

Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

*“Convertitori abbassatori con
isolamento ad alta frequenza”*

Argomenti trattati

Argomenti trattati

Schemi di convertitori cc/cc abbassatori di tensione con isolamento ad alta frequenza

- Convertitore Forward
- Convertitore Forward multi-uscita
- Convertitore Push-pull
- Convertitore Dual Forward

Convertitore Buck con isolamento Condizioni per l’inserimento di un trasformatore:

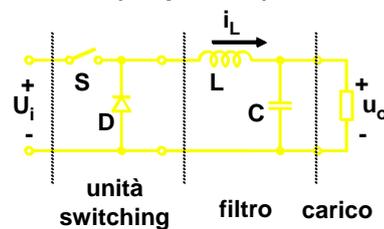
- dev’essere attraversato dall’intera potenza
- dev’essere alimentato da una tensione alternata

Convertitore Buck con isolamento Condizioni per l’inserimento di un trasformatore:

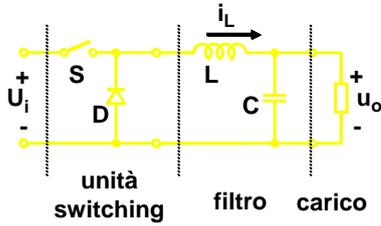
- dev’essere attraversato dall’intera potenza
- dev’essere alimentato da una tensione alternata

NOTA: il convertitore buck non soddisfa queste condizioni

Schema del convertitore Buck (Step-down)



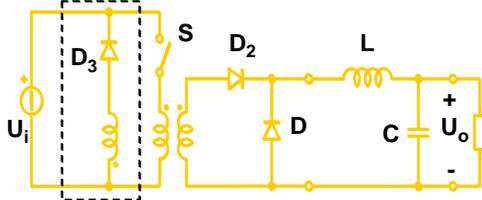
Schema del convertitore Buck (Step-down)



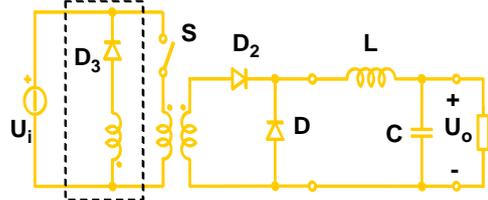
In nessuna sezione la tensione è puramente alternata

**Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD**

**Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD**

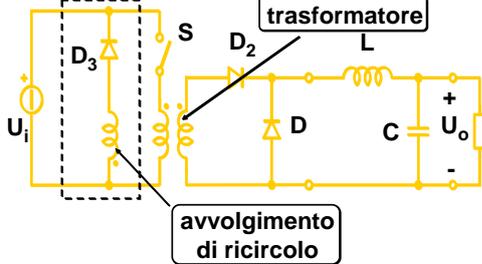


**Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD**

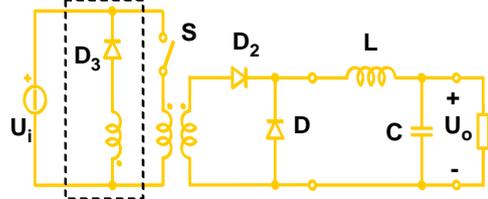


Lo stadio d'uscita è quello di un buck
In ingresso c'è l'interruttore in serie
all'alimentazione

**Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD**

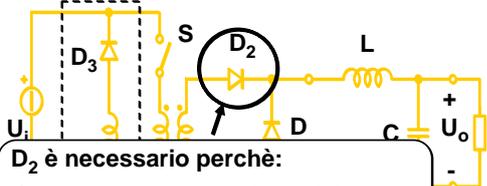


**Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD**



L'avvolgimento di ricircolo serve ad
evitare la saturazione del trasformatore

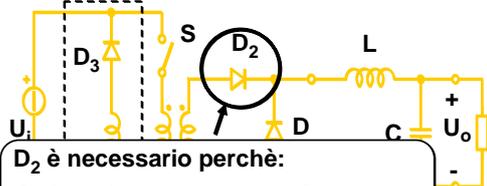
Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD



D₂ è necessario perchè:

- 1) la tensione secondaria del trasformatore è alternata e bisogna raddrizzarla (c.a. → c.c.)

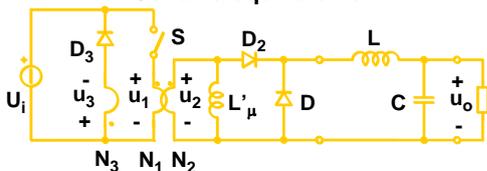
Convertitore buck a trasformatore
Convertitore FORWARD



D₂ è necessario perchè:

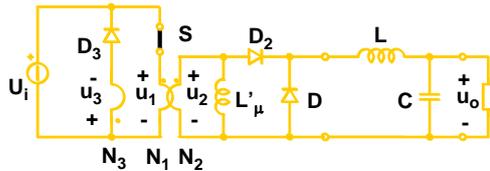
- 2) il trasformatore in c.c. è un corto circuito e ciò non è compatibile con la presenza di U_o

Convertitore FORWARD
Schema equivalente



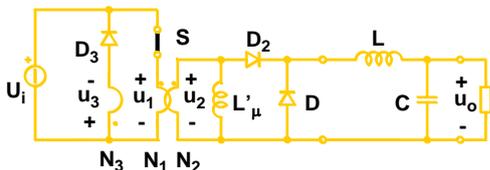
Per semplicità si considerano gli avvolgimenti perfettamente accoppiati ($L_d = 0$). Questa ipotesi assai semplificativa non è verificata in pratica.

Intervallo t_{on}:



$$S \text{ on} \Rightarrow u_1 = U_i$$

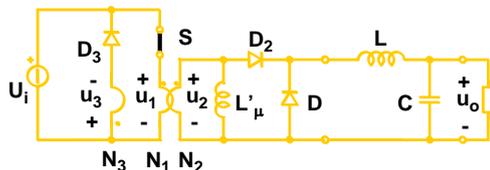
Intervallo t_{on}:



