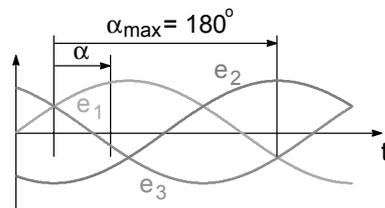


### Ponte di Graetz trifase controllato



Sostituendo, sia nei ponti monofase che in quelli trifase, tutti i diodi con tiristori si ottengono ponti totalmente controllati

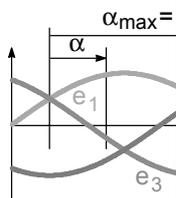
### Ponte di Graetz trifase controllato



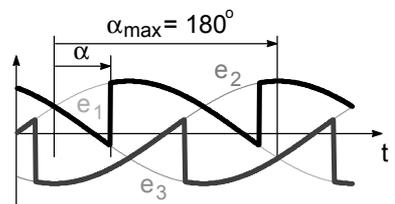
I tiristori consentono di ritardare l'istante di commutazione, cioè di passaggio della conduzione da una fase alla successiva

### Ponte di Graetz trifase controllato

La commutazione si ottiene dando un comando di accensione ad ogni tiristore, sia nel semiponte positivo che in quello negativo, ritardato di un angolo  $\alpha$  rispetto all'istante di commutazione naturale



### Ponte di Graetz trifase controllato



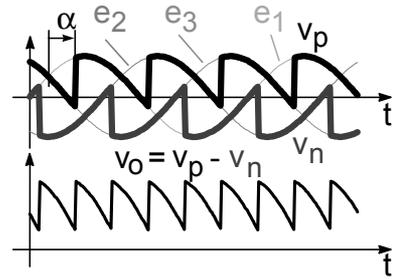
### Ponte di Graetz trifase controllato

L'accensione del tiristore comandato provoca la polarizzazione inversa e quindi lo spegnimento (naturale) del tiristore che era in conduzione nello stesso semiponte

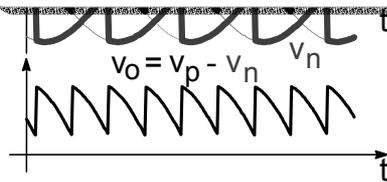
Nel ponte trifase le commutazioni successive, che si alternano tra il semiponte positivo e quello negativo, sono sfasate di 60 gradi

Il ritardo di commutazione provoca fronti ripidi nella forma d'onda della tensione prodotta sul carico in c.c.

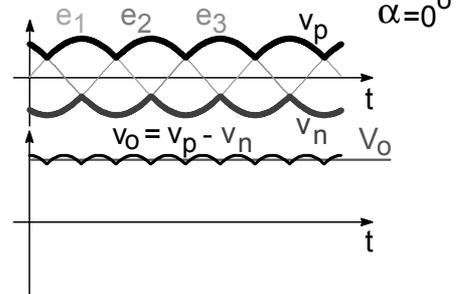
### Ponte di Graetz trifase controllato



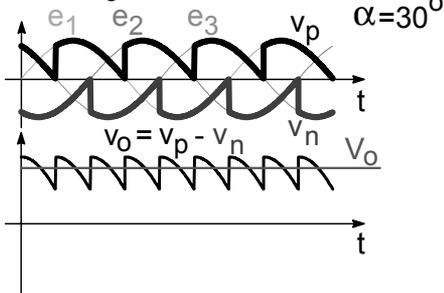
Il valore medio della tensione di uscita diminuisce all'aumentare dell'angolo  $\alpha$ . Tale valore medio diventa negativo per valori di  $\alpha$  maggiori di 90 gradi (funzionamento da invertitore)



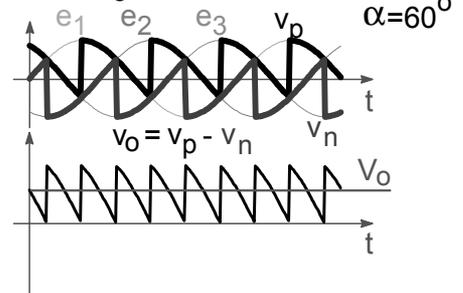
### Regolazione della tensione $\alpha=0^\circ$

