



Programma di valorizzazione dei brevetti “Proof of Concept (Poc) - Build up your tech” (BUYT)

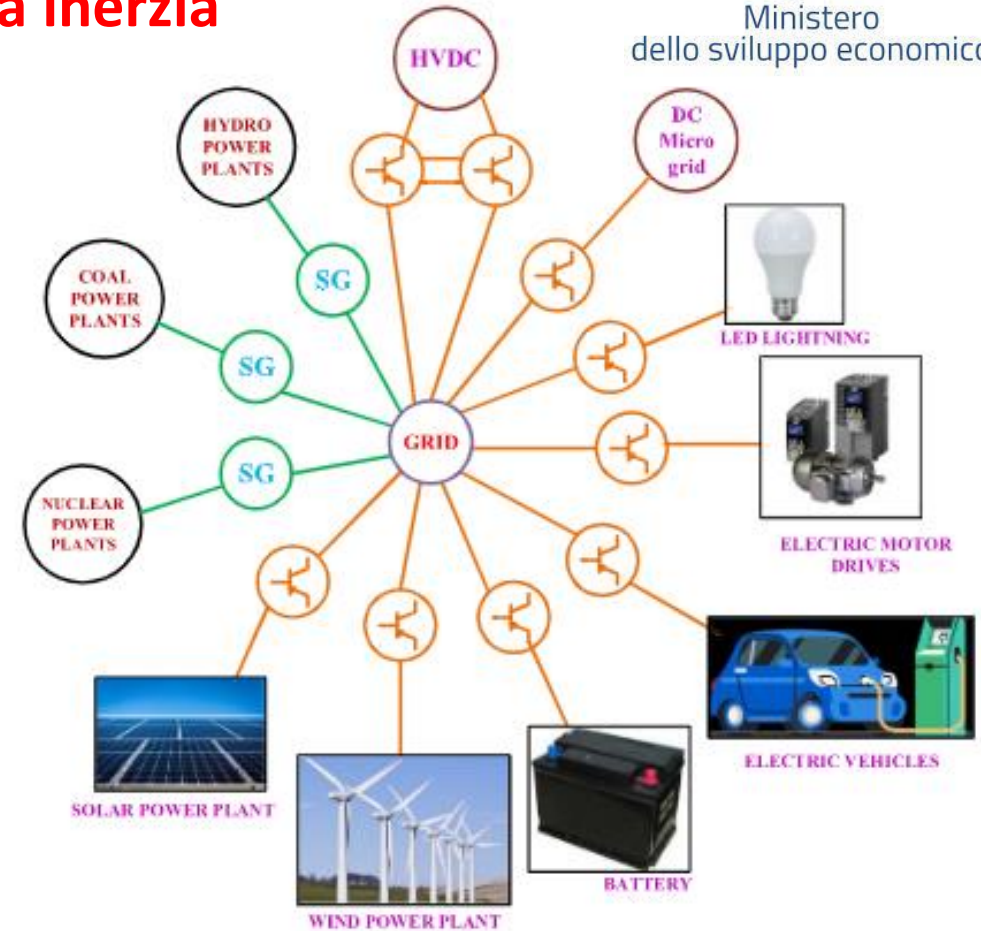
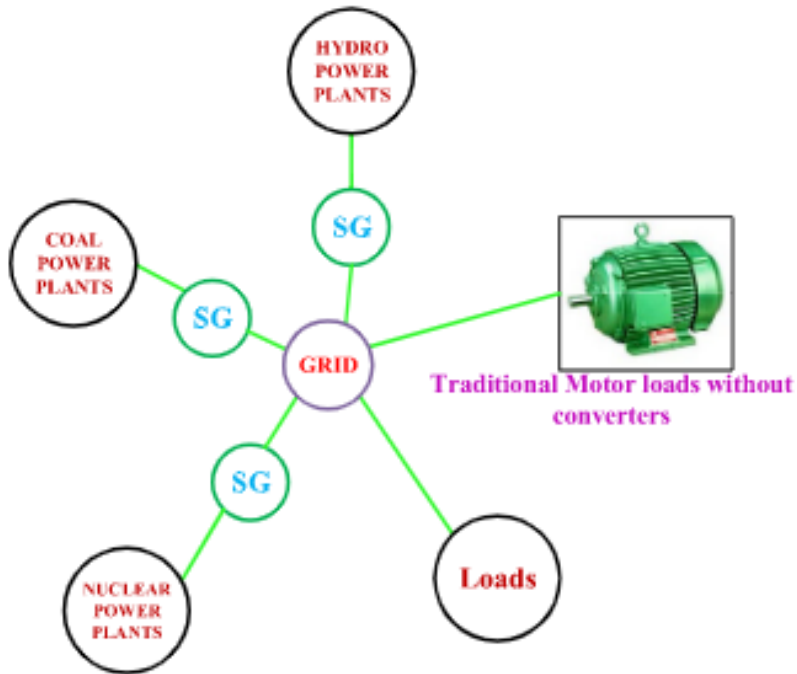
Sviluppo prototipale di controllore ausiliario per supporto di frequenza per generatori eolici non inerziali – SMART WIND

