



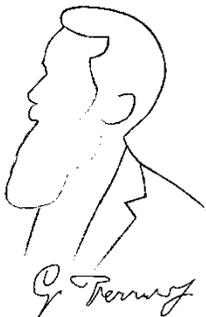
POLITECNICO
DI TORINO



IMPEDANCE MODELS OF GRID-TIED CONVERTERS

Relatore:

Prof. Radu Bojoi
Fabio Mandrile



Dipartimento Energia "Galileo Ferraris"

Politecnico di Torino, Italy

23/03/2020

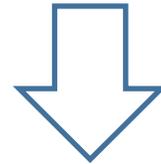
Candidato:

MATTEO PASQUALINI



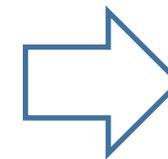
Problematica da affrontare

- Aumento del numero di impianti di energia rinnovabile
- Aumento dei sistemi di accumulo energetico
- Elettificazione dei trasporti



Continuo aumento dei convertitori a tensione impressa (VSC) collegati alla rete elettrica

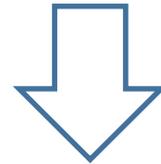
La rete elettrica come vede questi convertitori?
Esistono problemi una volta che essi vengono connessi alla rete?



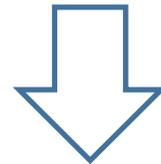
9 Aprile 1995, Zurigo

Problematica da affrontare

Problema a livello di sistema determinato dal comportamento dei **VSC** e della **rete**

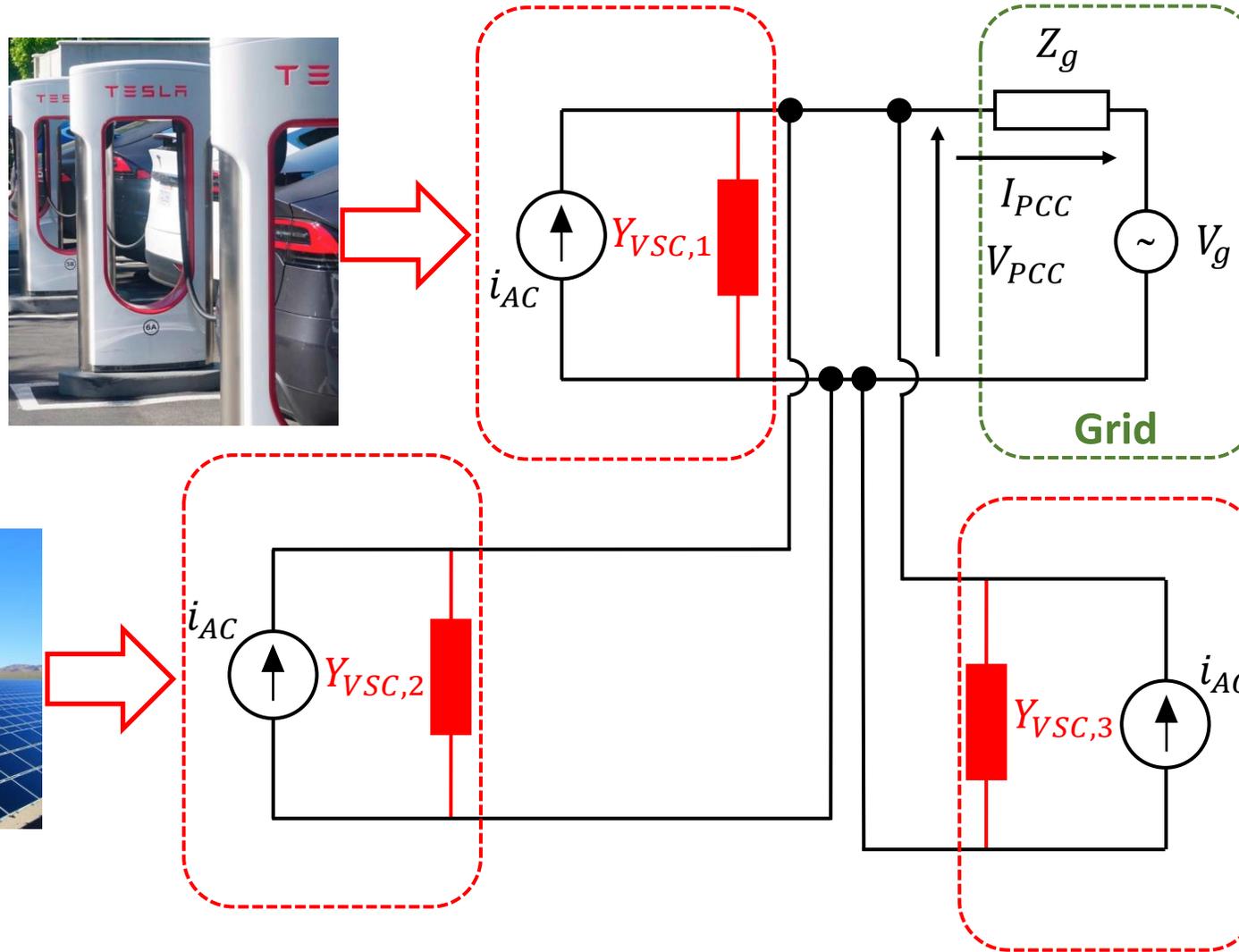


Una soluzione è ottenere un **modello di impedenza** (o **ammettenza**) del convertitore da impiegare in **studi a livello di sistema**

