

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'energia

***Analisi delle prestazioni dinamiche di
aerogeneratori a velocità variabile
tramite software Matlab/Simulink***

Tutor universitario: Prof. Andrea Tortella

Laureando: Francesca Righetto

Matricola: 1223409

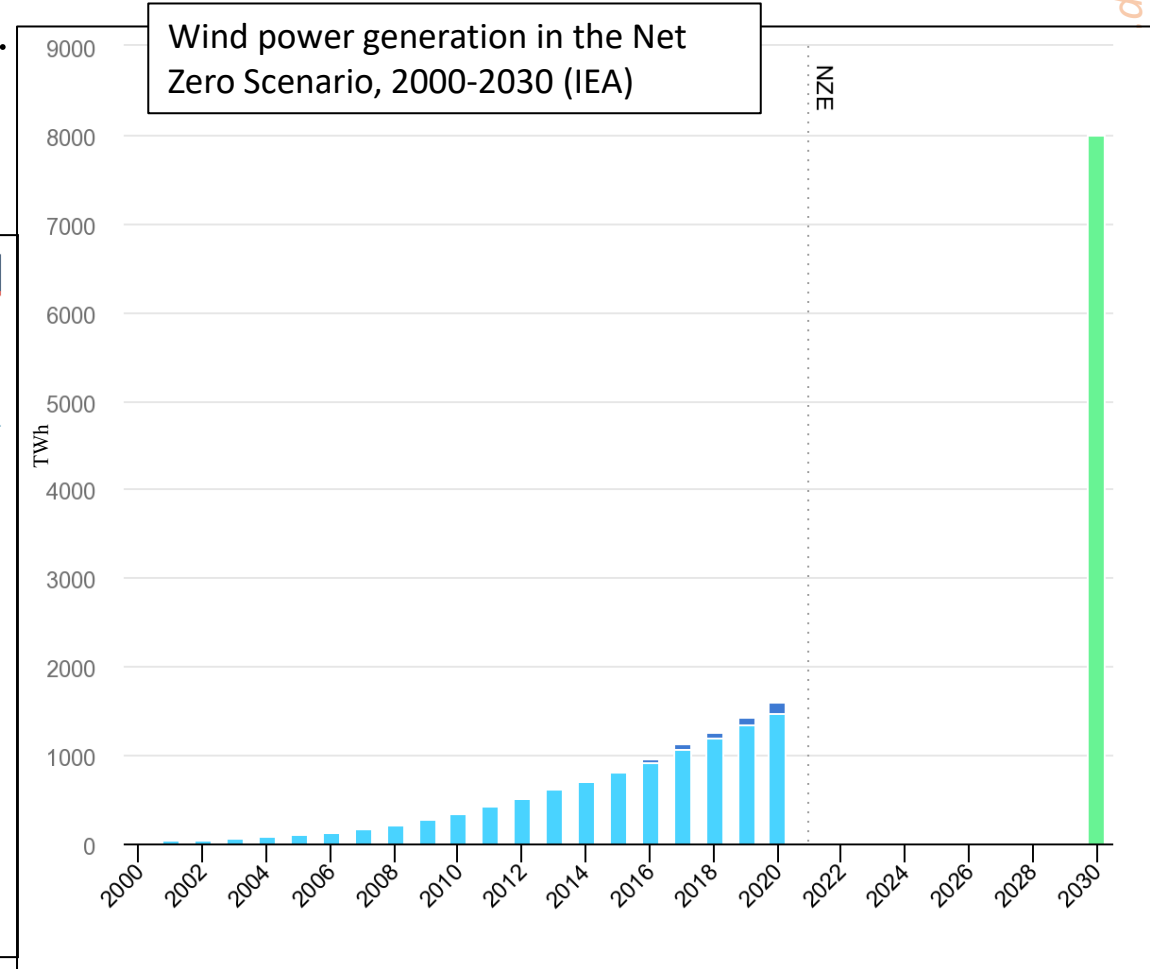
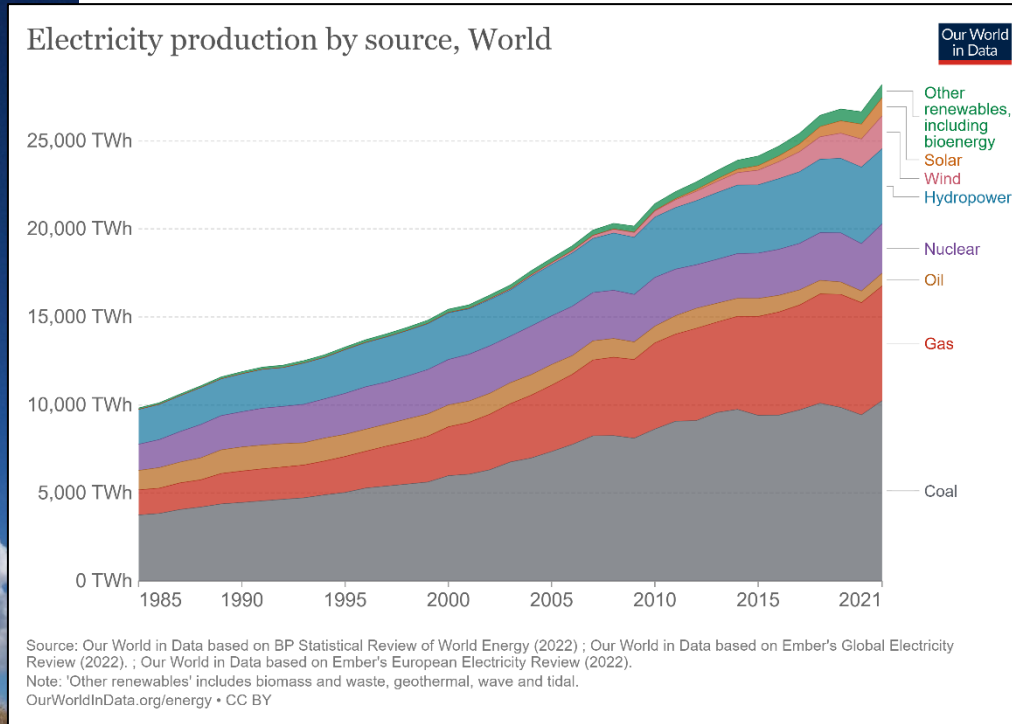
Padova, 19/09/2022

Il consumo di energia è in continua crescita. Al fine di rispettare la neutralità carbonica prevista entro il 2070 una delle strade intraprese è l'elettificazione dei consumi.

Perciò è essenziale garantire la produzione di energia elettrica necessaria, in particolare da fonti rinnovabili.

Una delle risorse sfruttabili è il vento tramite gli aerogeneratori.