$$S \text{ on} \Rightarrow u_1 = U_i$$

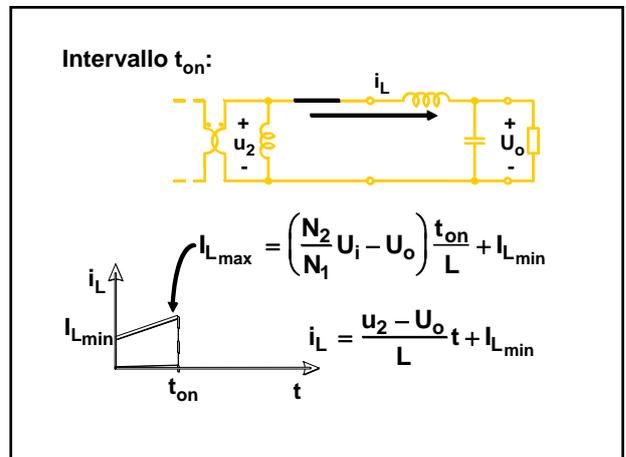
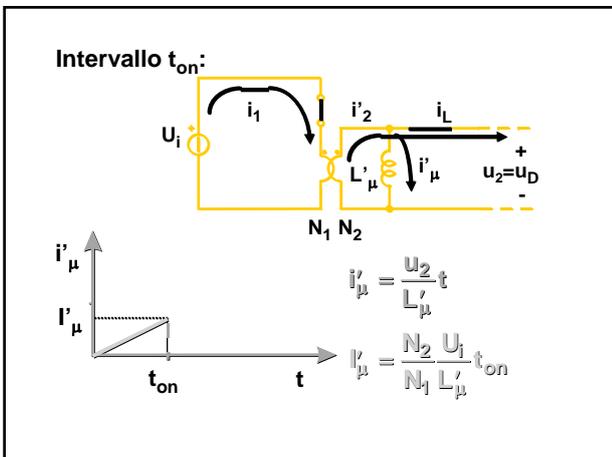
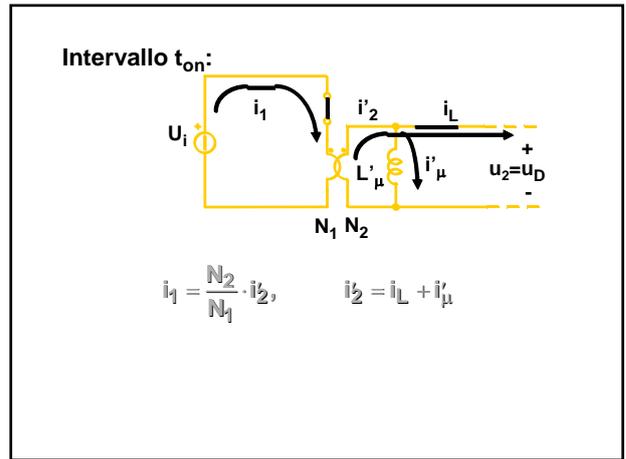
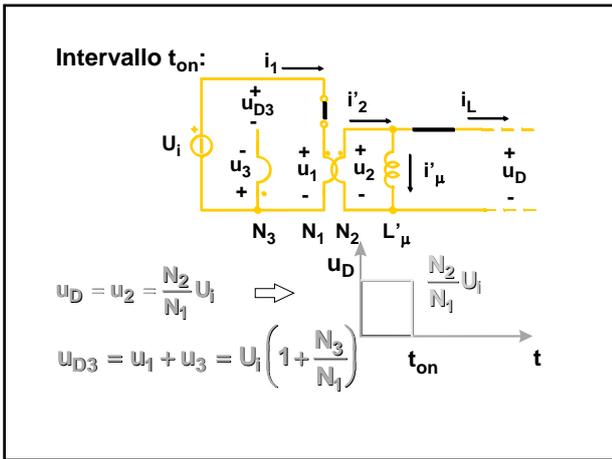
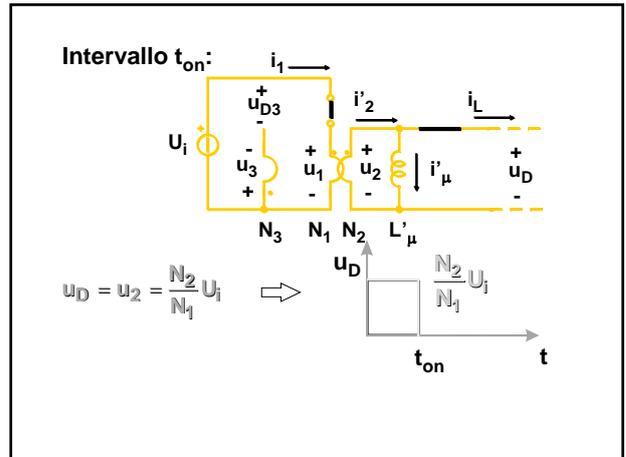
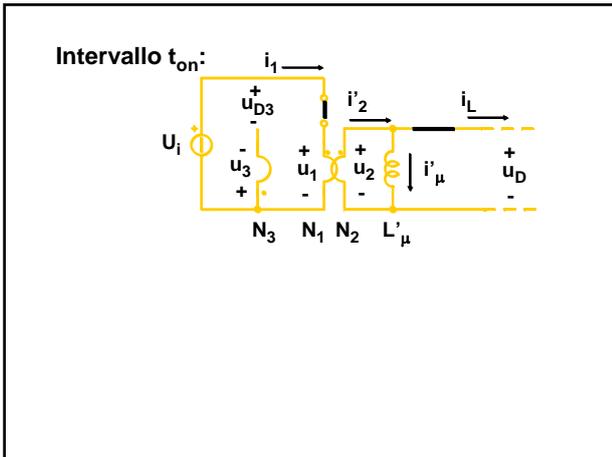
$$u_2 = \frac{N_2}{N_1} U_i \Rightarrow D_2 \text{ on} - D \text{ off}$$