Responsabile: Prof. Andrea Bonfiglio

Team di Progetto: Prof. Ing. Alberto Oliveri
Prof. Ing. Renato Procopio
Dr. Ing. Roberto Aresi
Dr. Ing. Matteo Lodi
Dr. Ing. Alessandro Rosini



Il Sistema elettrico a bassa inerzia

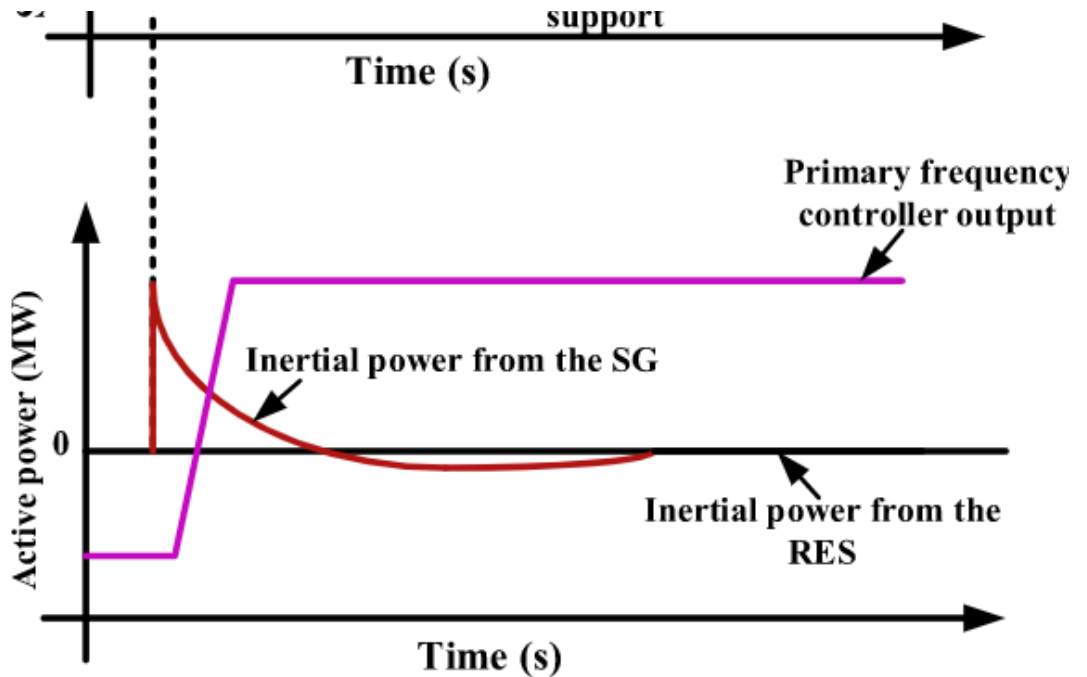