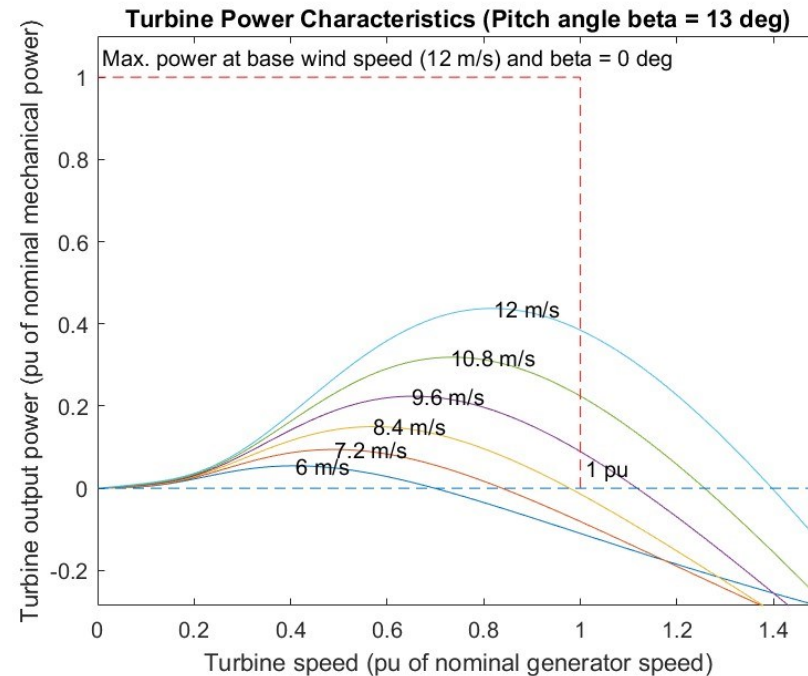
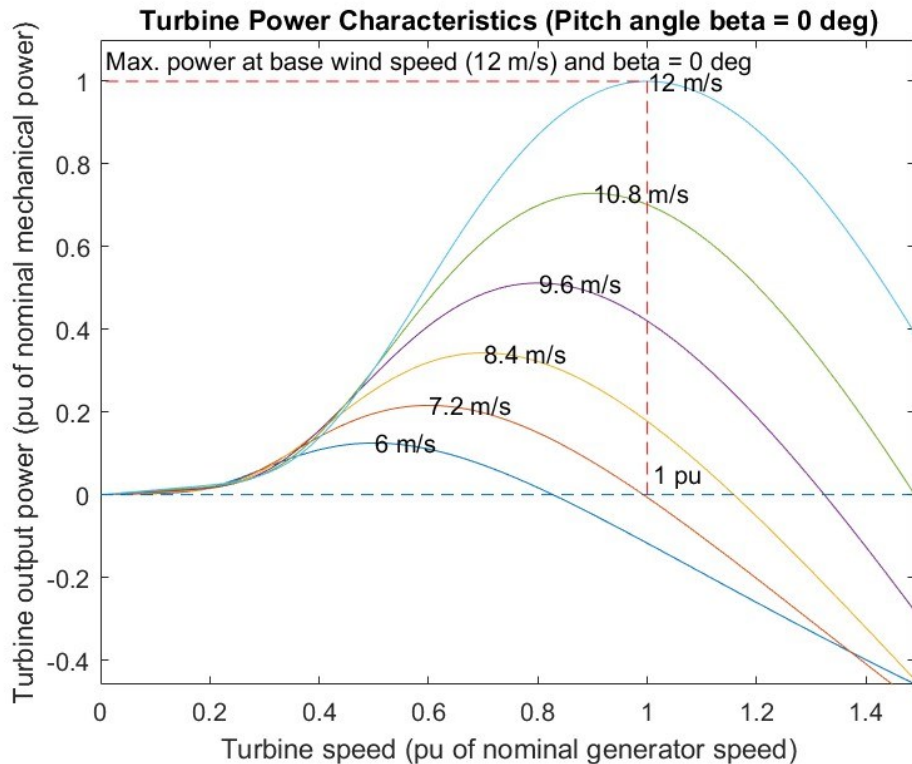
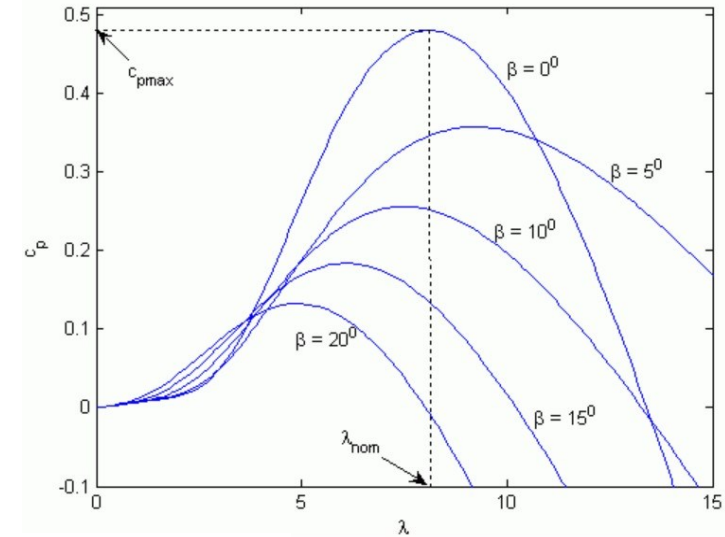
dii.unipd.it



- Approfondire il tema dell'eolico
- Conoscere le strategie di controllo per aumentare l'efficienza della turbina
- Apprendere l'utilizzo di un software di simulazione come Matlab/Simulink
- Simulare un funzionamento per diversi andamenti del vento (da costante a turbolento)
- Misurare le diverse grandezze del modello e verificare i risultati previsti dalla teoria

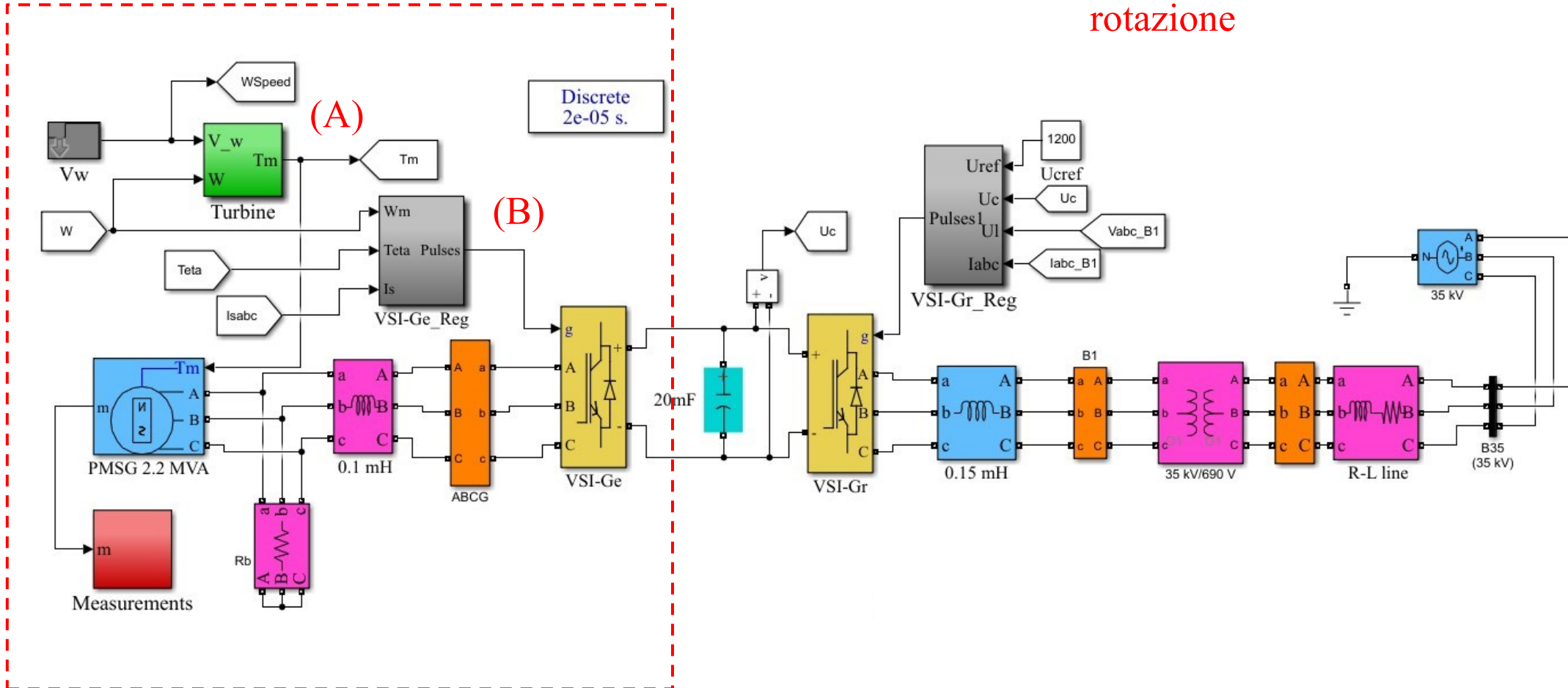
$$P = \frac{1}{2} \rho A c_p v^3 \text{ con } c_p = f(\lambda, \beta).$$

- Dipendenza dall'angolo di calettamento (qui si riportano due esempi $\beta = 0^\circ$ e 13°) ed esistenza di valore ottimale a specifico λ .
- Individuazione dei valori di velocità di rotazione che garantiscono la produzione massima di potenza a diverse velocità del vento (MPPT).