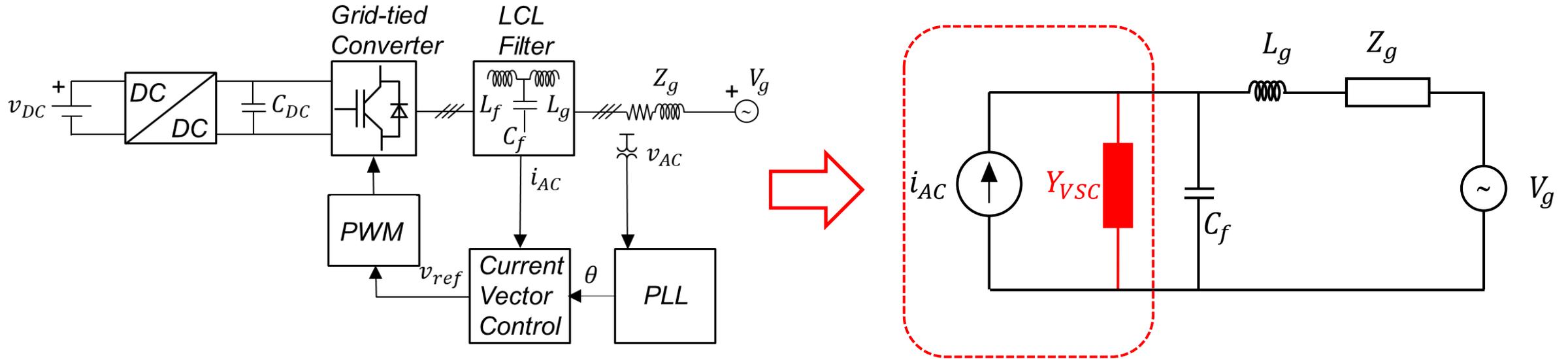


Il mio elaborato si è incentrato su un **approccio matematico** per ottenere tale modello

Obiettivo della tesi



Obiettivo della tesi



Modello di impedenza per disturbi di piccolo segnale del convertitore nel sistema di riferimento rotante (d,q) :

$$Z_{VSC} = Y_{VSC}^{-1} = \begin{bmatrix} Z_{dd} & Z_{dq} \\ Z_{qd} & Z_{qq} \end{bmatrix}$$

Derivazione analitica del modello di impedenza

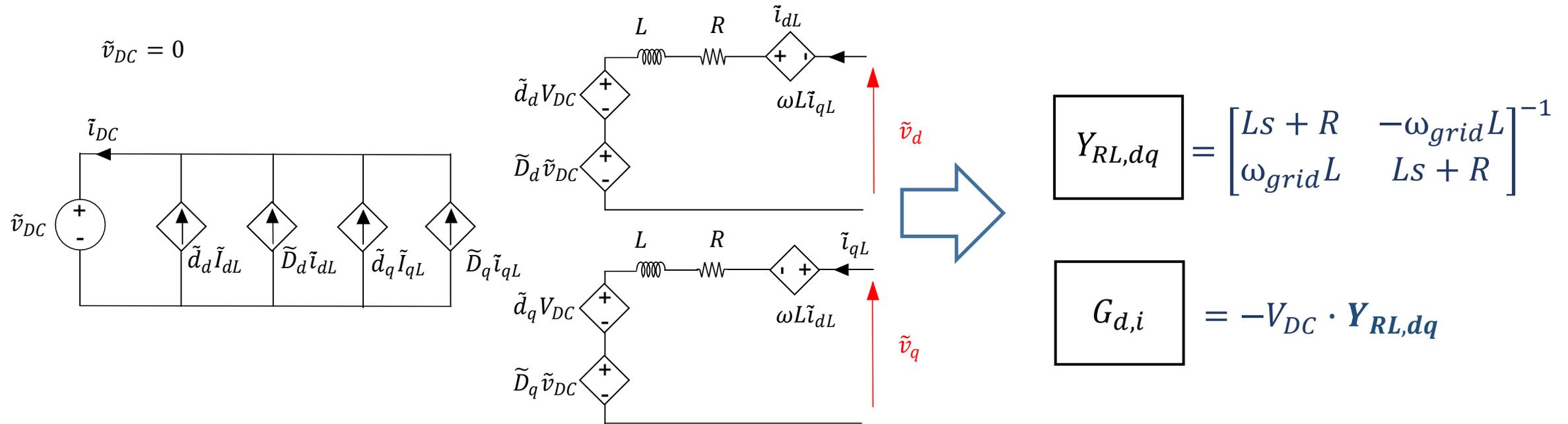
1. Il **modello equivalente ai valori medi** per **analisi di piccolo segnale**
2. Come la **dinamica del PLL** influisce sul sistema
3. I parametri del sistema, i ritardi a causa del PWM e i filtri
4. Lo schema di controllo

Con una sorgente di tensione ideale:

- $\tilde{v}_{DC} = 0$
- Niente anello di tensione

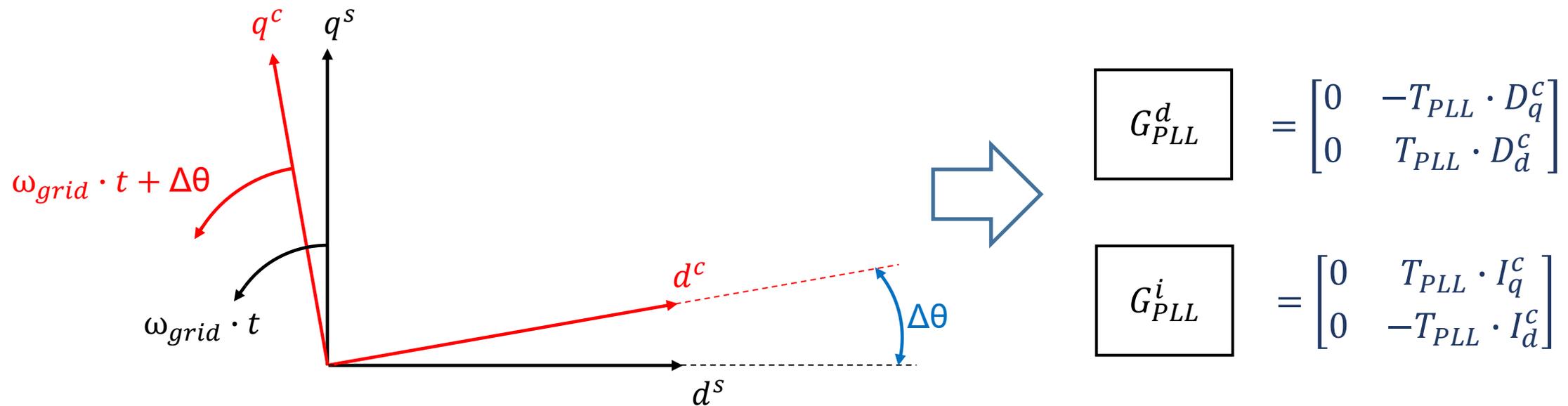
Derivazione analitica del modello di impedenza

1. Il modello equivalente ai valori medi per analisi di piccolo segnale
2. Come la dinamica del PLL influisce sul sistema
3. I parametri del sistema, i ritardi a causa del PWM e i filtri
4. Lo schema di controllo



Derivazione analitica del modello di impedenza

1. Il modello equivalente ai valori medi per analisi di piccolo segnale
2. Come la **dinamica del PLL** influisce sul sistema
3. I parametri del sistema, i ritardi a causa del PWM e i filtri
4. Lo schema di controllo



Derivazione analitica del modello di impedenza

1. Il modello equivalente ai valori medi per analisi di piccolo segnale
2. Come la dinamica del PLL influisce sul sistema
3. I parametri del sistema, i ritardi a causa del PWM e i filtri
4. Lo schema di controllo

$$G_{delay} = \begin{bmatrix} Delay(s) & 0 \\ 0 & Delay(s) \end{bmatrix}$$

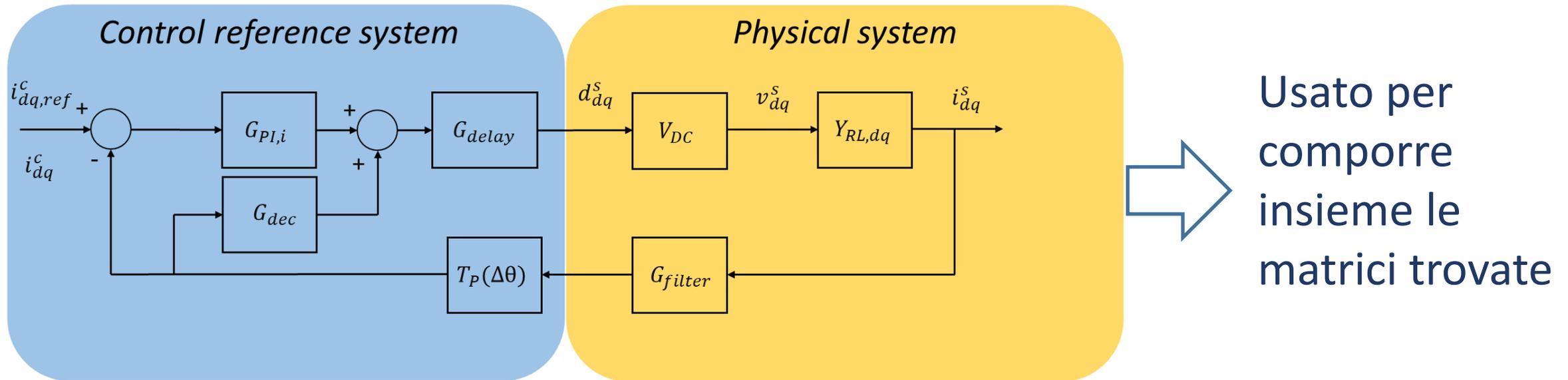
$$G_{filter} = \begin{bmatrix} Filter(s) & 0 \\ 0 & Filter(s) \end{bmatrix}$$

$$G_{PI,i} = \begin{bmatrix} K_{p,i} + \frac{K_{i,i}}{s} & 0 \\ 0 & K_{p,i} + \frac{K_{i,i}}{s} \end{bmatrix}$$

$$G_{dec} = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{\omega_{grid}L}{V_{DC}} \\ \frac{\omega_{grid}L}{V_{DC}} & 0 \end{bmatrix}$$