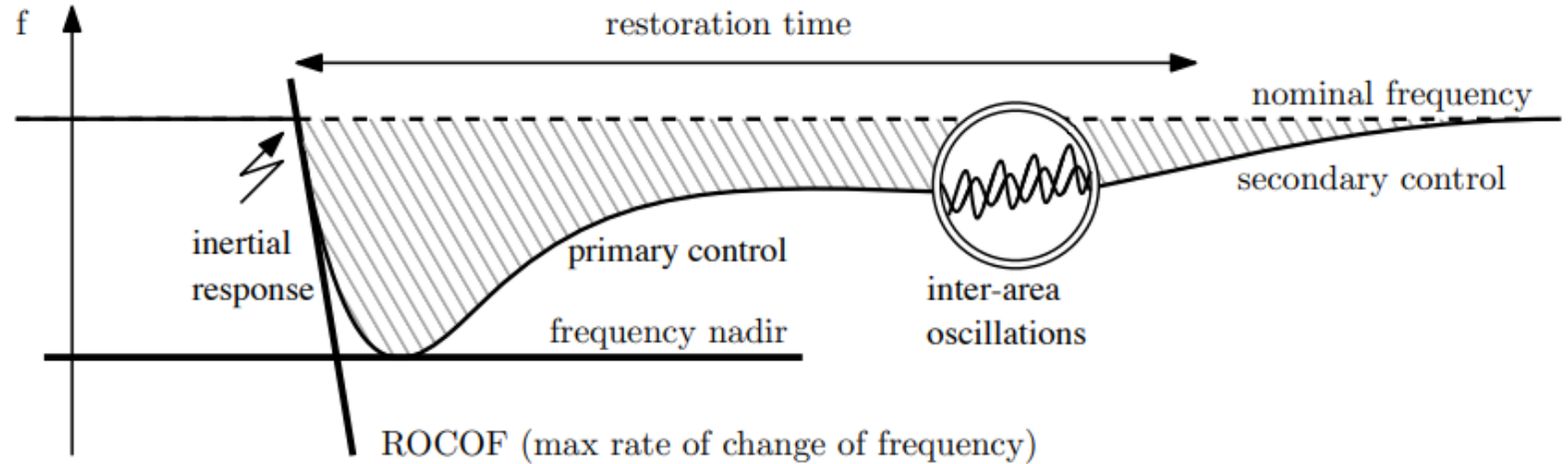
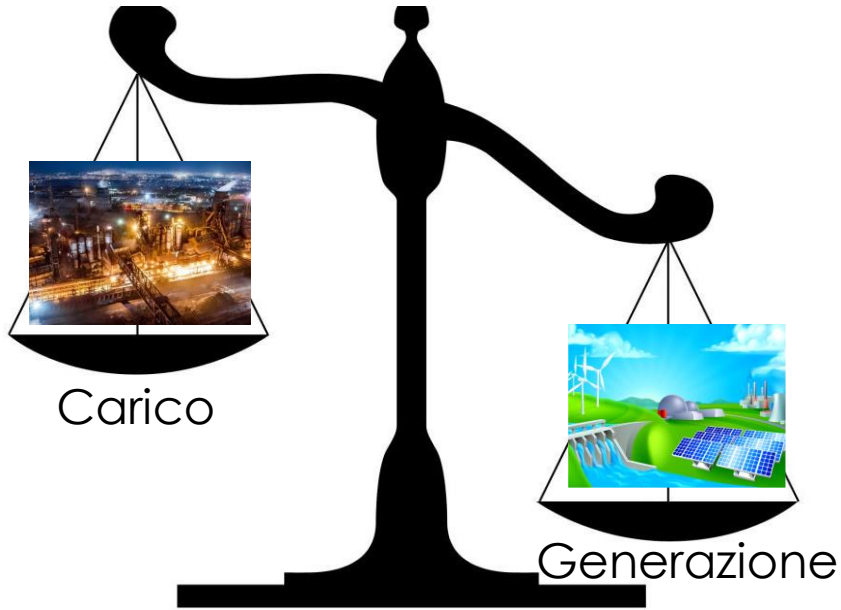


Il sistema elettrico sta transendo rapidamente verso una configurazione caratterizzata da un rilevante presenza di generazione interfacciata alla rete per mezzo di convertitori statici.