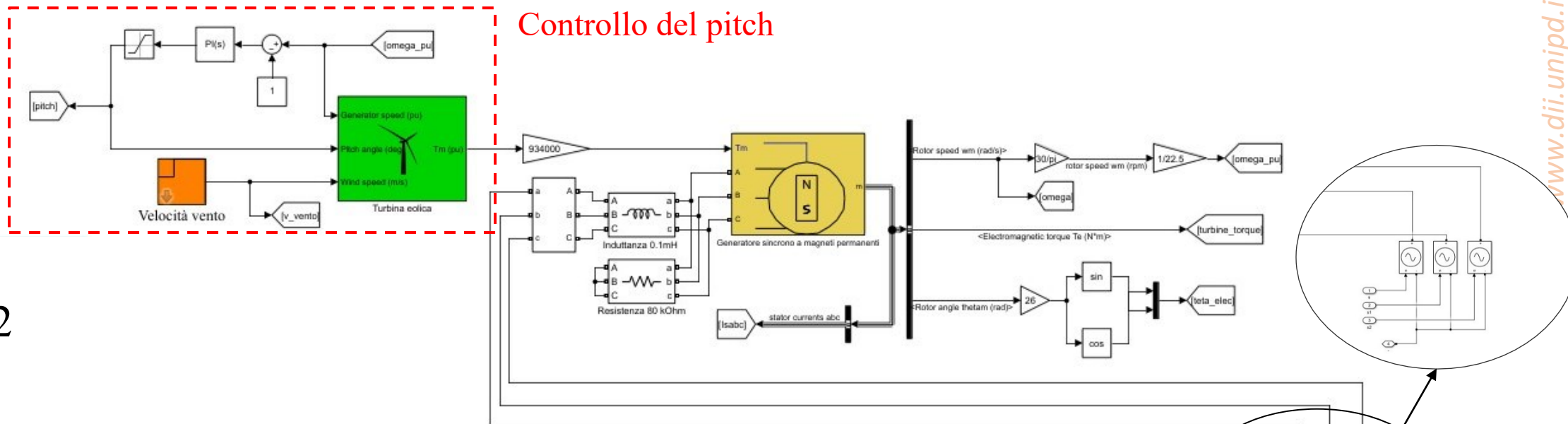


Modello 1

- (A) Controllo del pitch
- (B) Controllo della velocità di rotazione



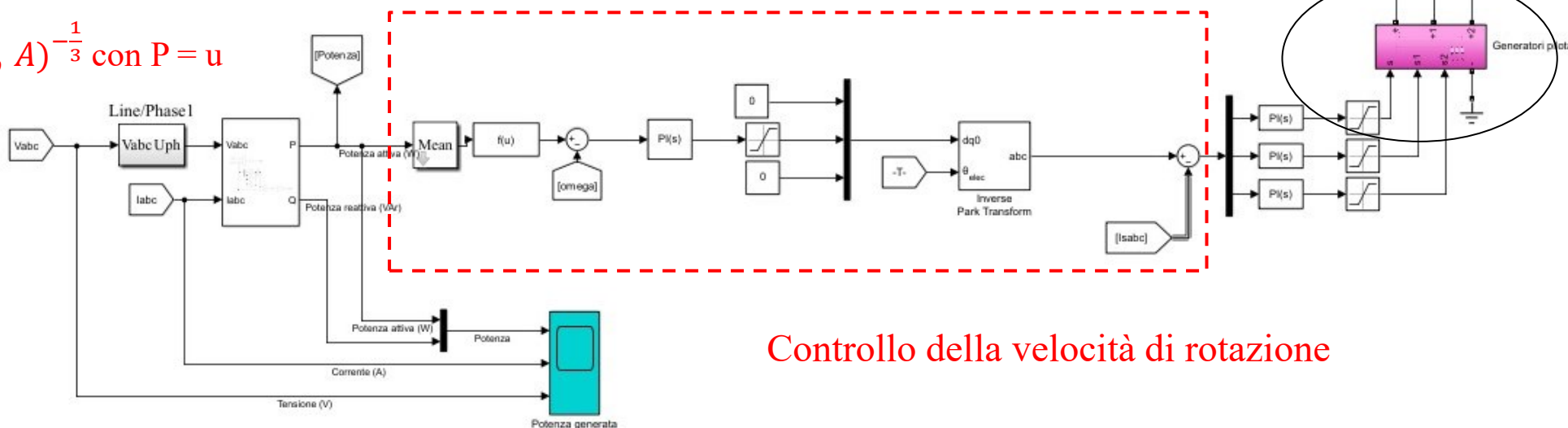
Continuous
powergui



Controllo del pitch

Modello 2

$$f(u): \omega = \frac{\lambda}{R} \sqrt[3]{u} \left(\frac{1}{2} \rho c_p A\right)^{-\frac{1}{3}} \text{ con } P = u$$



Controllo della velocità di rotazione

Dati scelti:

Generatore: - Potenza 2.2 MVA

- numero coppie polari 26

- velocità rotazione nominale 22.5 rpm (2.356 rad/s)

Turbina: - Potenza generata 2 MW

- velocità base del vento 12 m/s

- diametro rotore 110 m

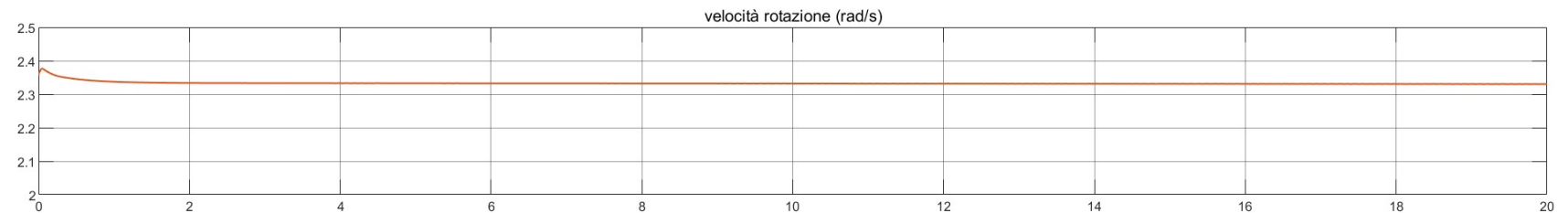
- coppia nominale 934000 Nm

Punti di funzionamento alla potenza massima

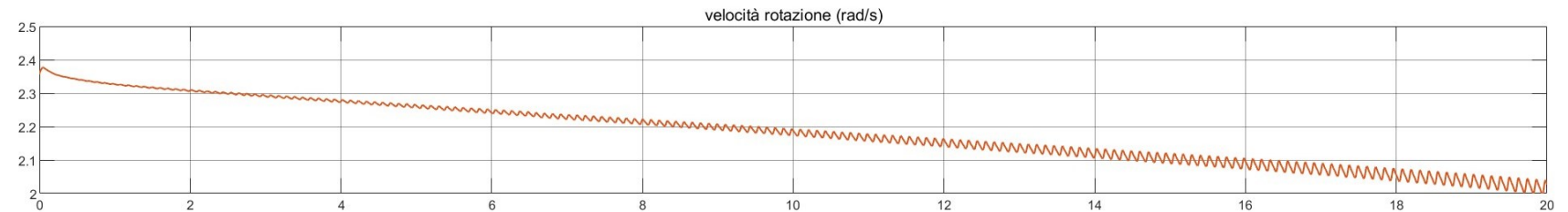
Velocità vento [m/s]	ω [pu]	P_g [pu]
6	0.5	0.125
12	1	1
16	1	1

- Scelta di valori di costante proporzionale (P) ed integrale (I) del blocco di controllo.
- Definizione per tentativi esaminando il transitorio di velocità di rotazione e potenza.
- Anello di velocità più significativo

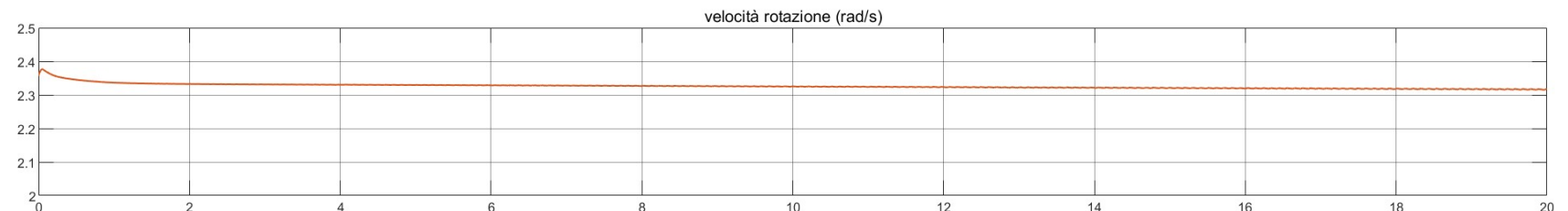
$P = 0,1$ e $I = 9$



$P = 10$ e $I = 9$

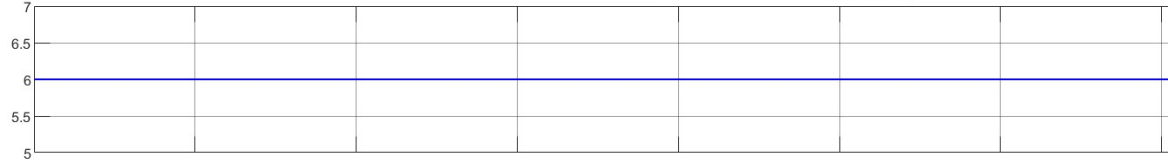


$P = 0,1$ e $I = 50$

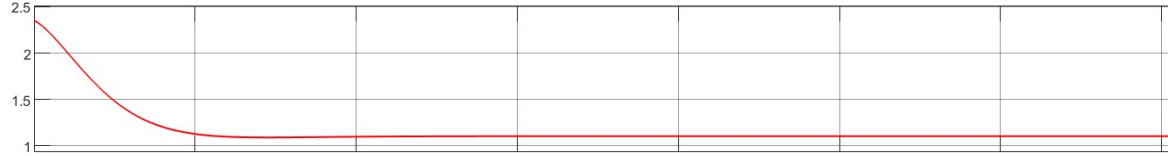


Modello 1

velocità vento (m/s)



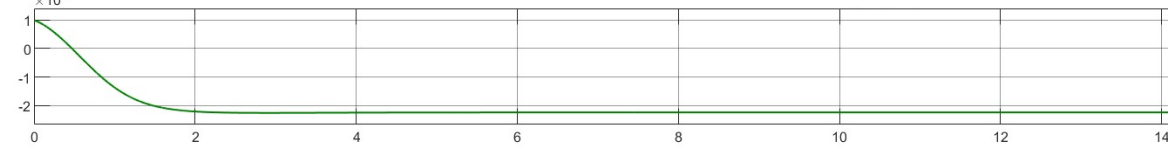
velocità rotazione (rad/s)



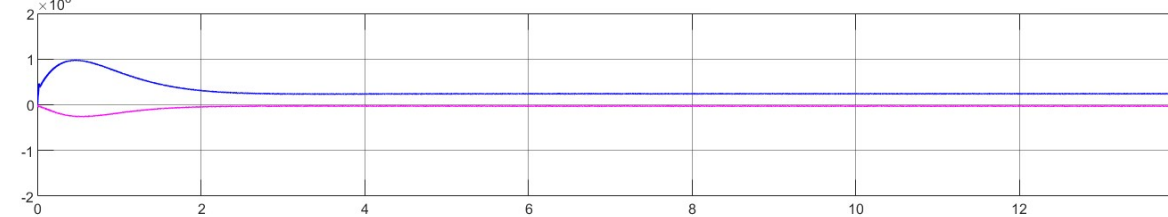
pitch control (°)



coppia elettromagnetica (Nm)