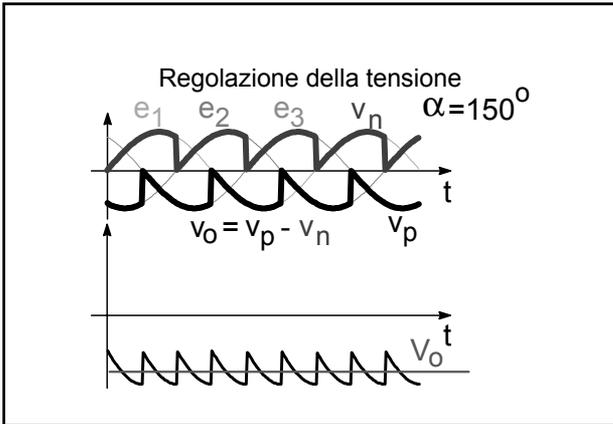
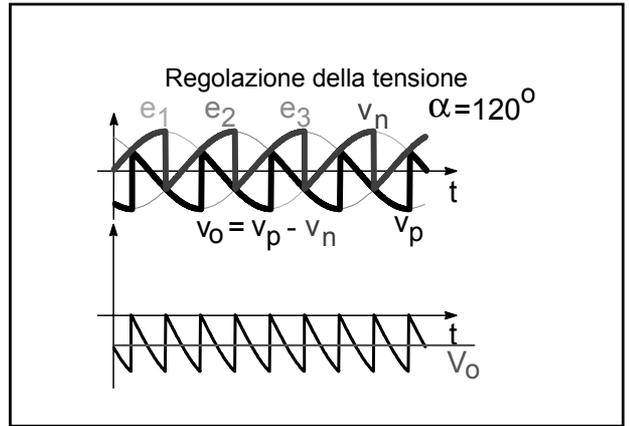
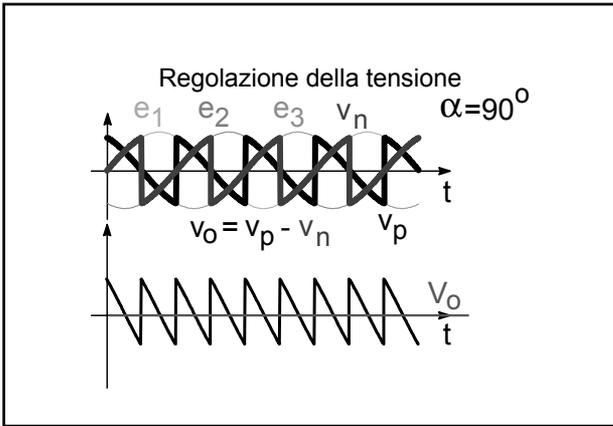


### Regolazione della tensione $\alpha=30^\circ$



### Regolazione della tensione $\alpha=60^\circ$

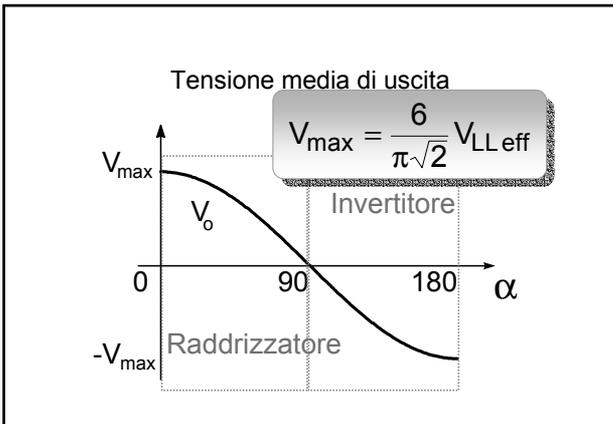




Tensione media di uscita

Si dimostra facilmente che la tensione media di uscita è proporzionale a  $\cos(\alpha)$ :