Una delle conseguenze di questa transizione è la riduzione dell'inerzia connessa al sistema elettrico, un fenomeno che porta con sé difficoltà nella gestione e nel corretto esercizio del sistema elettrico.

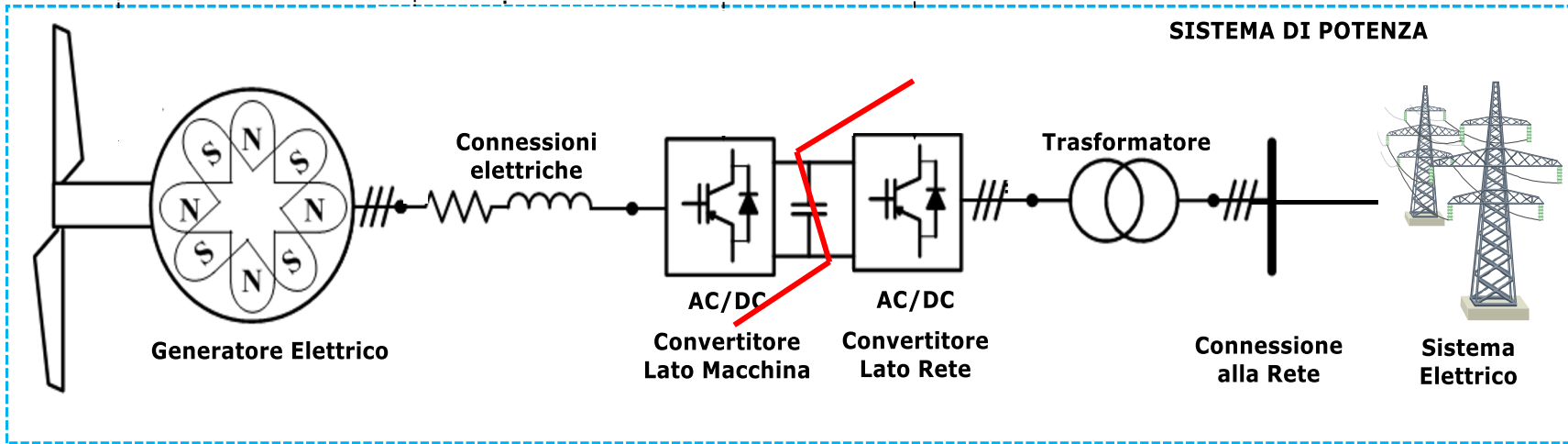


Il Sistema elettrico a bassa inerzia



$$\Delta P = M_T \frac{df}{dt} (0^+) \quad RoCoF (0^+) = -\frac{\Delta P}{M_T}$$

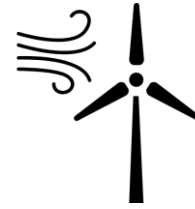
Il Sistema elettrico a bassa inerzia



Aerogeneratore opera a velocità variabile per ottenere il massimo sfruttamento della potenza fornita dal vento.

Una delle configurazioni più diffuse per ottenere questo obiettivo è quella Full-Converter, costituita da due convertitori collegati in configurazione Back-to-Back per disaccoppiare la frequenza del lato macchina da quella del lato rete.

Nonostante le turbine eoliche siano caratterizzate da un generatore rotante con inerzia rilevante, viste le dimensioni del rotore, l'interfacciamento con la rete rende questa parte insensibile ai transitori di frequenza.