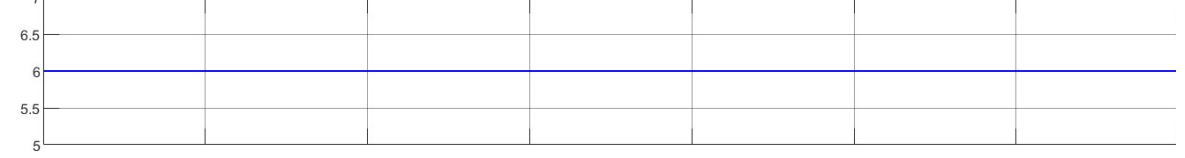


Potenza

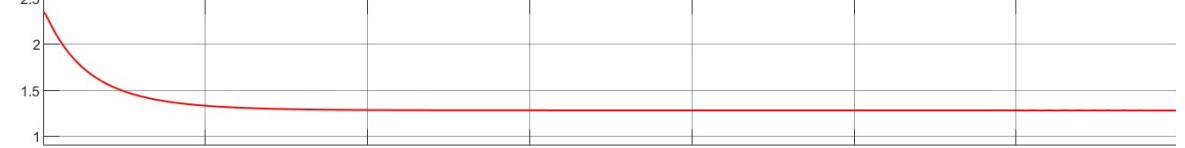


Modello 2

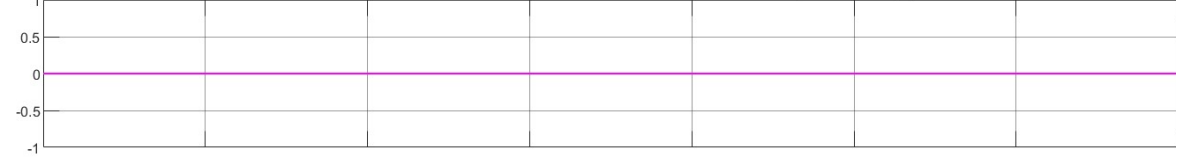
velocità vento (m/s)



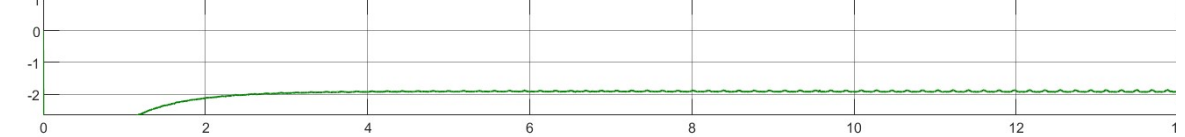
velocità rotazione (rad/s)



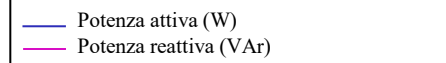
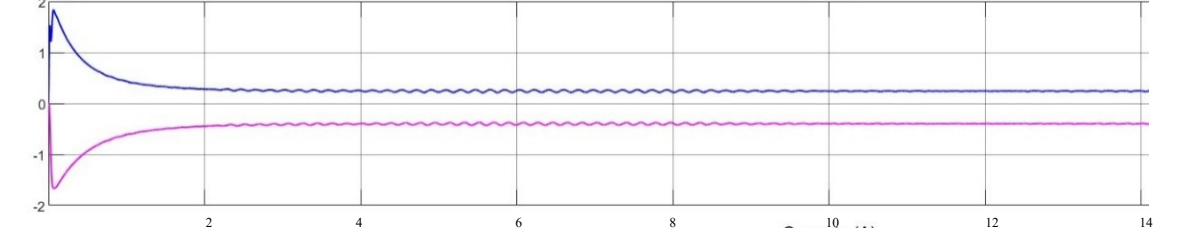
pitch control (°)



coppia elettromagnetica (Nm)



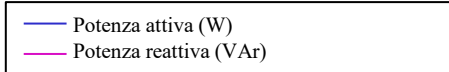
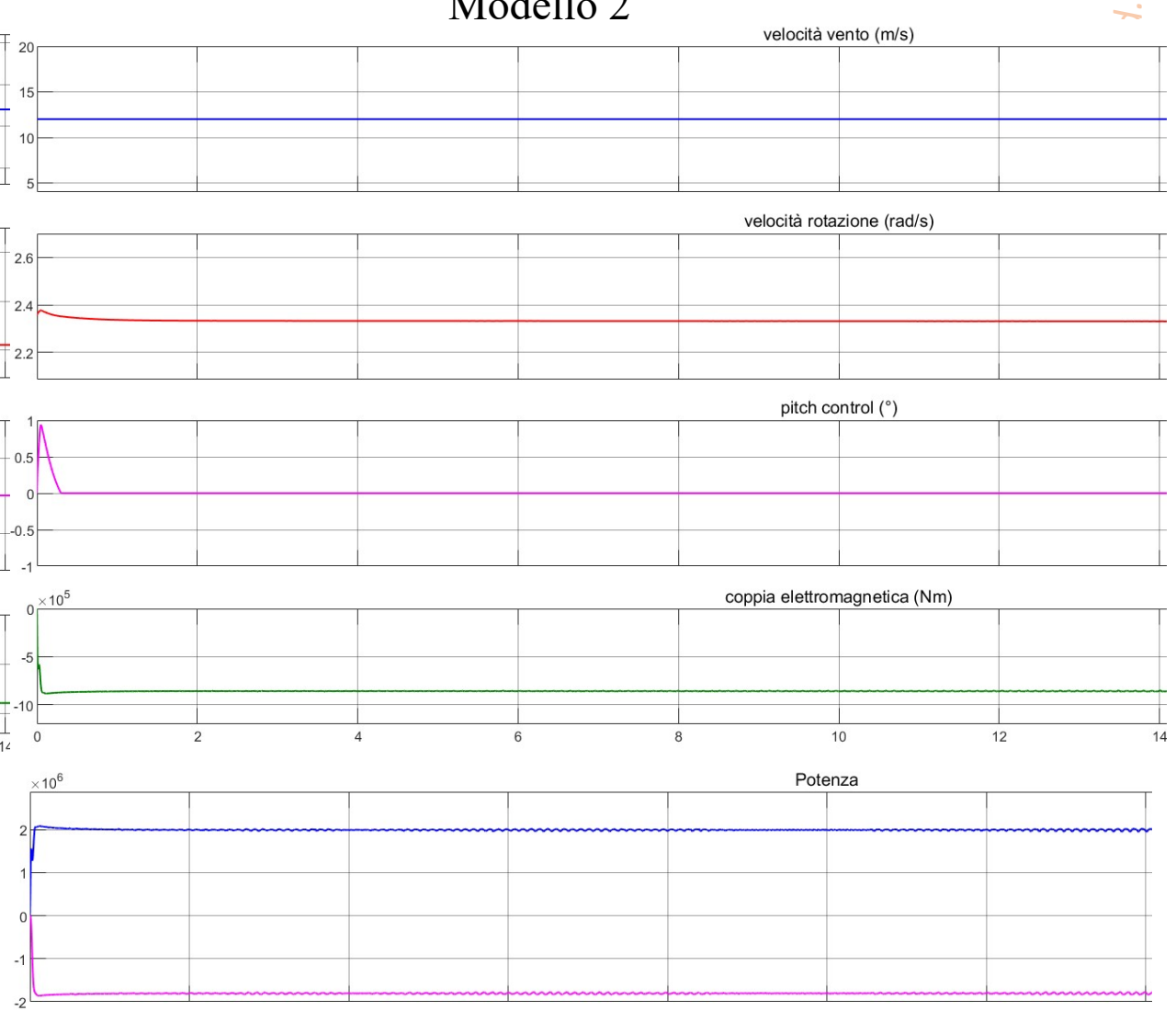
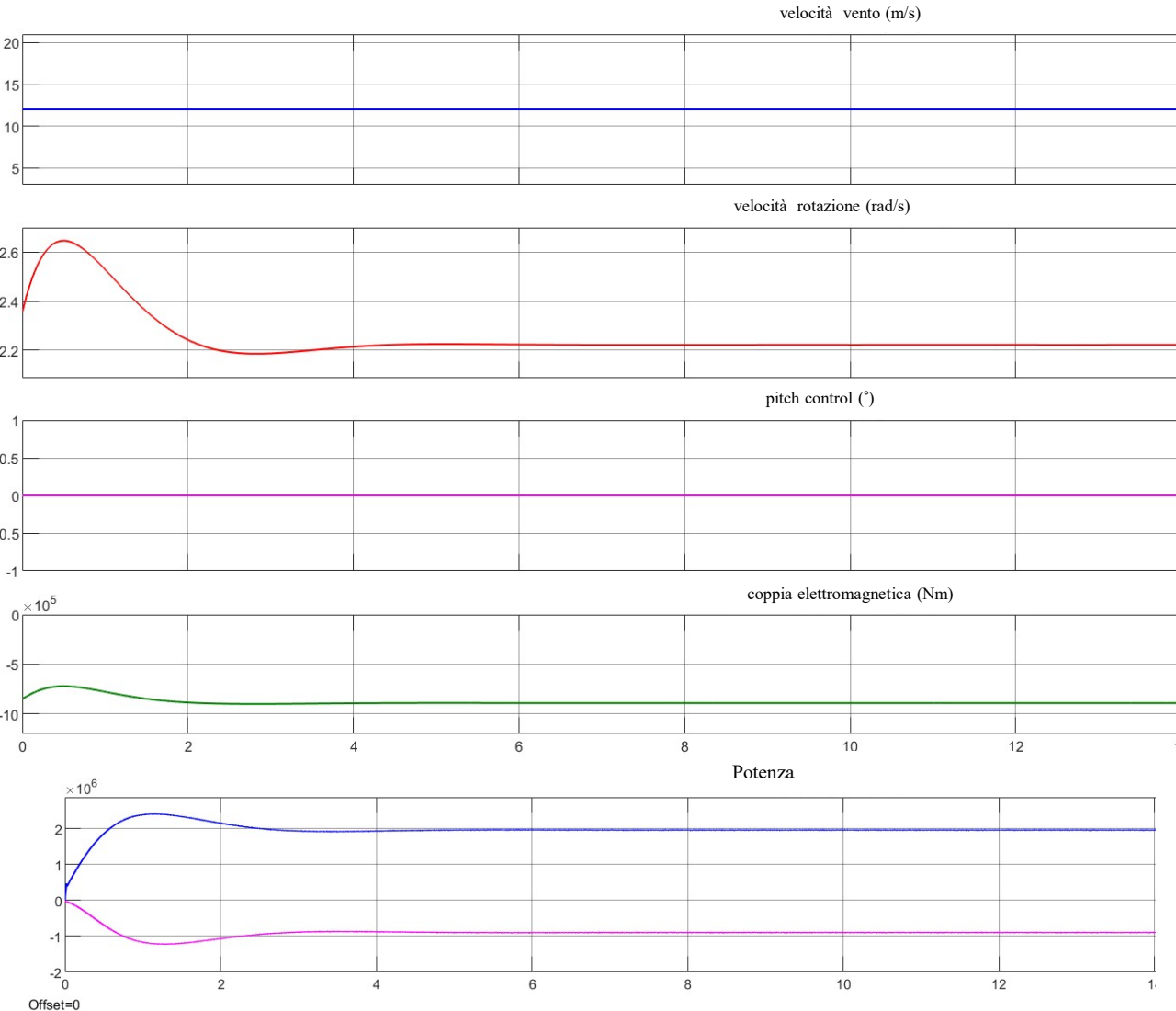
Potenza