$$V_o = \frac{6}{\pi\sqrt{2}} V_{LL\text{eff}} \cos(\alpha)$$

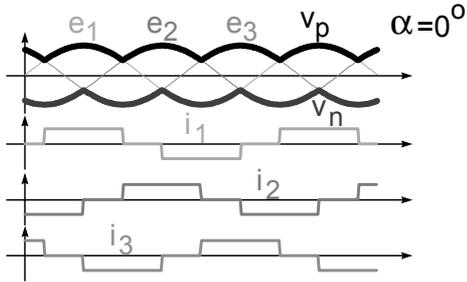
$$V_o \cong 1.35 V_{LL\text{eff}} \cos(\alpha)$$


Correnti nei ponti trifase controllati

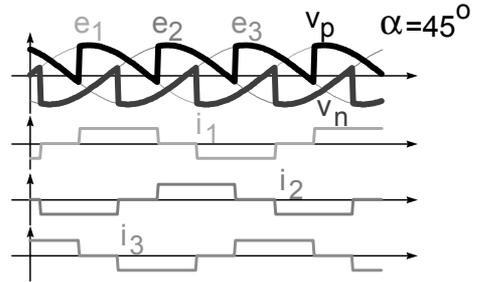
In un ponte controllato, con ritardo di accensione  $\alpha$  la conduzione delle varie fasi dura ancora 120 gradi nei sistemi trifase, ma questa risulta sfasata dello stesso angolo  $\alpha$  rispetto alla tensione di fase corrispondente

Con alti valori della componente induttiva del carico in corrente continua, nelle fasi si ha un andamento prossimo a quello rettangolare

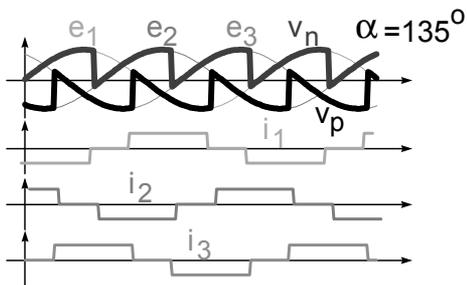
### Sfasamento delle correnti



### Sfasamento delle correnti



### Funzionamento da invertitore

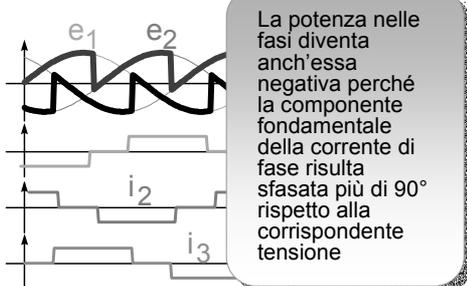


### Funzionamento da invertitore



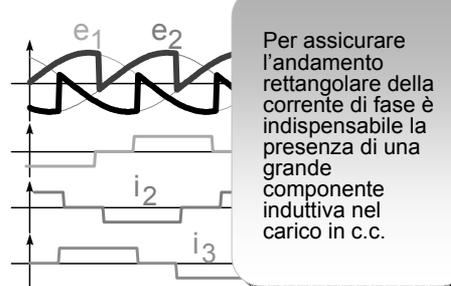
Per  $\alpha > 90^\circ$  la tensione di uscita si inverte mentre la corrente rimane positiva. Si inverte così il verso della potenza in c.c. e si richiede, nel circuito in continua, la presenza di un generatore che eroghi tale potenza verso il lato c.a.

### Funzionamento da invertitore



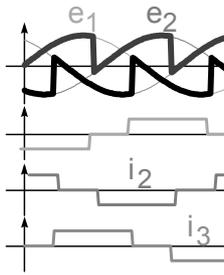
La potenza nelle fasi diventa anch'essa negativa perché la componente fondamentale della corrente di fase risulta sfasata più di  $90^\circ$  rispetto alla corrispondente tensione

### Funzionamento da invertitore



Per assicurare l'andamento rettangolare della corrente di fase è indispensabile la presenza di una grande componente induttiva nel carico in c.c.