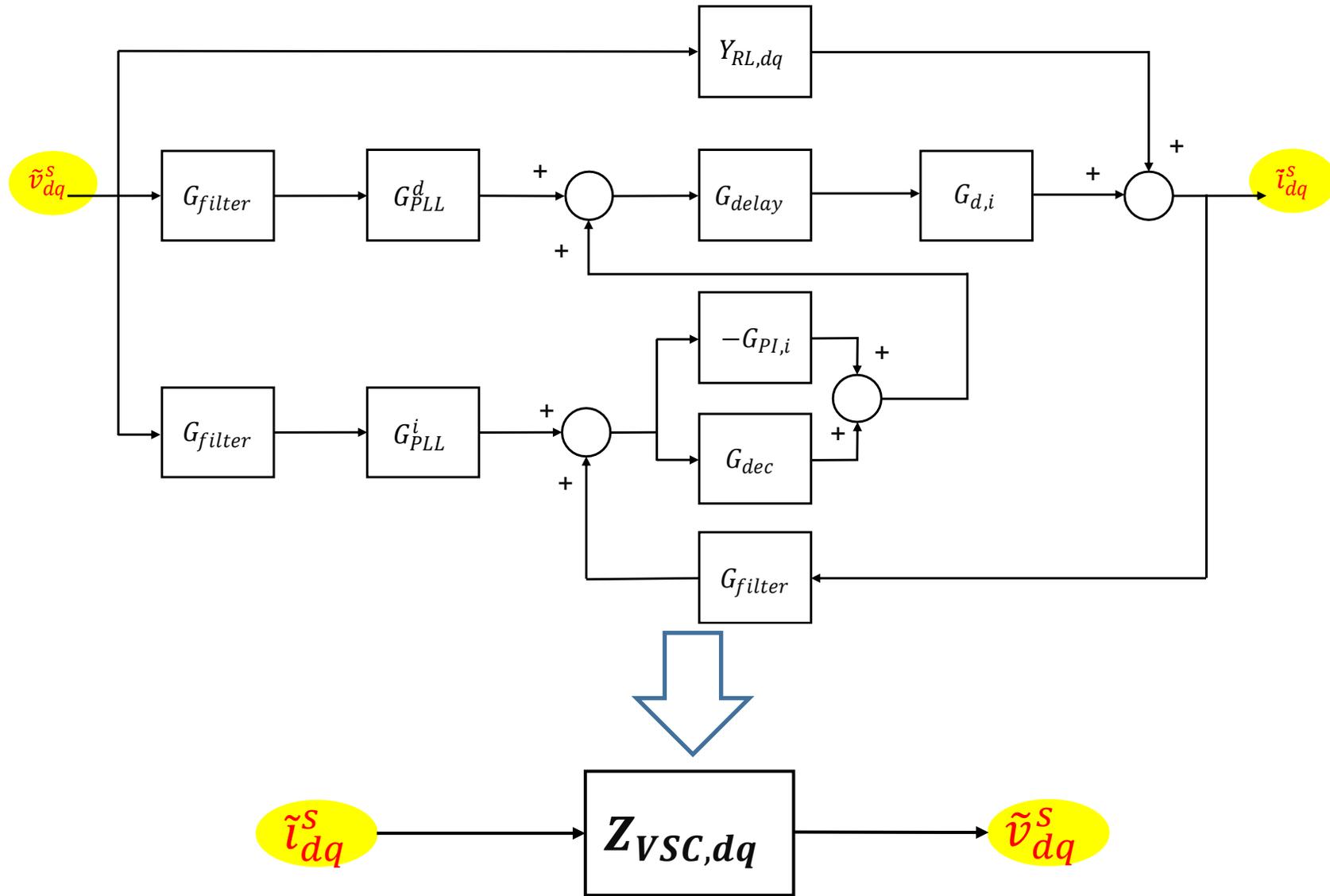
Derivazione analitica del modello di impedenza

1. Il modello equivalente ai valori medi per analisi di piccolo segnale
2. Come la dinamica del PLL influisce sul sistema
3. I parametri del sistema, i ritardi a causa del PWM e i filtri
4. Lo schema di controllo