Modello 1

Modello 2

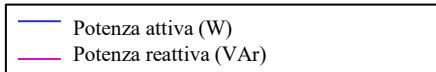
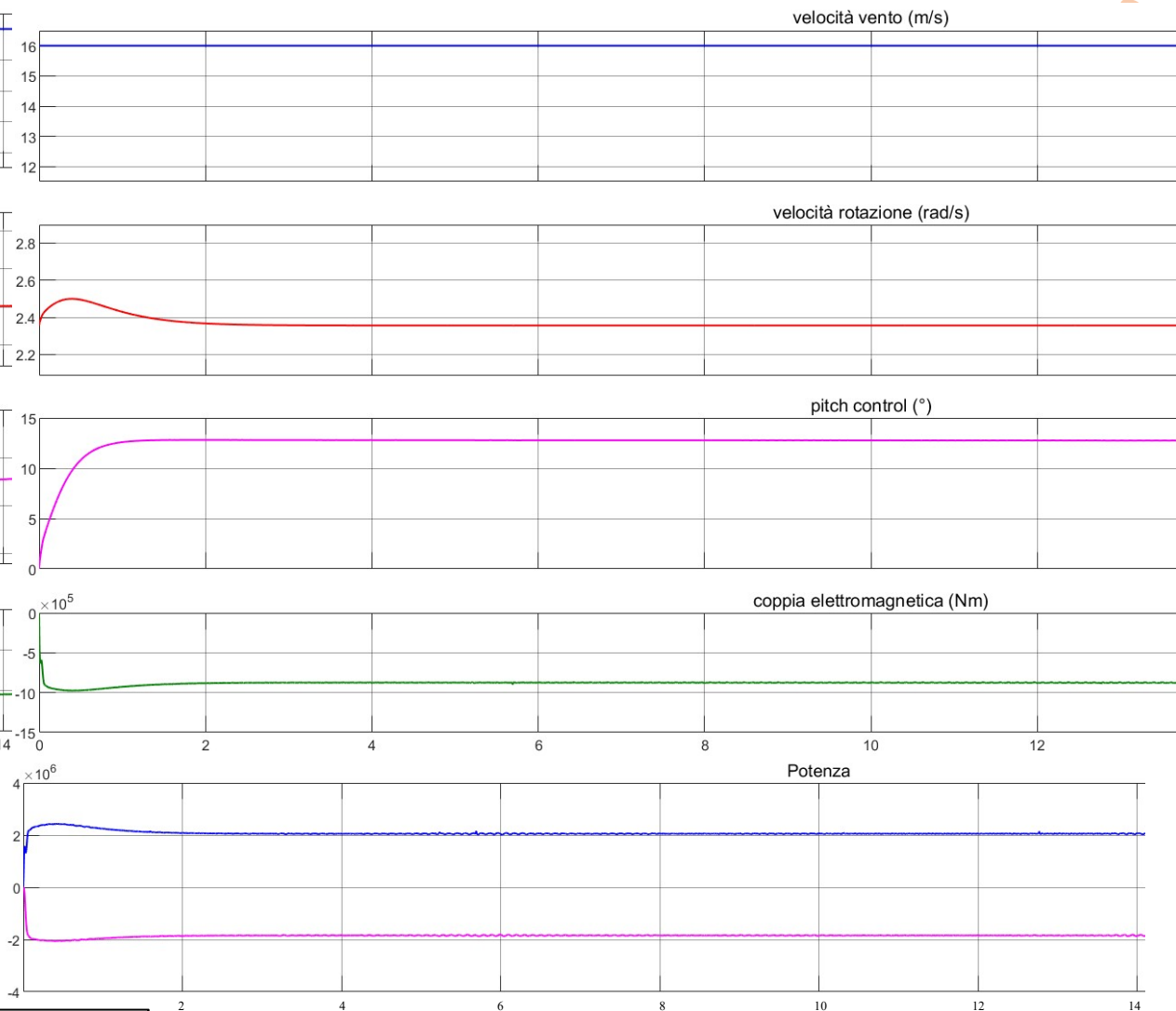
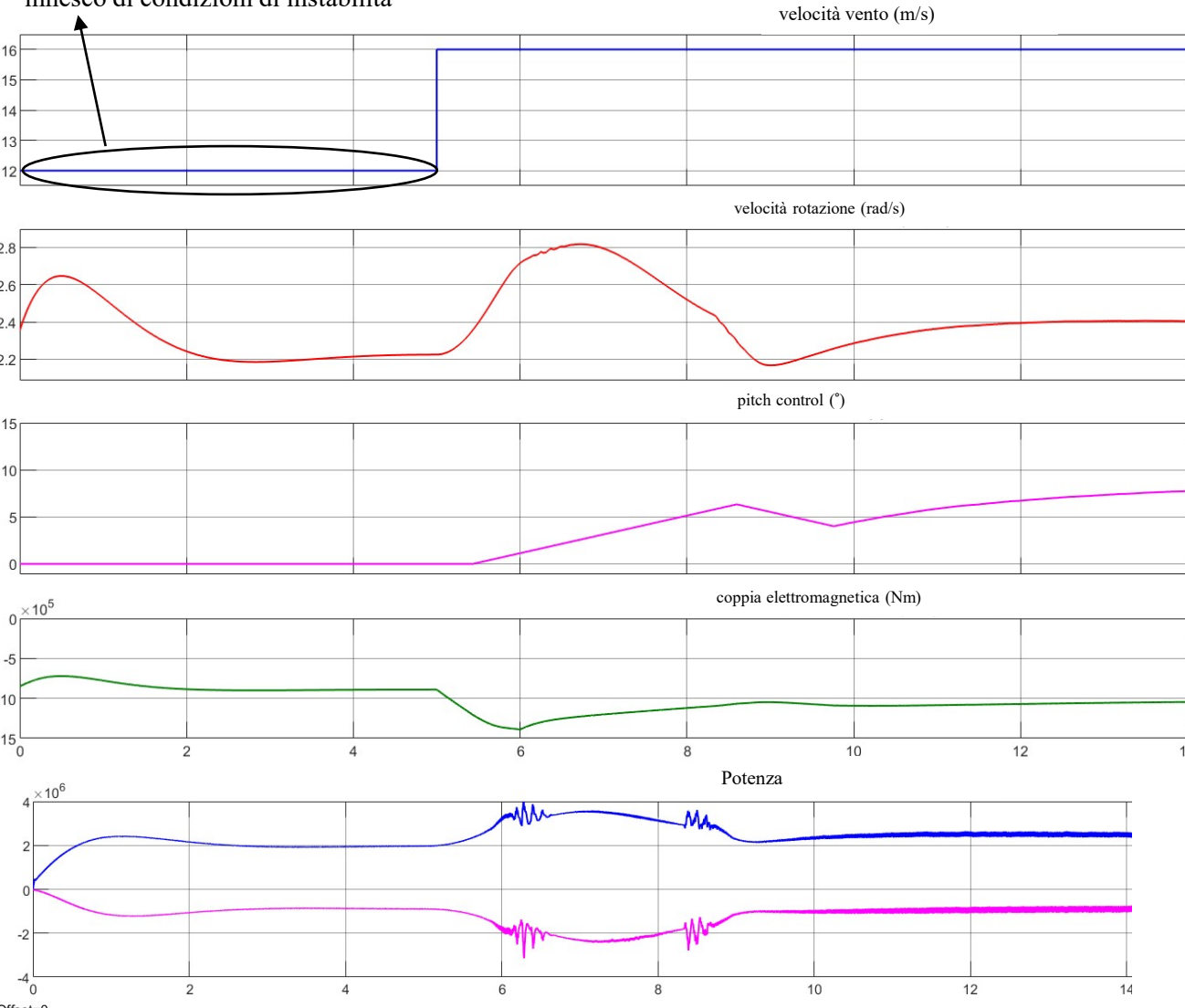
1.it