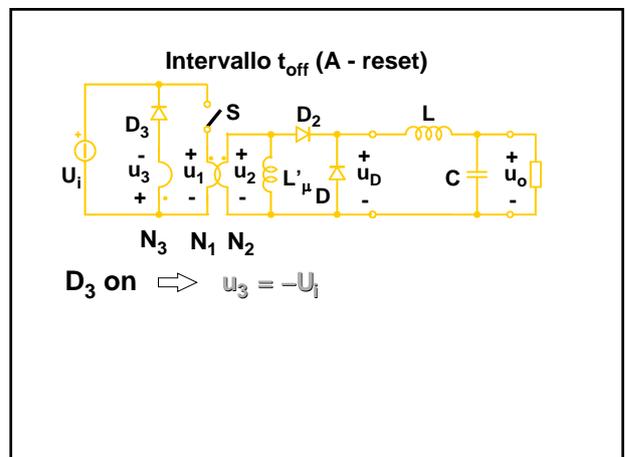
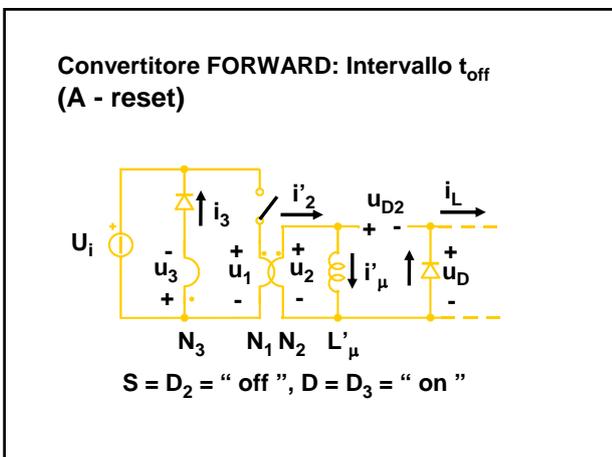
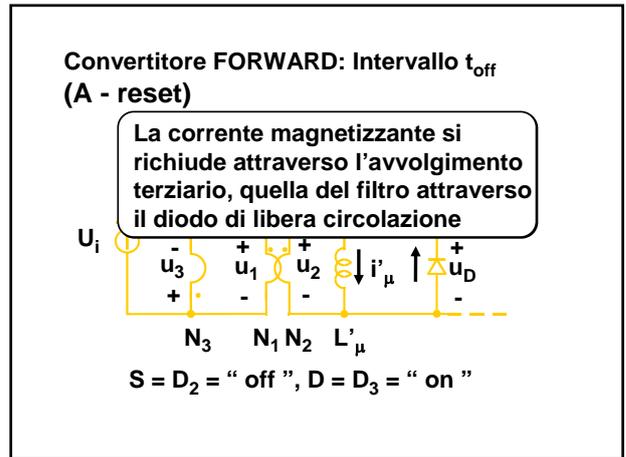
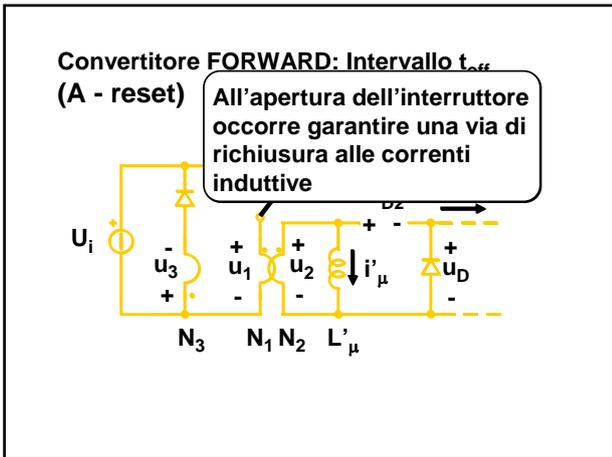
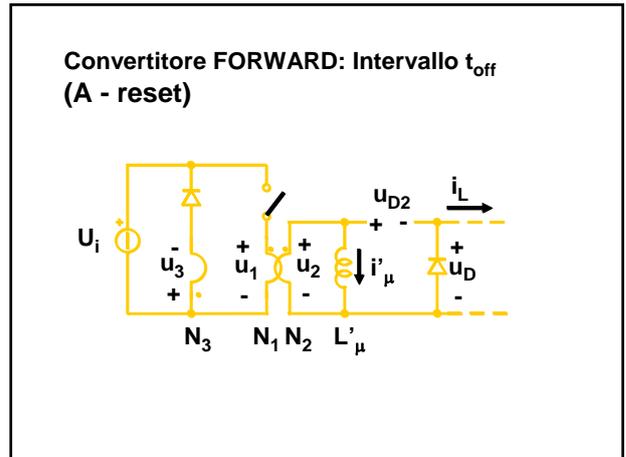
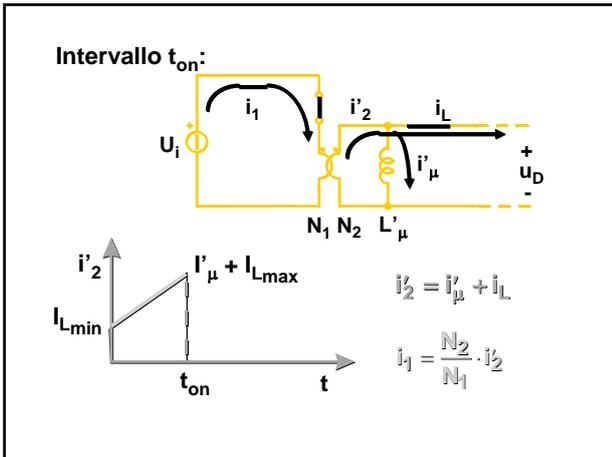
Intervallo t_{on}:

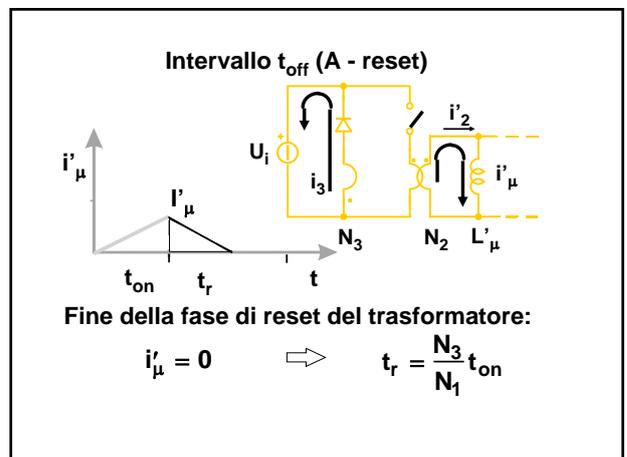
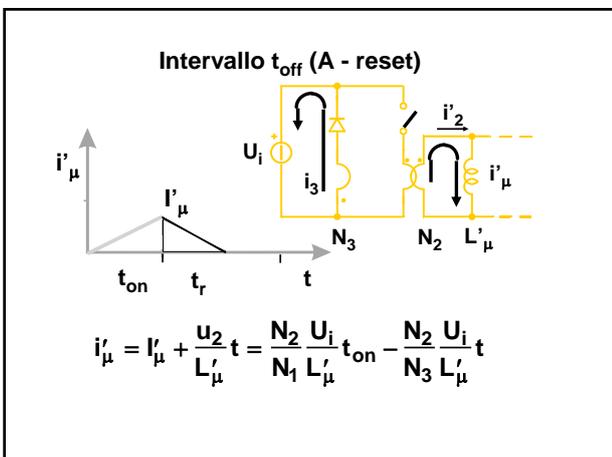
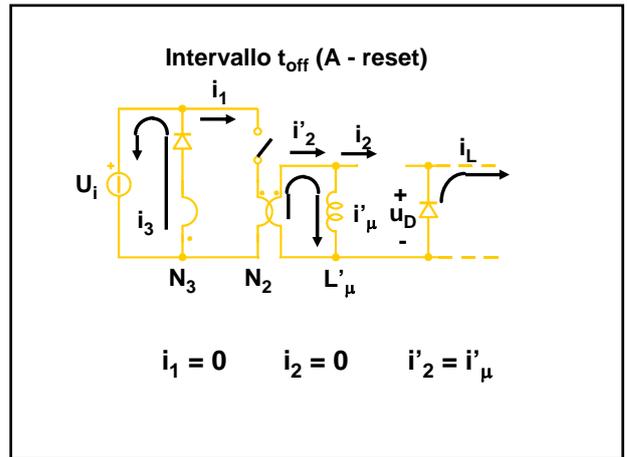
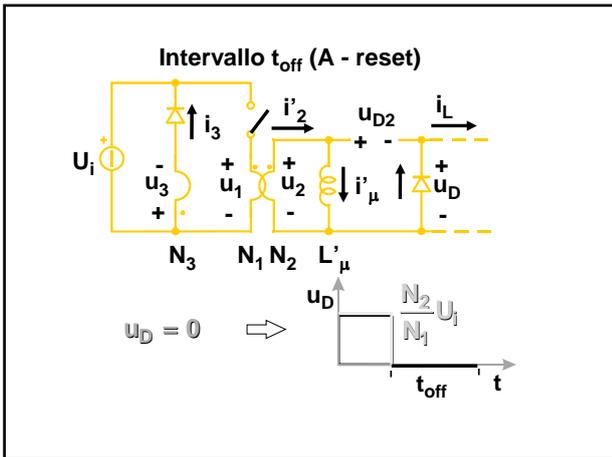
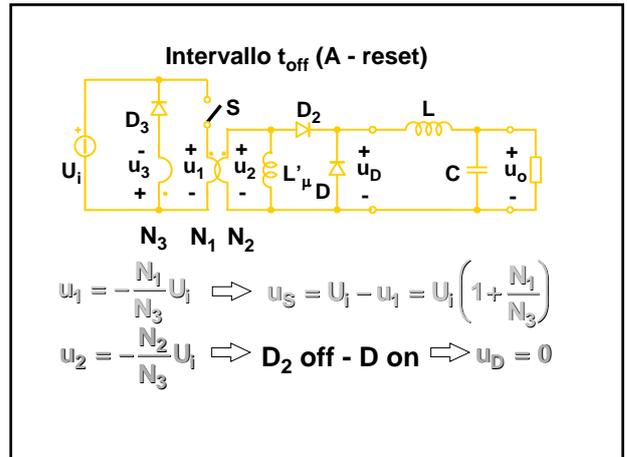
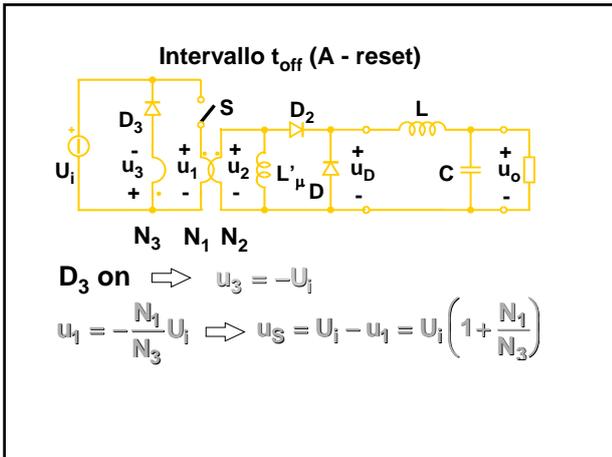