### Funzionamento da invertitore

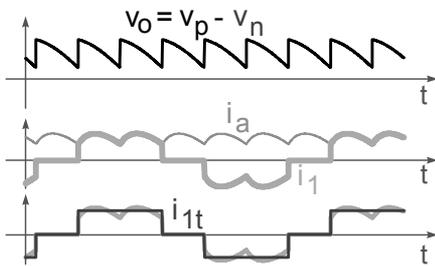


In pratica, per dare un buon margine per le commutazioni dei tiristori è necessario limitare il massimo ritardo  $\alpha \leq 150^\circ$

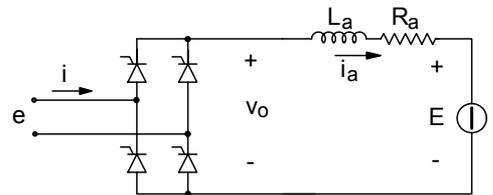
### Ondulazione di corrente

Con valori limitati della componente induttiva dell'impedenza del carico in c.c. (corrente continua), la corrente nelle fasi in c.a. (corrente alternata) si allontana dall'andamento rettangolare e si ha una sensibile ondulazione nel carico in c.c.

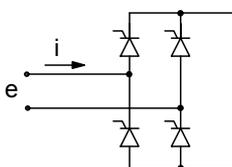
### Ondulazione di corrente



### Ponte di Graetz monofase controllato

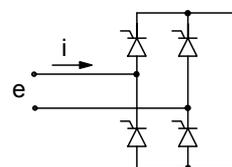


### Ponte di Graetz monofase controllato



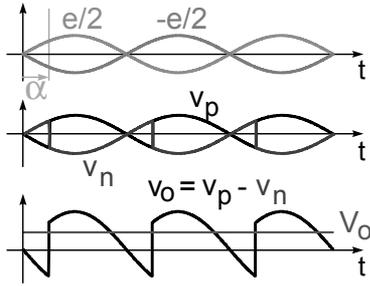
Il funzionamento del ponte monofase controllato è analogo a quello del ponte trifase. Soltanto, le commutazioni sono a 180 gradi e contemporanee nei due semiponti positivo e negativo

### Ponte di Graetz monofase controllato



L'accensione dei tiristori comandati provoca la polarizzazione inversa e quindi lo spegnimento (naturale) degli altri due tiristori che erano in conduzione

### Ponte di Graetz monofase controllato

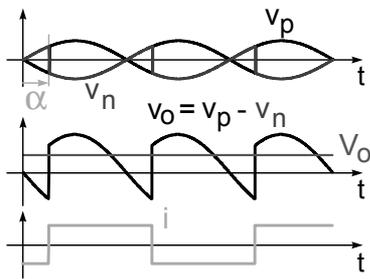


Nel ponte monofase controllato la tensione media di uscita è anch'essa proporzionale a  $\cos(\alpha)$ :

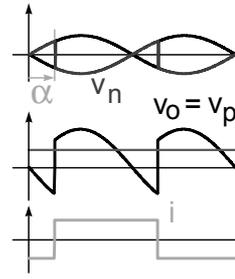
$$V_o = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{\text{eff}} \cos(\alpha)$$

$$V_o \cong 0.9 V_{\text{eff}} \cos(\alpha)$$

### Correnti nei ponti monofase controllati

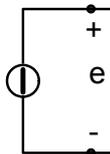


### Correnti nei ponti monofase controllati



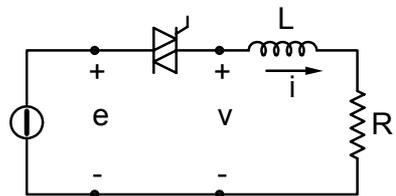
In un ponte monofase controllato, la corrente di fase è ritardata di un angolo  $\alpha$  analogamente a quanto si verifica nei ponti trifase