Condizione iniziale a regime per evitare
innesco di condizioni di instabilità

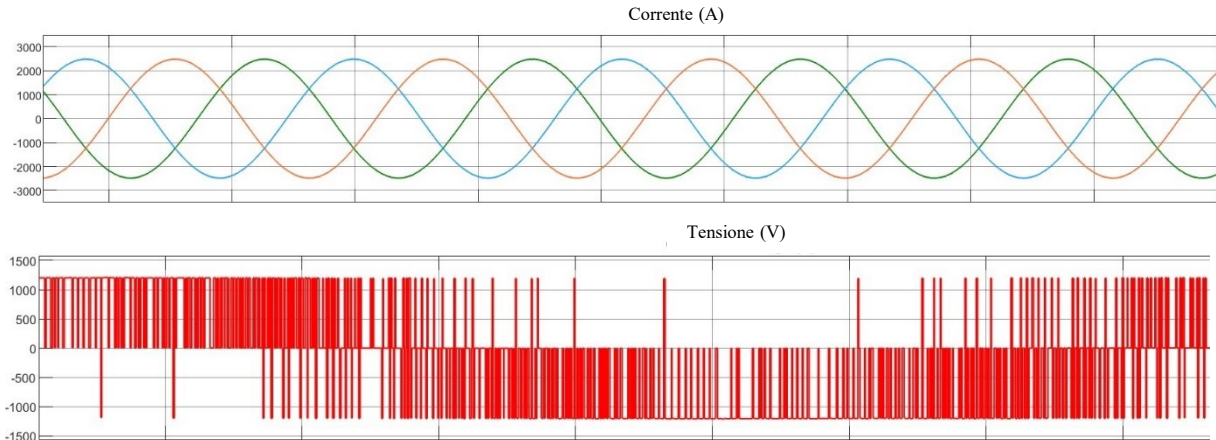
Modello 1

Modello 2

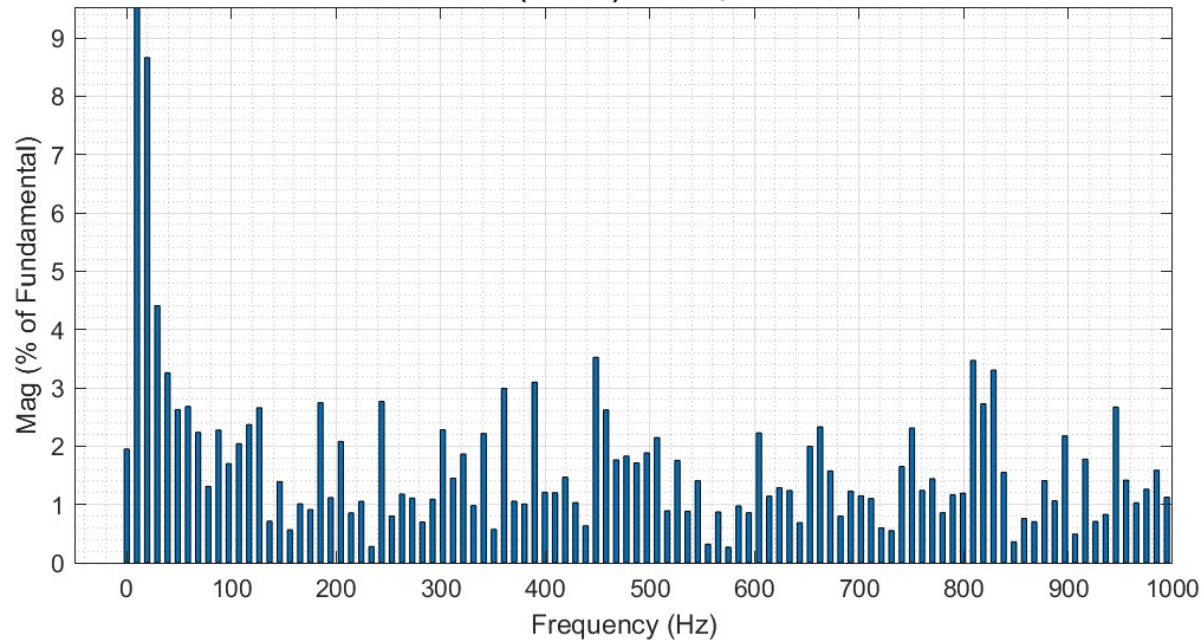


Offset=0

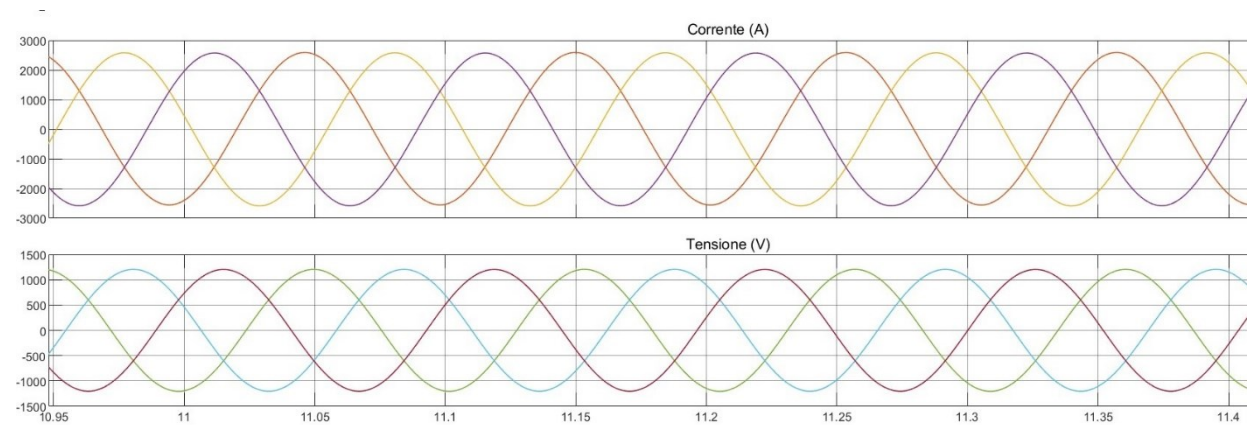
Modello 1



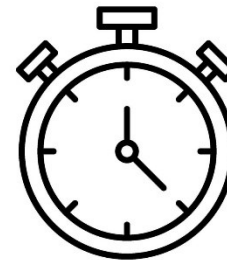
Fundamental (9.75Hz) = 1123 , THD= 49.06%



Modello 2



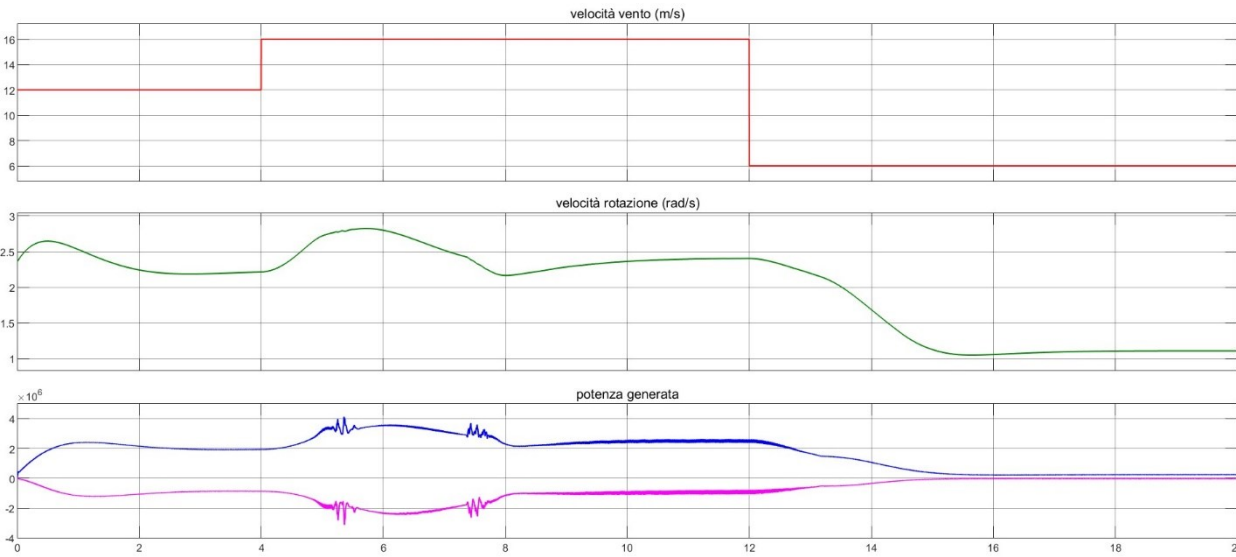
- Analisi FFT applicata al modello 1 per verificare l'effetto della commutazione. Considerato un funzionamento a velocità di rotazione nominale 2,356 rad/s, si ottiene la frequenza di $f = \frac{n p}{60} = 9,75 \text{ Hz}$.
- Verifica del valore massimo della fondamentale 1123 V.