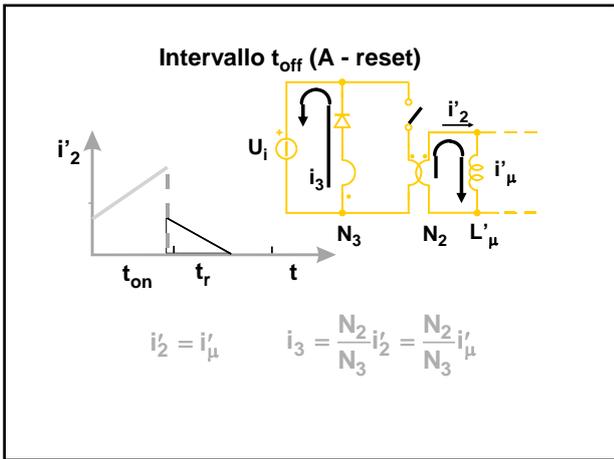
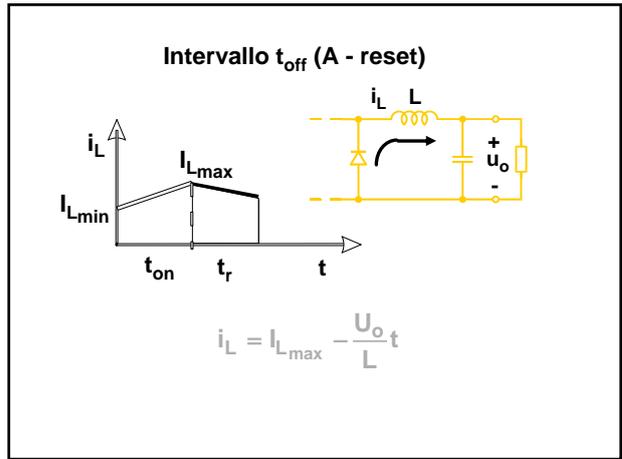
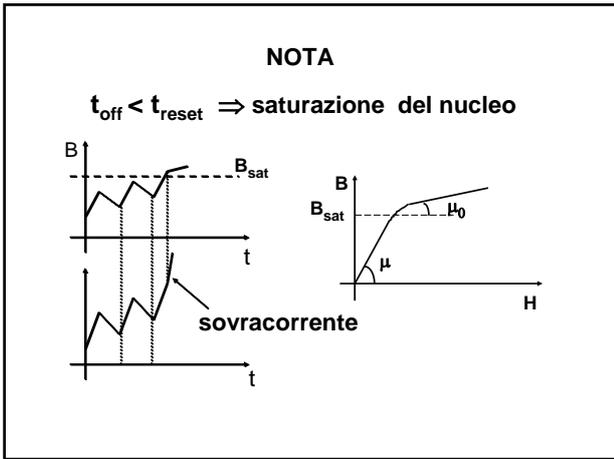
$$S \text{ on} \Rightarrow u_2 = \frac{N_2}{N_1} U_i \Rightarrow D_2 \text{ on} - D \text{ off}$$

$$u_3 = \frac{N_3}{N_1} U_i \Rightarrow D_3 \text{ off}$$









NOTA: Per evitare la saturazione del trasformatore deve essere:

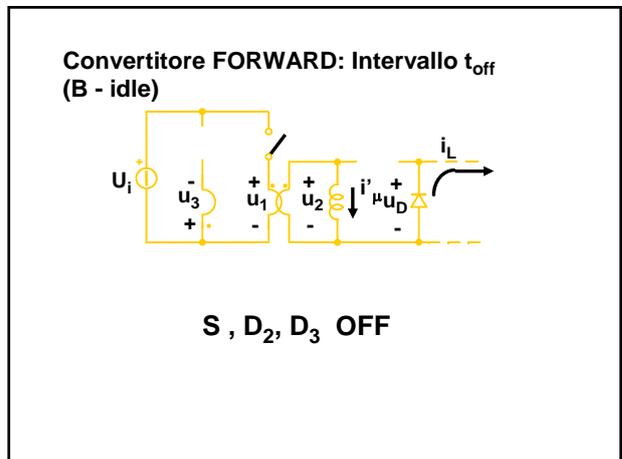
$$t_r \leq t_{off} \Rightarrow \frac{N_3}{N_1} t_{on} \leq T_S - t_{on}$$