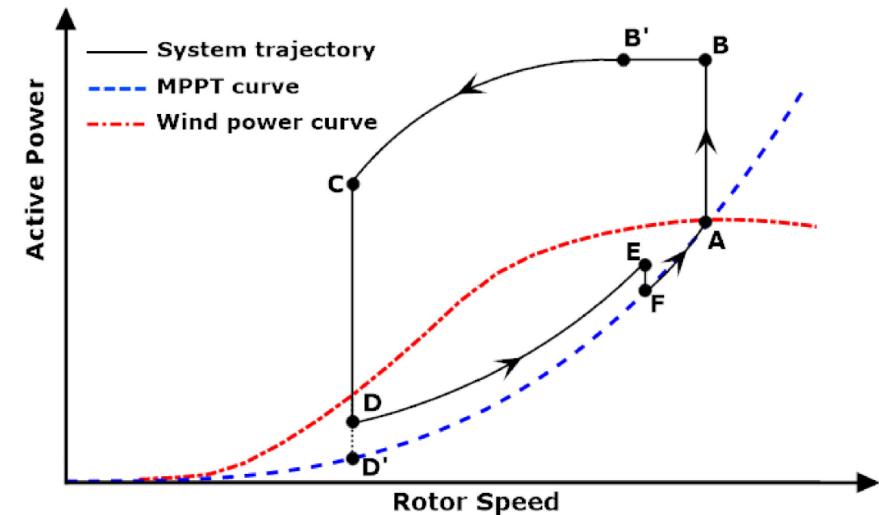


La tecnologia affronta il problema di rendere i generatori eolici (o aerogeneratori) capaci di supportare il sistema elettrico mediante emulazione di inerzia in modo efficace ed ottimizzato.

La tecnologia SMART WIND implementa una versione migliorata del tradizionale controllo per l'emulazione di inerzia prendendo in considerazione i seguenti aspetti:

- (i) proteggere l'aerogeneratore da disconnessioni indesiderate per stallo di velocità;
- (ii) gestire la fase del recupero di velocità una volta terminata l'azione di supporti;
- (iii) definire una logica di gestione delle fasi di supporto e recupero di velocità.

Brevetto di riferimento: <https://unige.it/sites/contenuti.unige.it/files/documents/generatori%20eolici%20140.pdf>