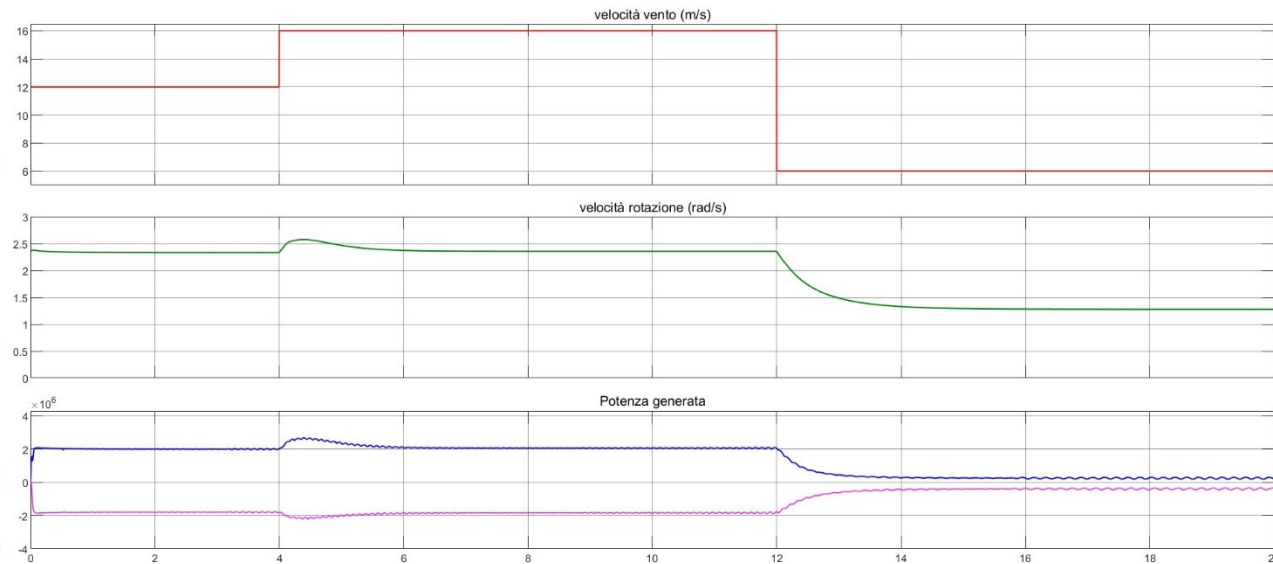
Tempi di calcolo

Modello 1	Modello 2
2'30''	2'13''

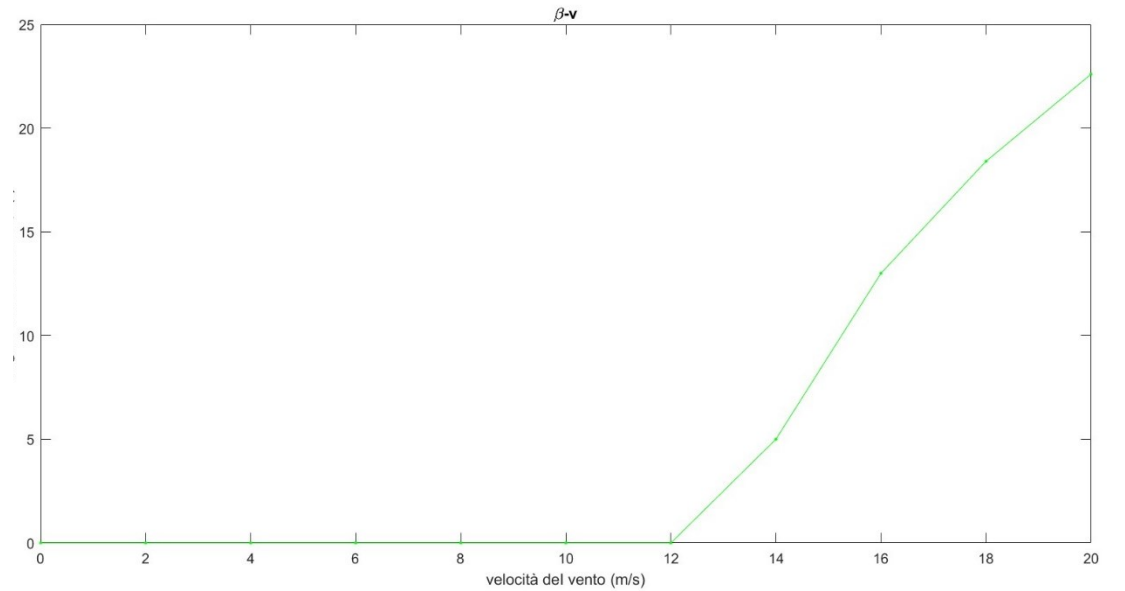
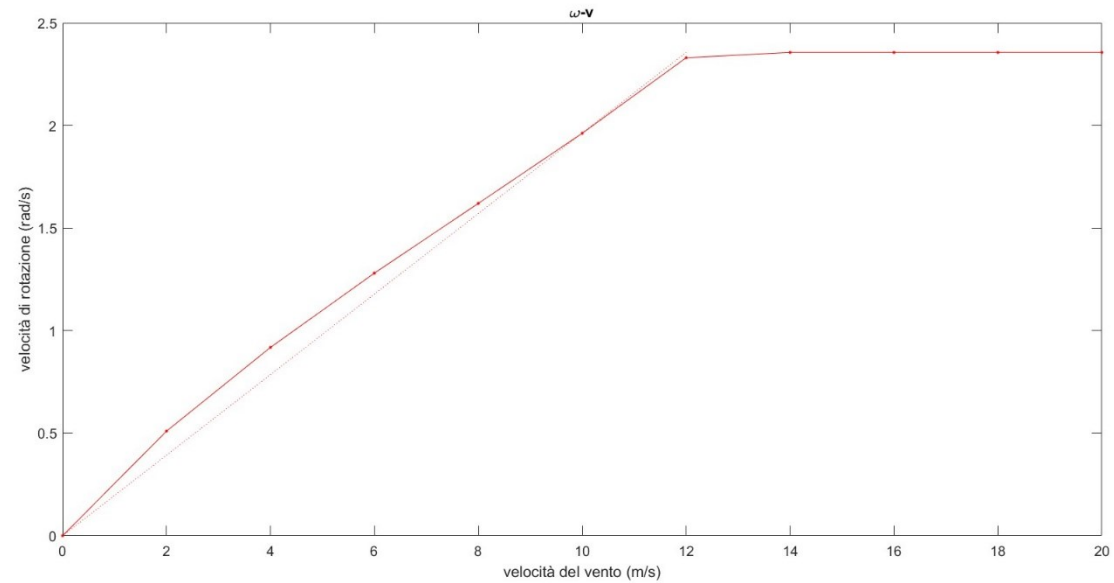
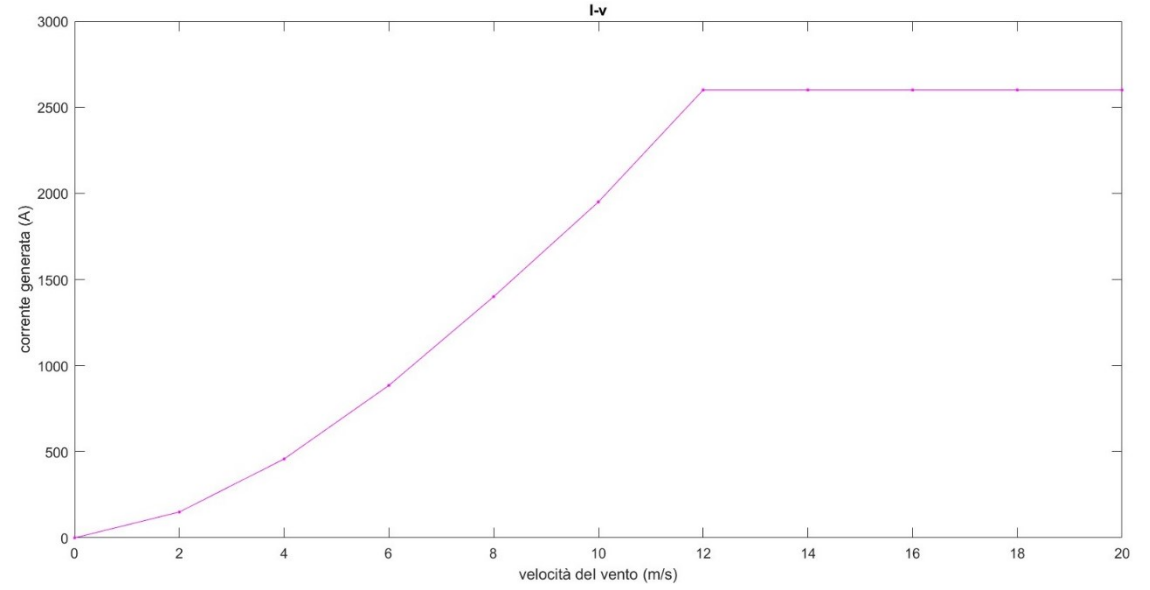
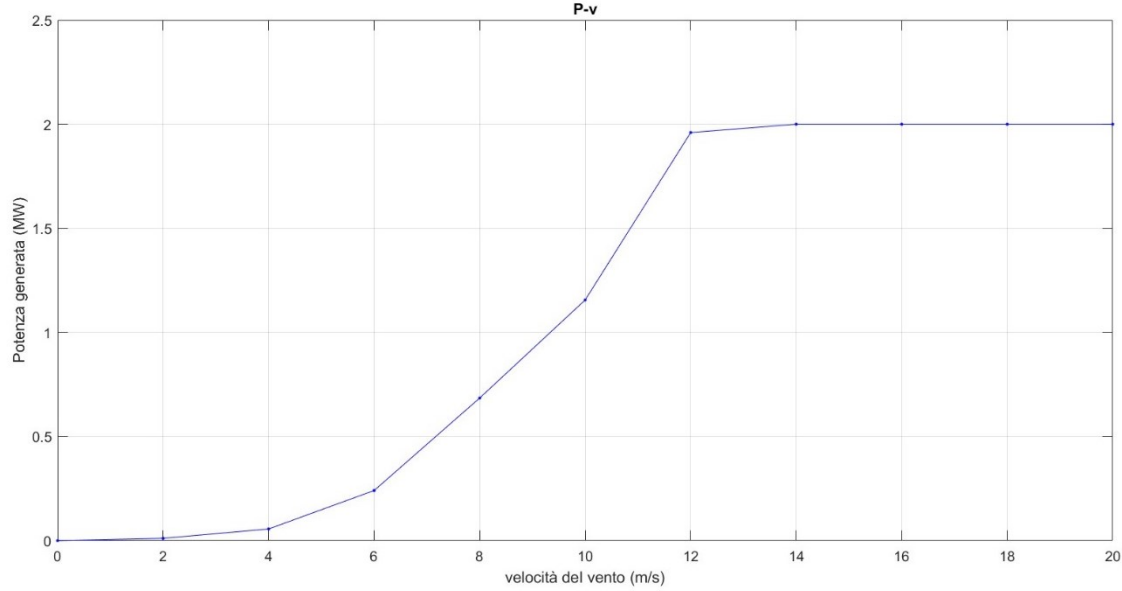
Simulazione a velocità del vento a gradino, con variazione tra 3 valori di velocità costante 12-16-6 m/s.
L'andamento delle grandezze di turbina e generatore sono rispettivamente