NOTA: Per evitare la saturazione del trasformatore deve essere:

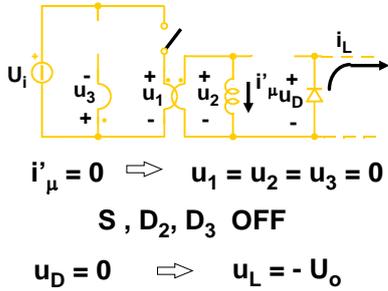
$$t_r \leq t_{off} \Rightarrow \frac{N_3}{N_1} t_{on} \leq T_S - t_{on}$$

$$\delta = \frac{t_{on}}{T_S} \leq \frac{N_1}{N_1 + N_3}$$

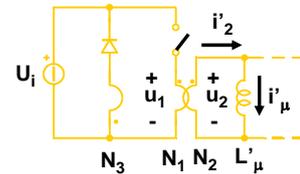
Il valore del duty-cycle è limitato superiormente



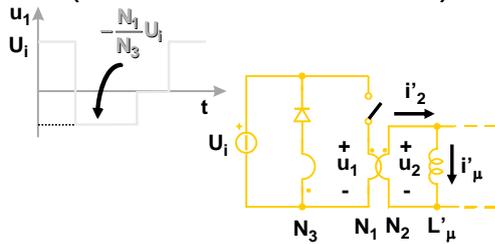
Convertitore FORWARD: Intervallo t_{off} (B - idle)



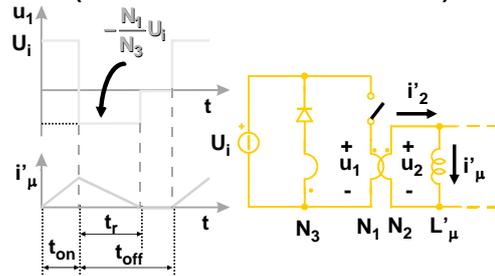
Forme d'onda compressive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



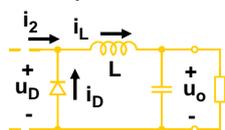
Forme d'onda compressive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



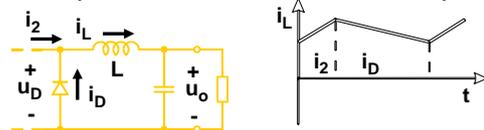
Forme d'onda compressive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



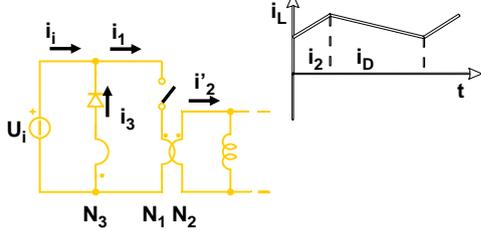
Forme d'onda compressive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



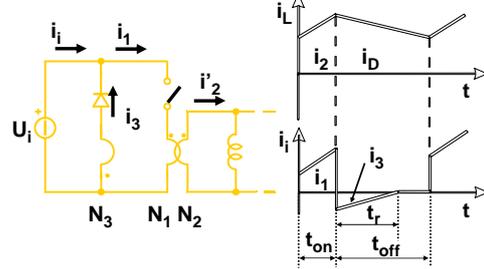
Forme d'onda compressive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



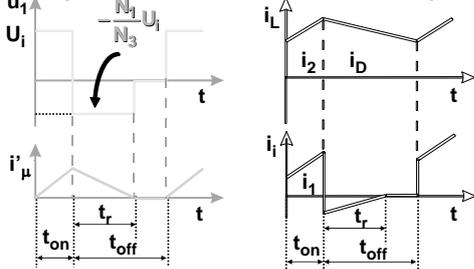
Forme d'onda complesive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



Forme d'onda complesive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



Forme d'onda complesive del convertitore FORWARD (Funzionamento continuo - CCM)



Convertitore FORWARD Conclusioni

- dal punto di vista dell'uscita non cambia nulla rispetto al convertitore Buck

Convertitore FORWARD Conclusioni

- dal punto di vista dell'uscita non cambia nulla rispetto al convertitore Buck

- c'è però un limite di duty-cycle $\delta \leq \frac{N_1}{N_1 + N_3}$

Convertitore FORWARD Conclusioni

- dal punto di vista dell'uscita non cambia nulla rispetto al convertitore Buck

- c'è però un limite di duty-cycle $\delta \leq \frac{N_1}{N_1 + N_3}$

- ... ed una maggiore sollecitazione di tensione dell'interruttore

$$u_{S_{\max}} = U_i \cdot \frac{N_1 + N_3}{N_3}$$

NOTE

1) Spesso si realizza $N_1 = N_3$ (avvolgimento bifilare), quindi:

$$\delta_{\max} = 0.5 \text{ e } U_{S_{\max}} = 2U_i$$

NOTE

1) Spesso si realizza $N_1 = N_3$ (avvolgimento bifilare), quindi:

$$\delta_{\max} = 0.5 \text{ e } U_{S_{\max}} = 2U_i$$

2) In generale l'introduzione di un trasformatore riduce il "tasso di utilizzo" del convertitore, cioè il rapporto P_o/P_S

NOTE

1) Spesso si realizza $N_1 = N_3$ (avvolgimento bifilare), quindi:

$$\delta_{\max} = 0.5 \text{ e } U_{S_{\max}} = 2U_i$$

2) In generale l'introduzione di un trasformatore riduce il "tasso di utilizzo" del convertitore, cioè il rapporto P_o/P_S

P_o = potenza di uscita nominale (max)

P_S = potenza di dimensionamento dell'interruttore

Tasso di utilizzo di un convertitore Buck

Tasso di utilizzo di un convertitore Buck
(Ipotesi semplificativa: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L$)

Tasso di utilizzo di un convertitore Buck
(Ipotesi semplificativa: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L$)

$$P_o = U_{o_{\max}} I_o = U_i I_o$$

Tasso di utilizzo di un convertitore Buck
(Ipotesi semplificativa: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L$)

$$P_o = U_{o_{\max}} I_o = U_i I_o$$

$$P_s = U_{s_{\max}} I_s = U_i I_o$$

Tasso di utilizzo di un convertitore Buck
(Ipotesi semplificativa: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L$)

$$P_o = U_{o_{\max}} I_o = U_i I_o$$

$$P_s = U_{s_{\max}} I_s = U_i I_o$$



$$\frac{P_o}{P_s} = 1$$

Tasso di utilizzo di un convertitore Forward

Tasso di utilizzo di un convertitore Forward
(Ipotesi semplificative: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L, i_\mu = 0$)