### Convertitori CA/CA a triac

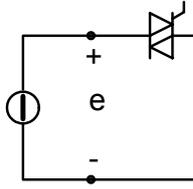


La regolazione della tensione alternata applicata ad un carico si può fare ponendo in serie al circuito di alimentazione un TRIAC

### Convertitori CA/CA a triac

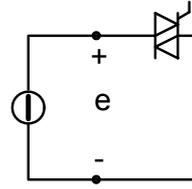


### Convertitori CA/CA a triac



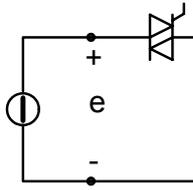
Come è noto, il triac è un componente che si comporta come una coppia di SCR connessi in parallelo in verso opposto, con un unico elettrodo di comando

### Convertitori CA/CA a triac



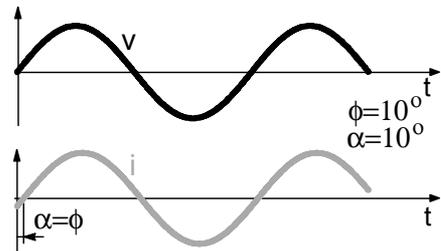
Come tutti gli SCR, il triac viene acceso dal comando e si spegne quando cessa la corrente che lo attraversa

### Convertitori CA/CA a triac

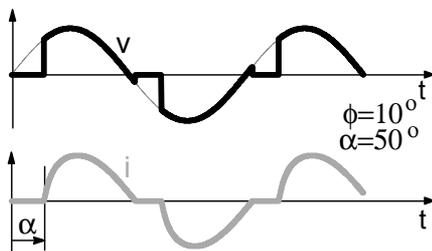


La regolazione è ottenuta ritardando l'accensione di un angolo  $\alpha$  rispetto all'inizio del semiperiodo. Si ottiene una semionda tagliata la cui componente fondamentale è inferiore a quella dell'onda piena

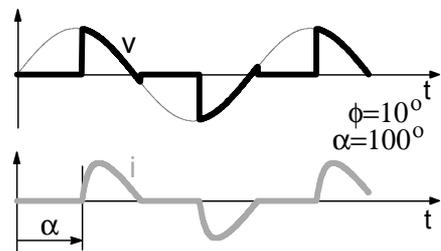
### Convertitori CA/CA a triac



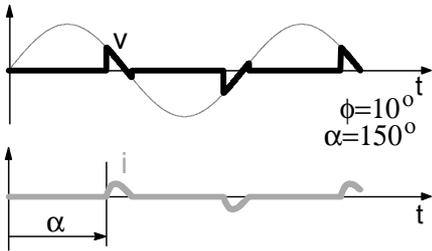
### Convertitori CA/CA a triac



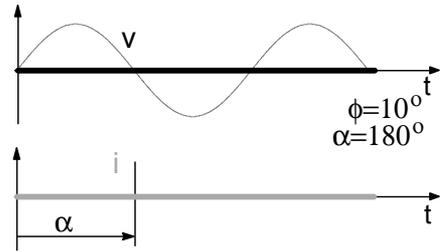
### Convertitori CA/CA a triac



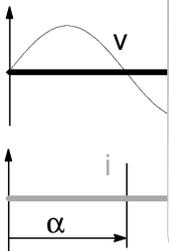
### Convertitori CA/CA a triac



### Convertitori CA/CA a triac



### Convertitori CA/CA a triac



La regolazione deforma la tensione e la corrente sul carico introducendo uno sfasamento ed una grande quantità di armoniche. Queste ultime possono essere parzialmente filtrate dal carico se esso è induttivo

### Convertitori CA/CA a triac

Componente di prima armonica  $I_1$  di corrente su carico resistivo-induttivo, in funzione dell'angolo  $\alpha$