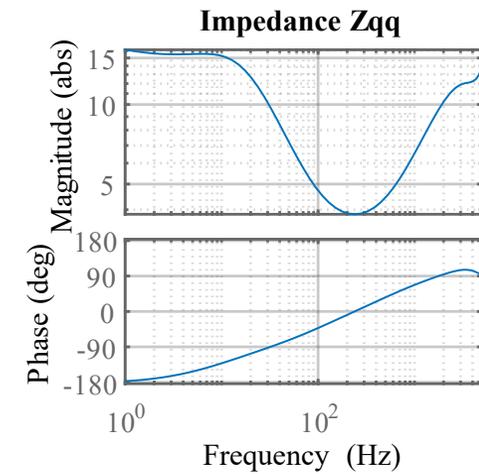
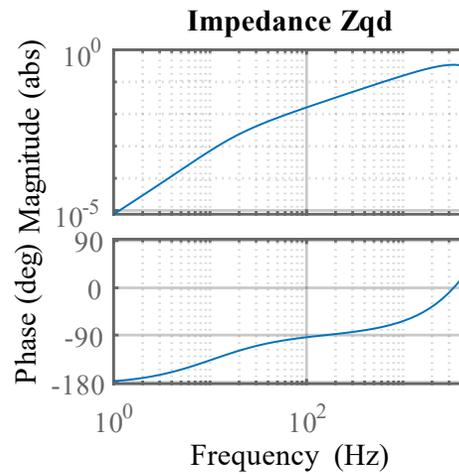
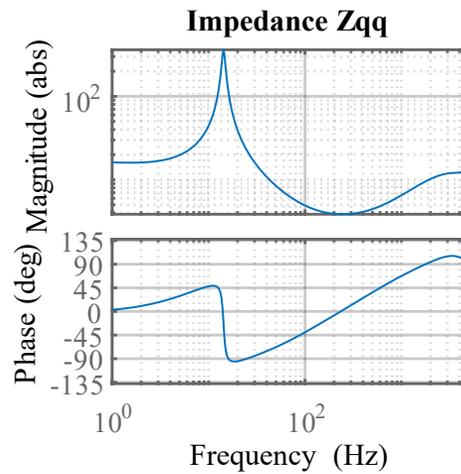
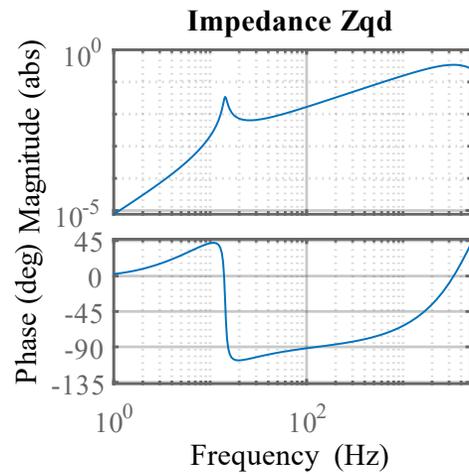
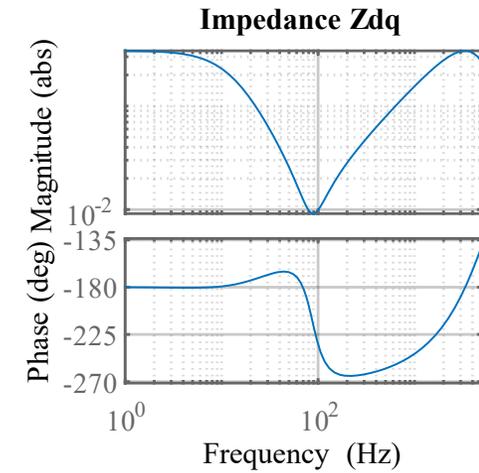
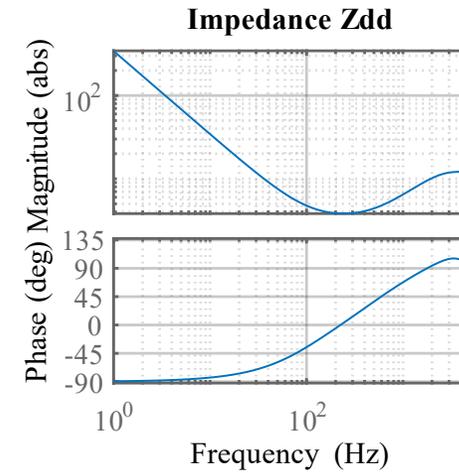
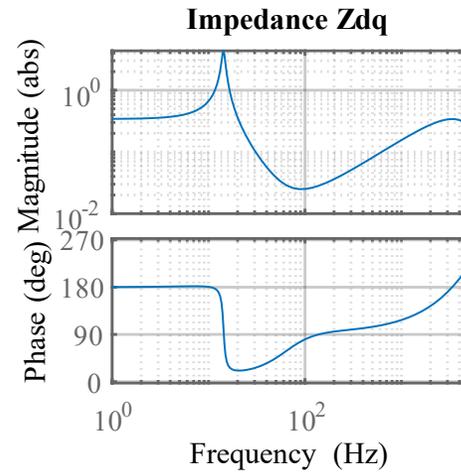
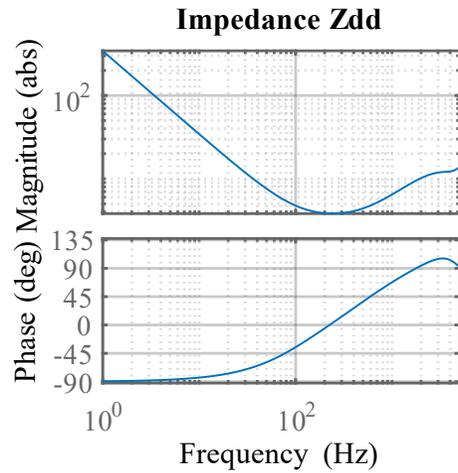