Tasso di utilizzo di un convertitore Forward
(Ipotesi semplificative: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L, i_\mu = 0$)

$$P_o = U_{o_{\max}} I_o = \frac{N_2}{N_1} U_i \delta_{\max} I_o$$

Tasso di utilizzo di un convertitore Forward
(Ipotesi semplificative: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L, i_\mu = 0$)

$$P_o = U_{o_{\max}} I_o = \frac{N_2}{N_1} U_i \delta_{\max} I_o$$

$$P_s = U_{s_{\max}} I_s = \frac{N_1 + N_3}{N_3} U_i \frac{N_2}{N_1} I_o$$

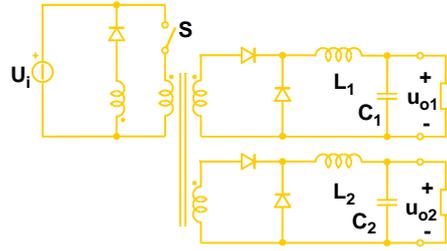
Tasso di utilizzo di un convertitore Forward
 (Ipotesi semplificative: $\Delta i_L = 0 \rightarrow i_L = I_L, i_\mu = 0$)

$$P_o = U_{o_{max}} I_o = \frac{N_2}{N_1} U_i \delta_{max} I_o$$

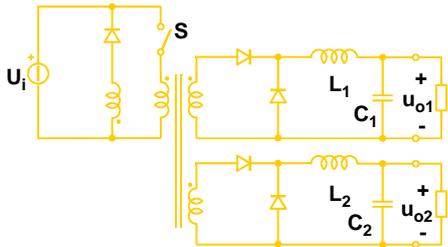
$$P_s = U_{s_{max}} I_s = \frac{N_1 + N_3}{N_3} U_i \frac{N_2}{N_1} I_o$$

$$\frac{P_o}{P_s} = \frac{N_1 N_3}{(N_1 + N_3)^2} \leq \frac{1}{4}$$

Convertitore FORWARD multi-uscita

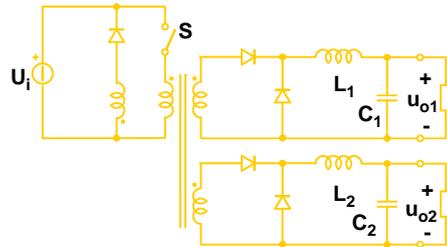


Convertitore FORWARD multi-uscita



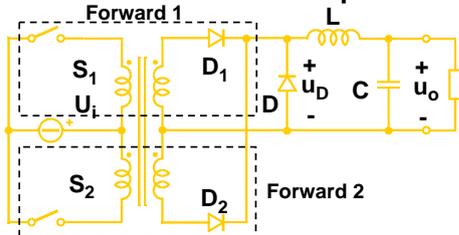
Le tensioni di uscita sono tra loro vincolate dai rapporti spire del trasformatore

Convertitore FORWARD multi-uscita



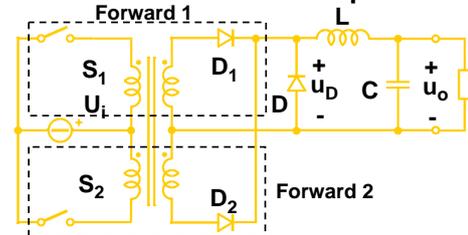
Le induttanze di filtro hanno c.d.t. resistive che dipendono dalle correnti di uscita. Ciò limita la precisione della regolazione.

Convertitore Push-pull

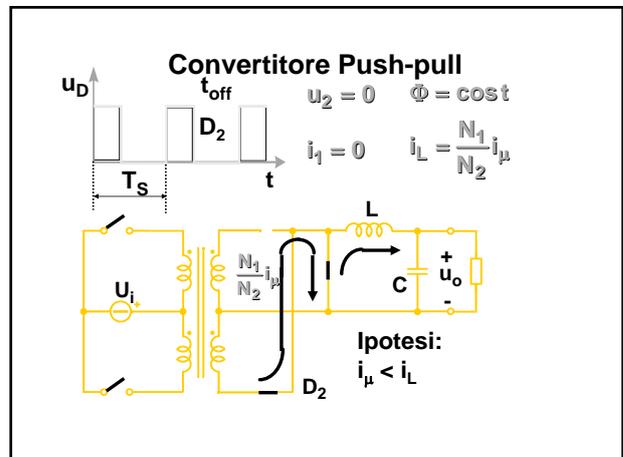
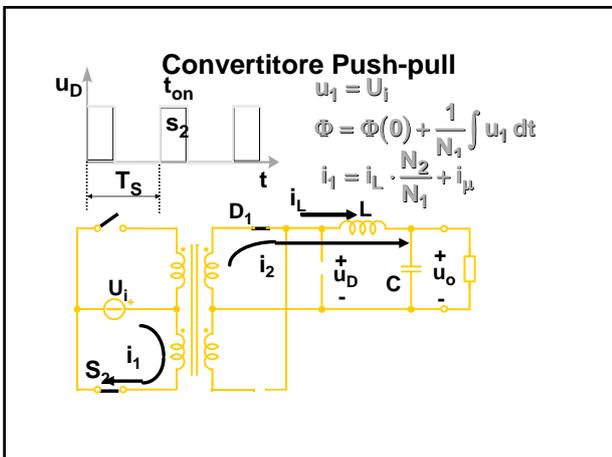
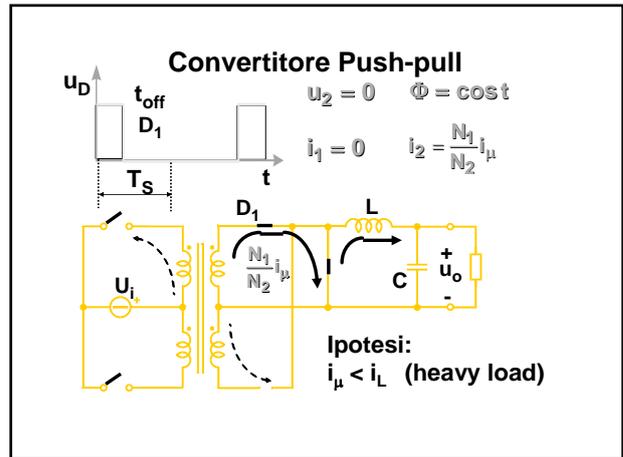
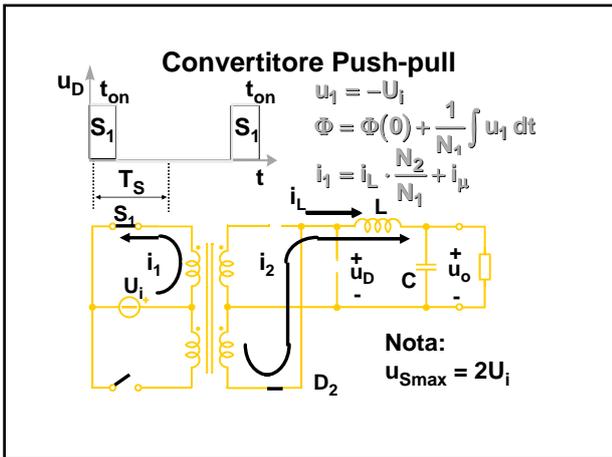
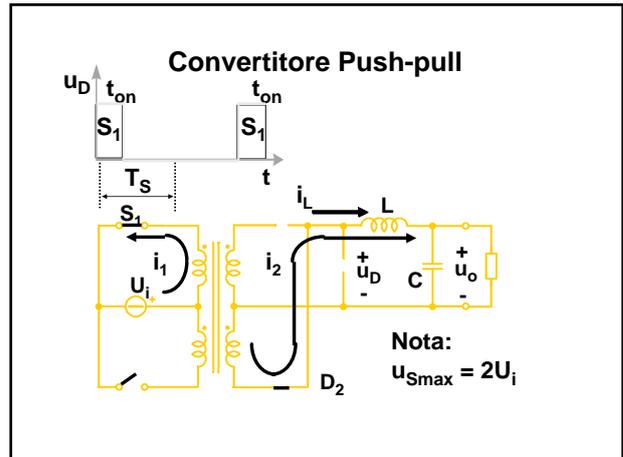
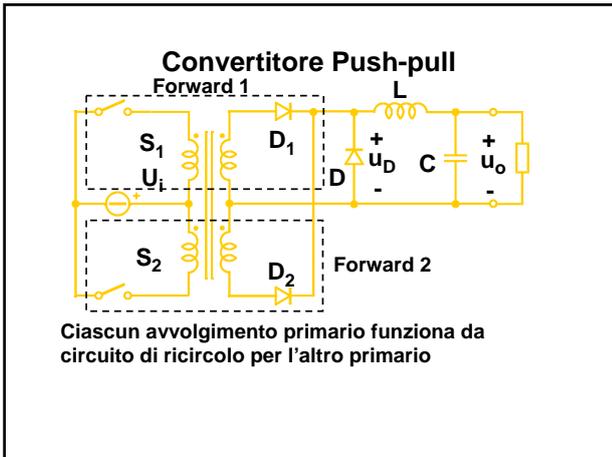