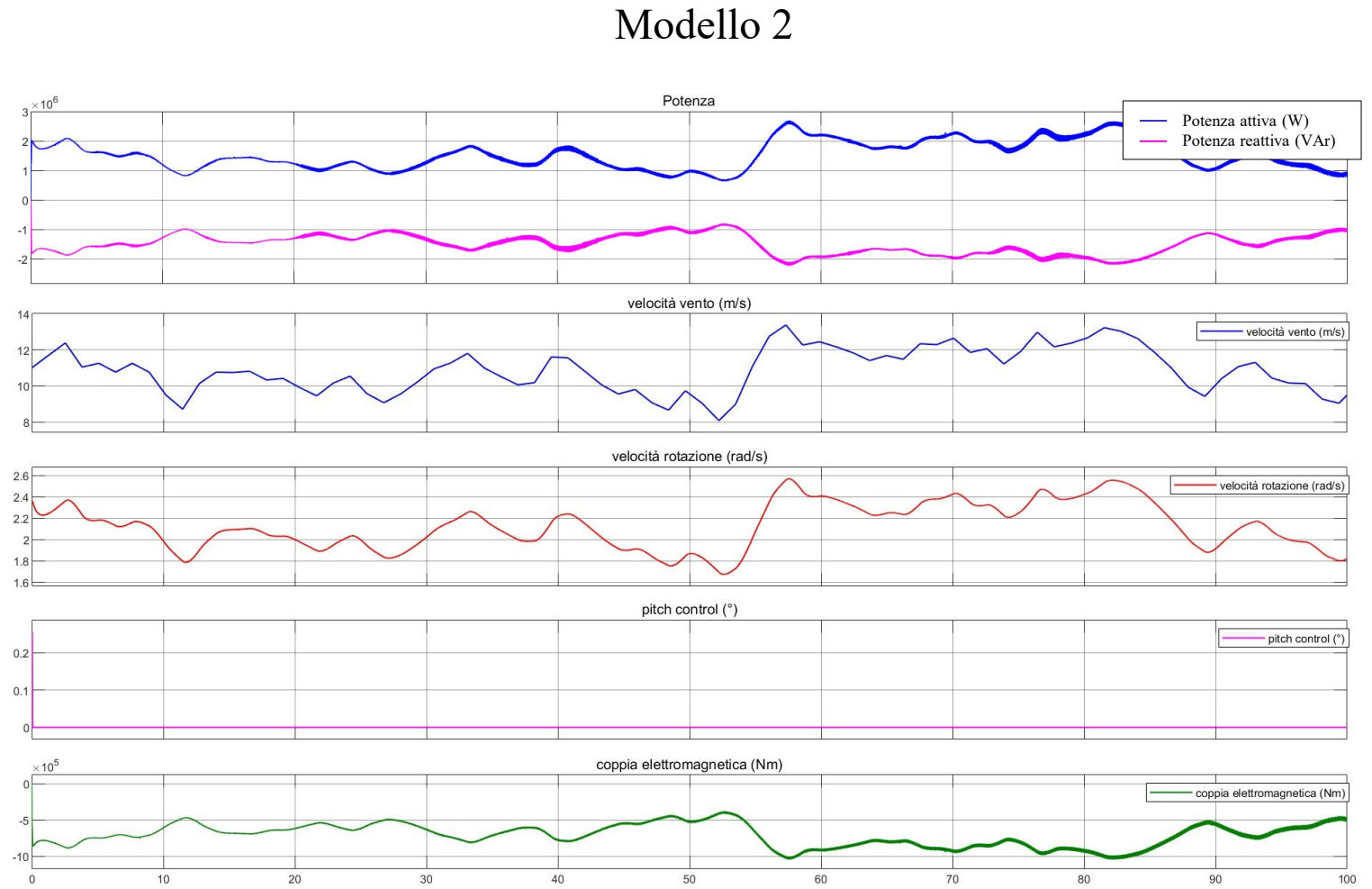
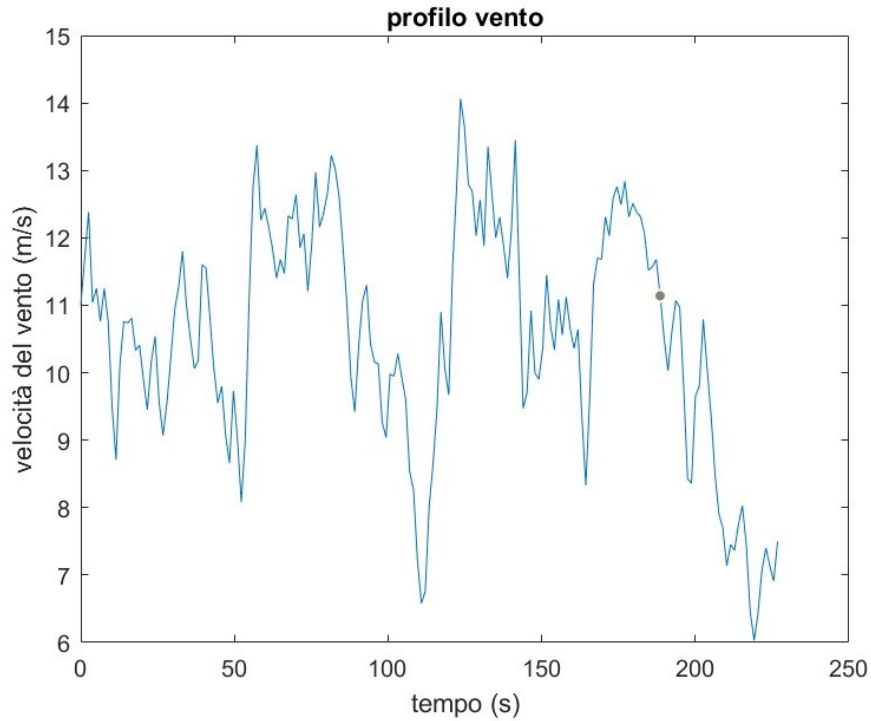


Modello 1



Modello 2





Energia estratta [kWh]	
Modello 1	Modello 2
42,8	43,05

Nel modello 2 non si attiva il pitch control e il comportamento dinamico risulta migliorato.

www.dii.unipd.it

- Messo a punto il sistema di controllo, l'aerogeneratore lavora in MPPT per velocità del vento maggiori e minori del valore nominale
- Dinamica migliore del modello di riferimento
- Analisi più intuitiva che permette analisi più dettagliate
- Si comporta bene pure con turbolenze
- Controllore più preciso, nonostante alcune discrepanze per velocità inferiori al valore nominale