Usato per
comporre
insieme le
matrici trovate

Derivazione analitica del modello di impedenza



Modello di impedenza del convertitore con anello di corrente



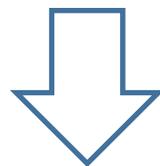
Modalità RADDRIZZATORE

Modalità GENERATORE

Aggiunta dell'anello di tensione

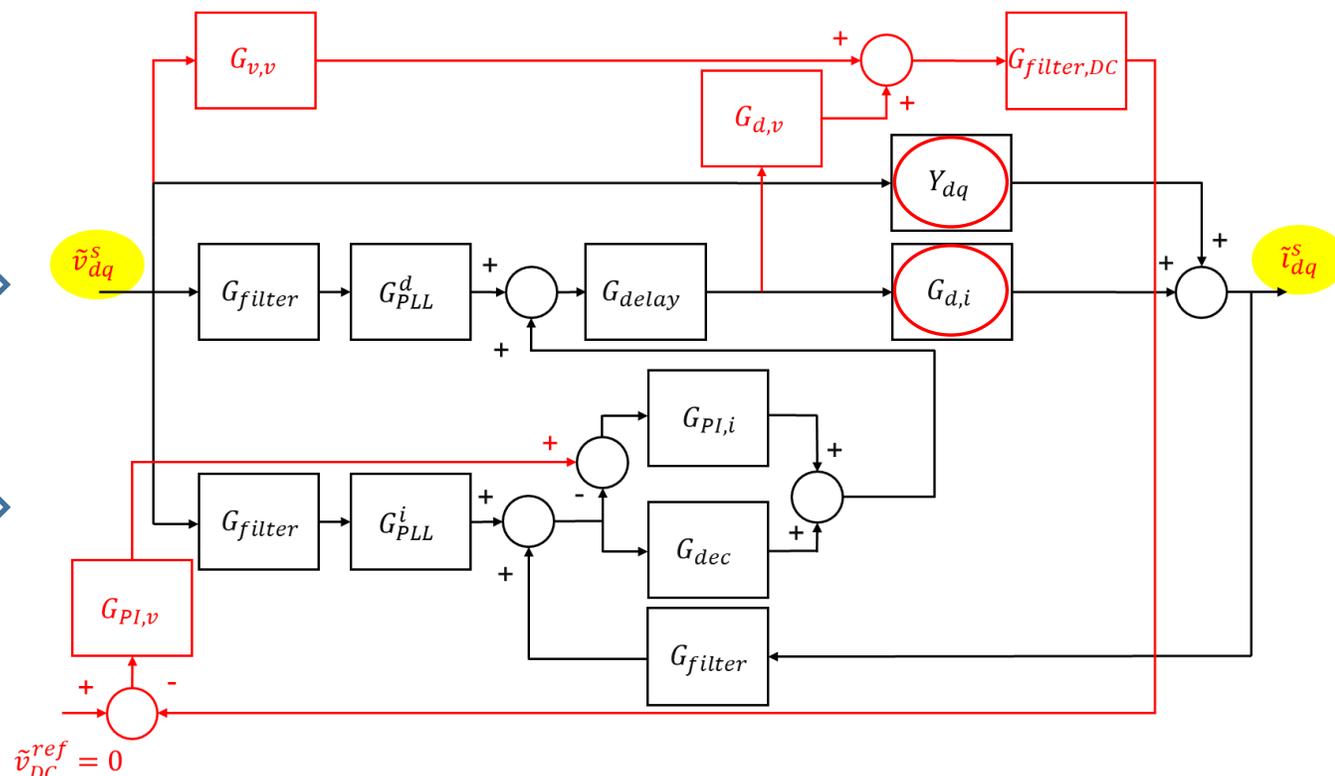
Se la sorgente di tensione NON è ideale:

- $\tilde{v}_{DC} \neq 0$
- Bisogna inserire un **anello di tensione**

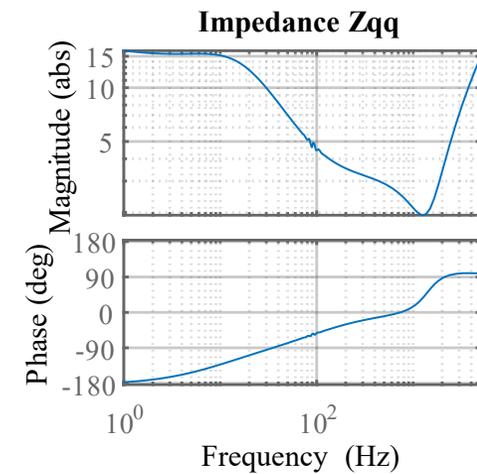
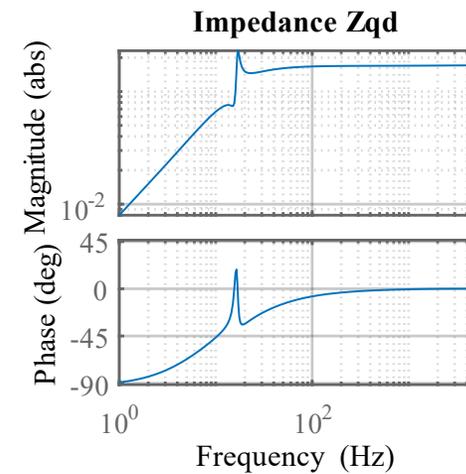
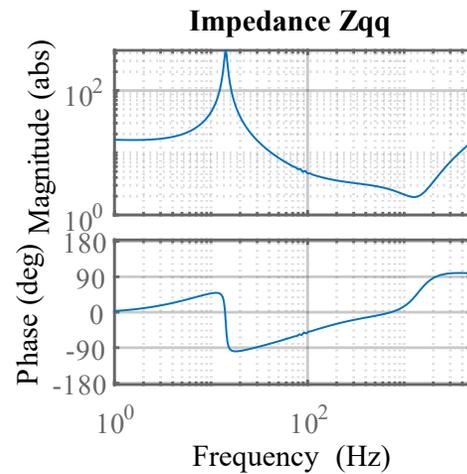
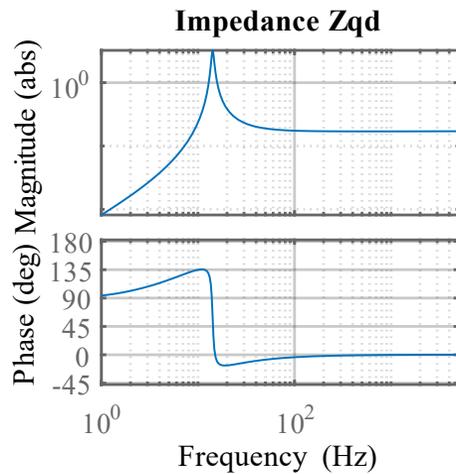
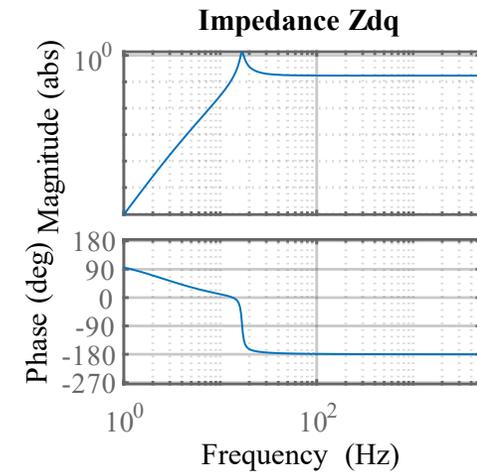
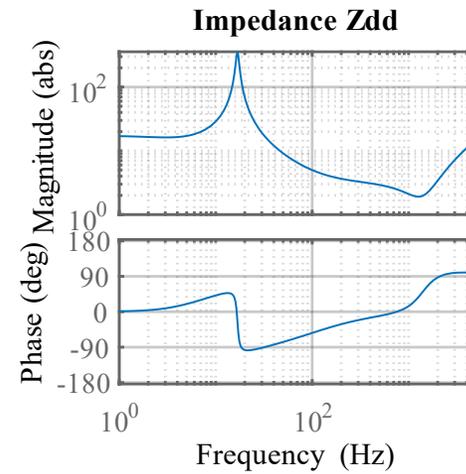
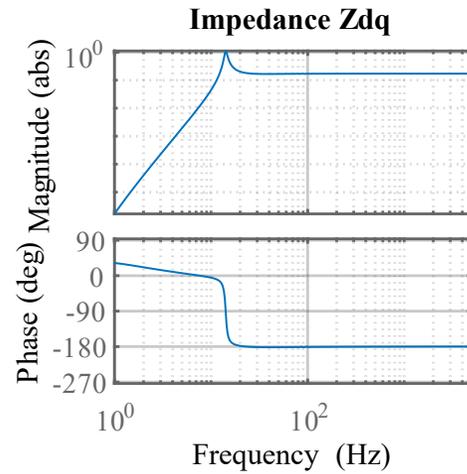
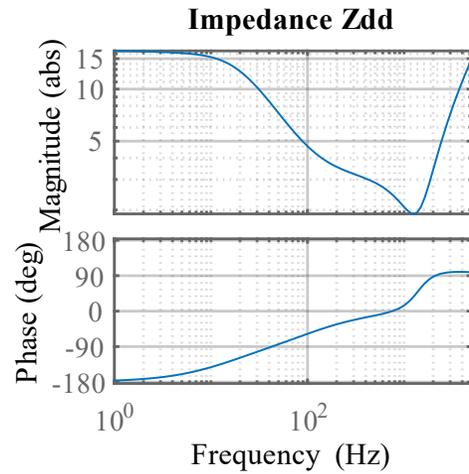