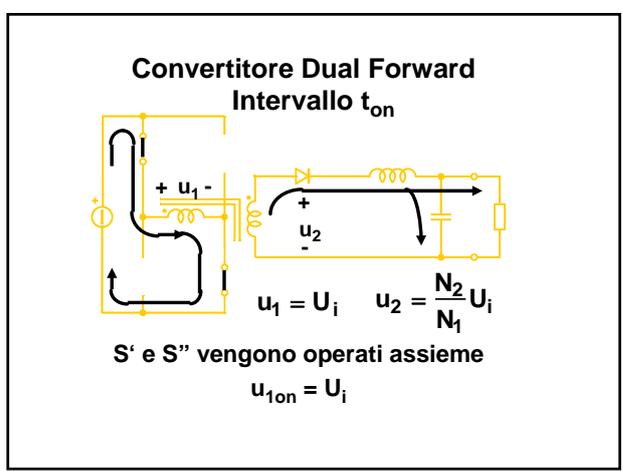
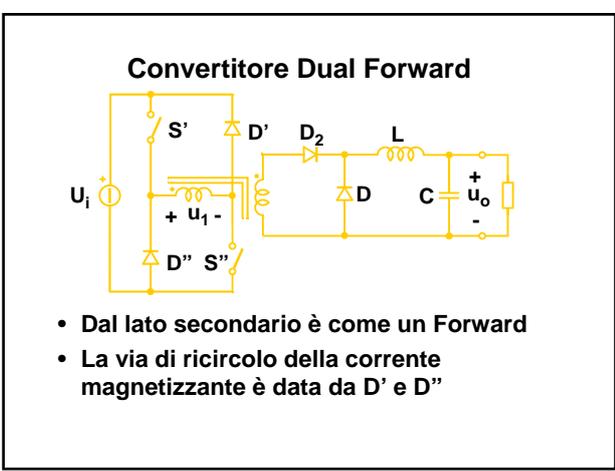
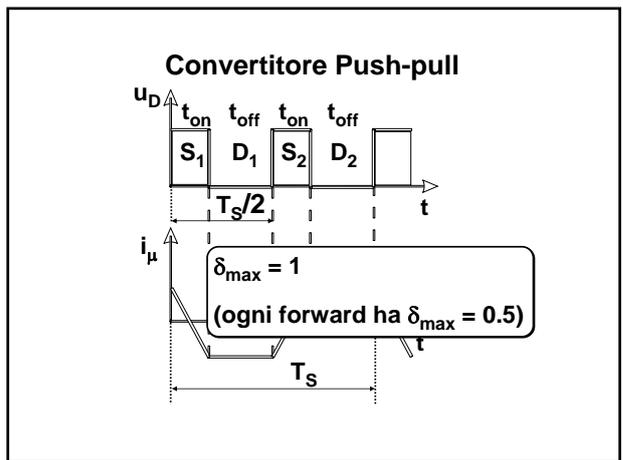
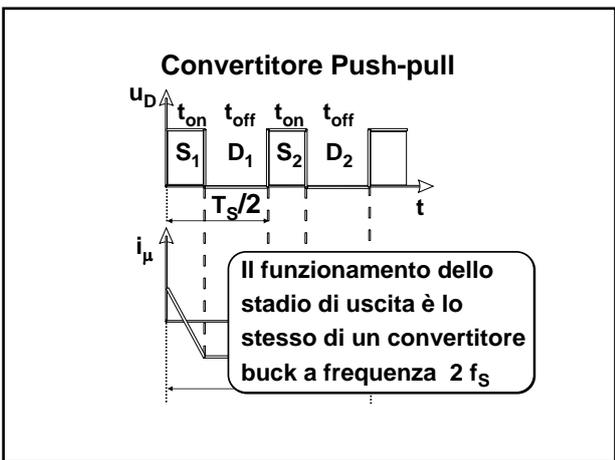
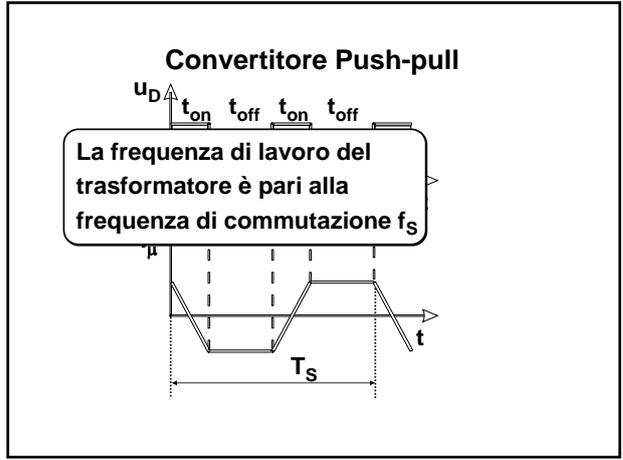
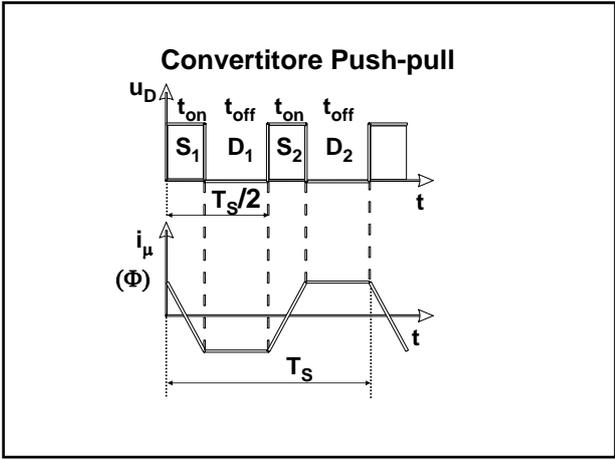
Il convertitore push-pull include due convertitori forward che funzionano a cicli alterni