Questo modifica:

- Lo schema di controllo
- Il modello equivalente ai valori medi per analisi di piccolo segnale



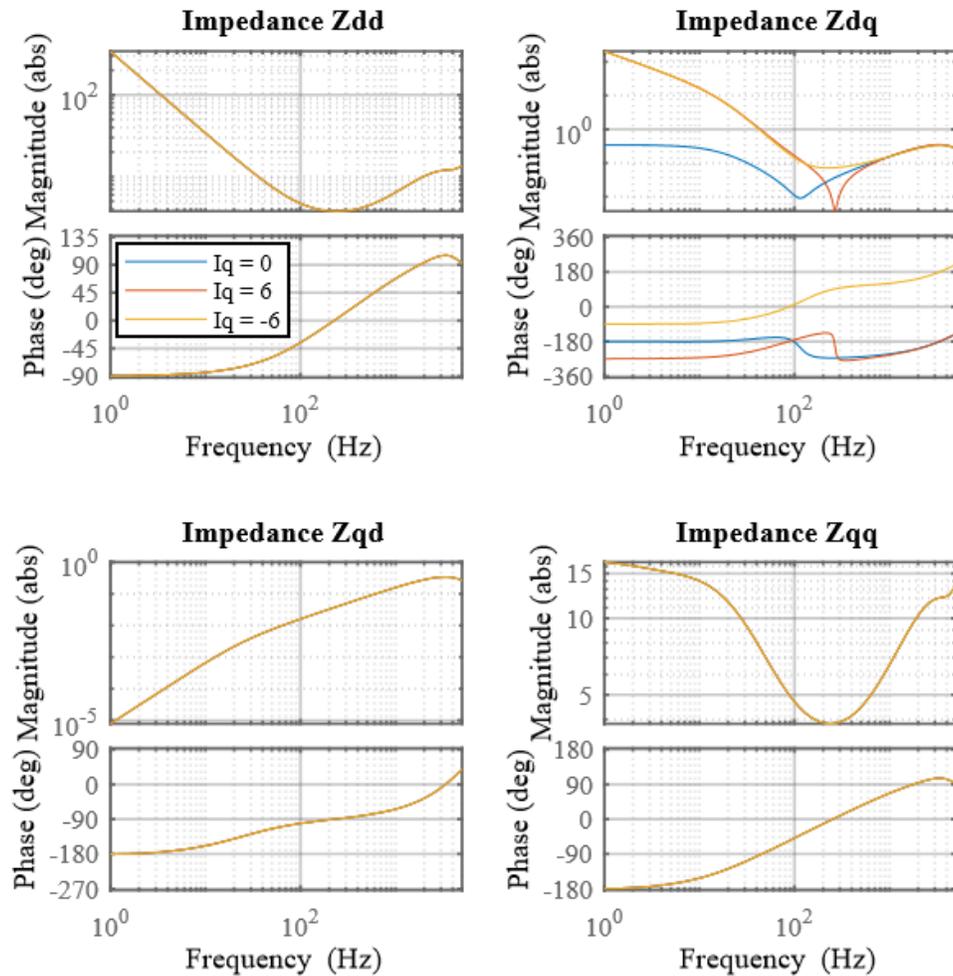
Modello di impedenza del convertitore con anello di tensione esterno



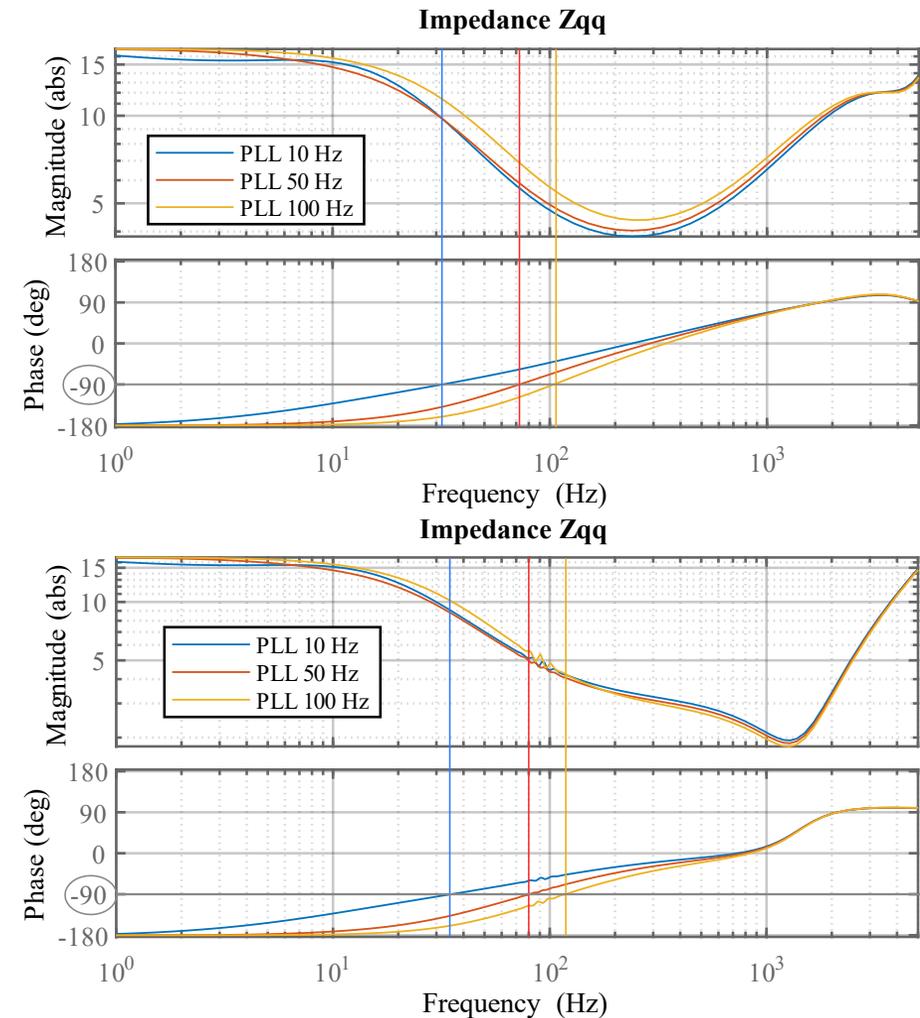
Modalità RADDRIZZATORE

Modalità GENERATORE

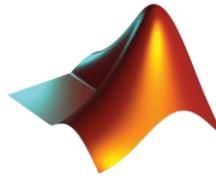
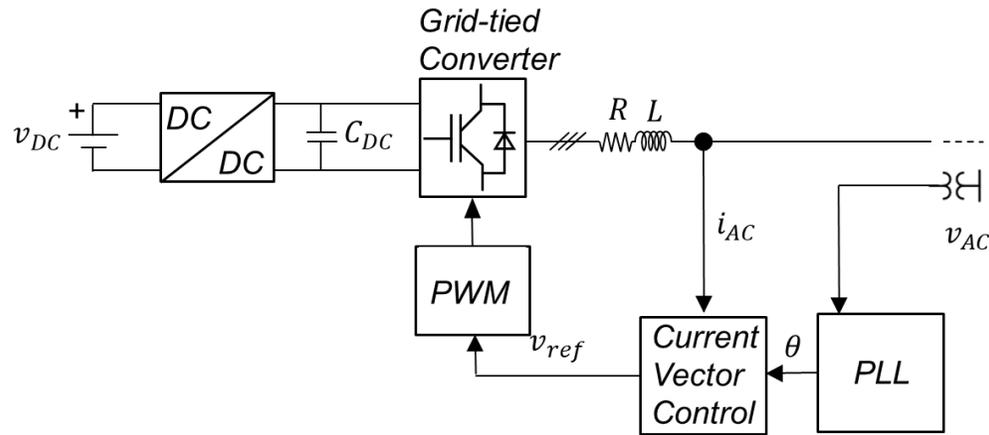
Effetto della potenza reattiva



Effetto del PLL



Conclusioni



MATLAB

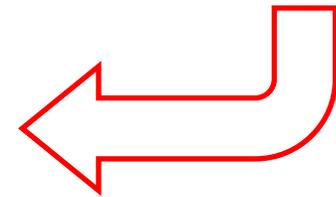
```
% Impedance Models  
% Script  
  
% Matrix calculation  
...  
...
```

Parametri
del
convertitore

$$\begin{cases} V_{DC} \\ L \\ \vdots \end{cases}$$

**Modello di
impedenza per
disturbi di piccolo
segnale nel sistema
di riferimento
rotante (d,q)**

- Cosa succede variando i parametri?
- **Benchmark per test sperimentali o per altri metodi**



Contributi personali

- Ricerca bibliografica sui modelli di impedenza
- Descrizione dell'approccio matematico utilizzato
- Script per il calcolo dell'impedenza
- Comparazione due modalità di funzionamento del convertitore
- Osservazioni riguardo l'influenza di alcuni parametri
- Validazione di modelli ottenuti mediante prove sperimentali

Grazie per l'attenzione