Convertitore Push-pull



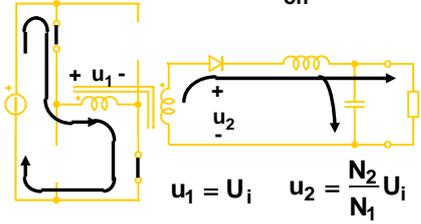
Gli avvolgimenti di ricircolo non sono necessari perchè i due convertitori hanno gli avvolgimenti accoppiati per flussi discordi





Convertitore Dual Forward

Intervallo t_{on}

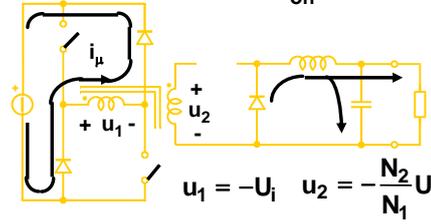


$$u_1 = U_i \quad u_2 = \frac{N_2}{N_1} U_i$$

$S' = S'' = D_2 = \text{"on"}, D' = D'' = D = \text{"off"}$

Convertitore Dual Forward

Intervallo t_{off}

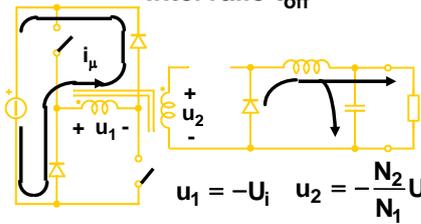


$$u_1 = -U_i \quad u_2 = -\frac{N_2}{N_1} U_i$$

I diodi D' e D'' svolgono la funzione di ricircolo $\Rightarrow u_{1off} = -U_i$

Convertitore Dual Forward

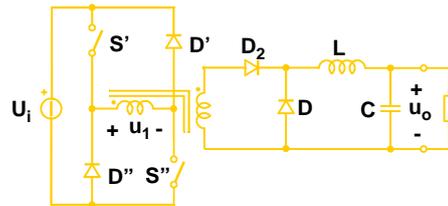
Intervallo t_{off}



$$u_1 = -U_i \quad u_2 = -\frac{N_2}{N_1} U_i$$

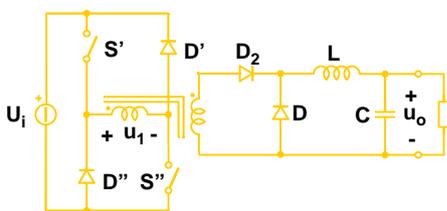
$S' = S'' = D_2 = \text{"off"}, D' = D'' = D = \text{"on"}$

Convertitore Dual Forward



Lato uscita funziona come un convertitore buck

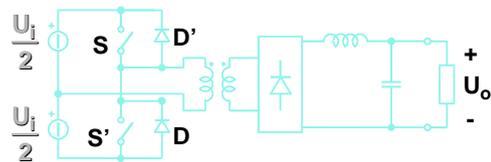
Convertitore Dual Forward



Lato uscita funziona come un convertitore buck

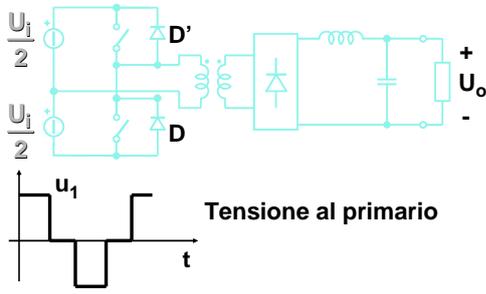
$$u_{1on} = U_i, u_{1off} = -U_i \Rightarrow \delta \leq 0.5$$

**Convertitore cc/cc con isolamento:
Half - bridge a trasformatore**

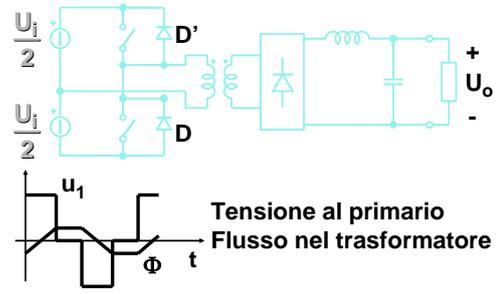


Il funzionamento è lo stesso del convertitore push-pull (S e S' funzionano a cicli alterni)

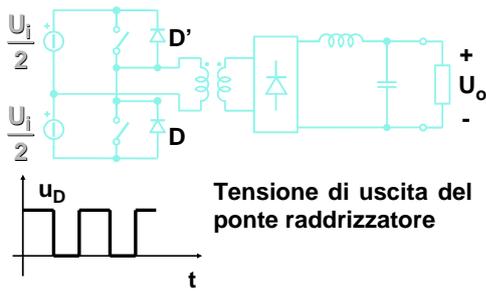
**Convertitore cc/cc con isolamento:
Half - bridge a trasformatore**



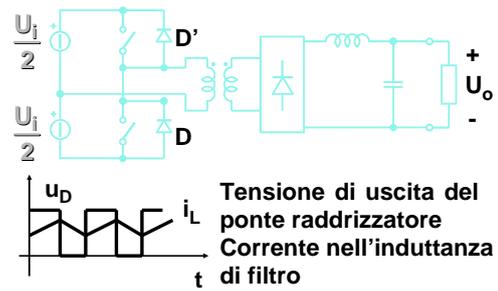
**Convertitore cc/cc con isolamento:
Half - bridge a trasformatore**



**Convertitore cc/cc con isolamento:
Half - bridge a trasformatore**



**Convertitore cc/cc con isolamento:
Half - bridge a trasformatore**



Conclusioni

- Il funzionamento dei convertitori abbassatori di tensione isolati è fortemente influenzato dai parametri parassiti del trasformatore (L_p)
- Per dare vie di richiusura alla corrente magnetizzante occorre complicare il circuito, introducendo rami di ricircolo o interruttori aggiuntivi
- In ogni caso il fattore di utilizzazione del convertitore (P_o/P_S) cala di almeno 4 volte