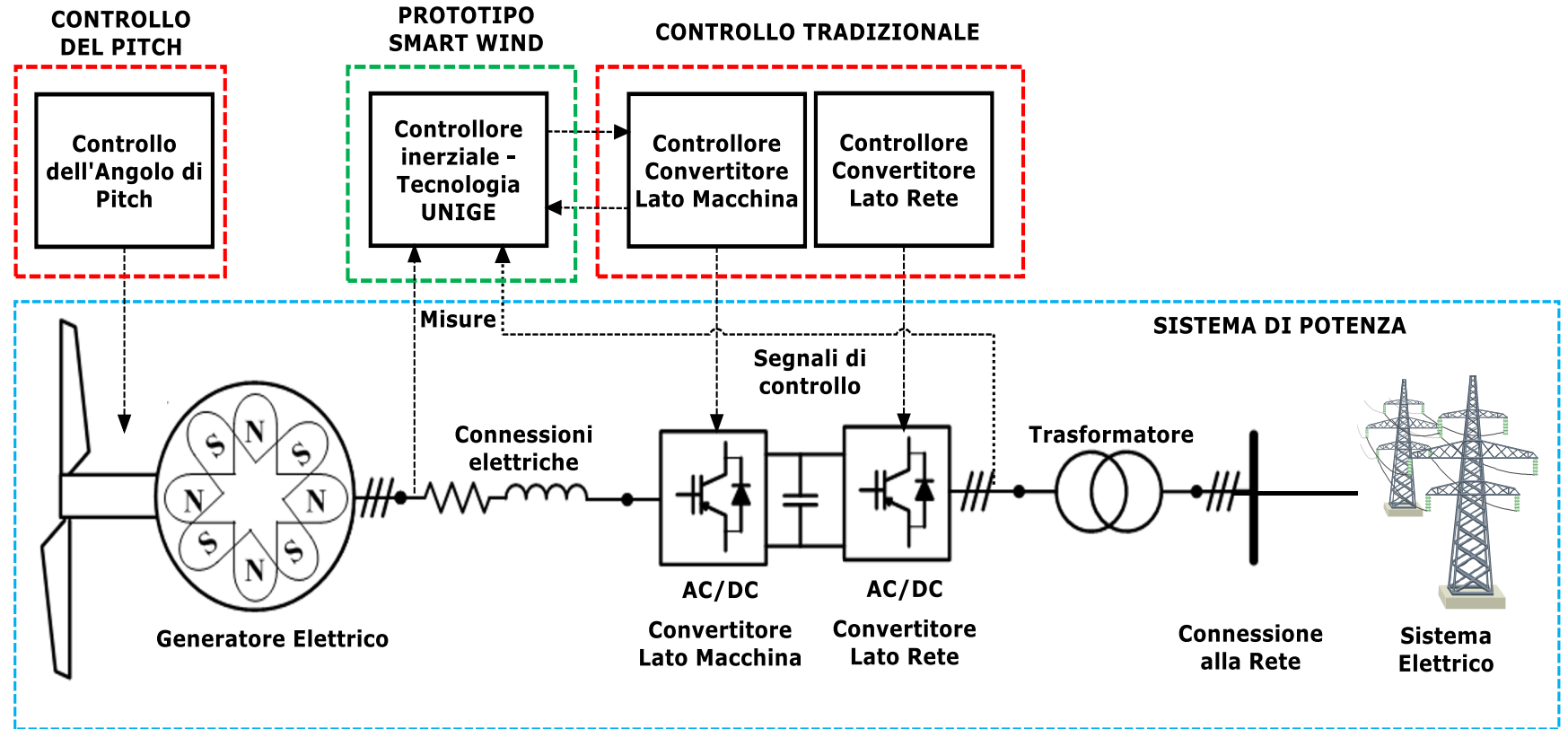




La Tecnologia SMART WIND: cos'è?

Il controllore SMART WIND interagisce con il sistema di controllo dell'aerogeneratore e riceve misure dal campo.

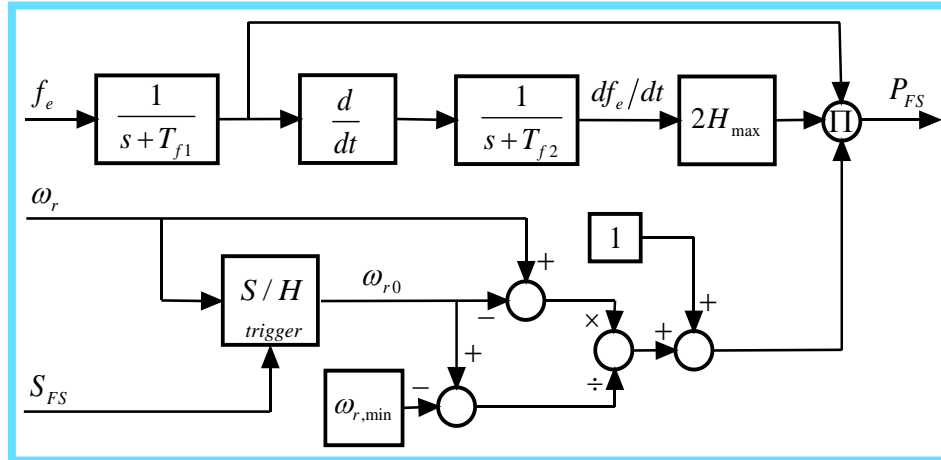
I controllori esistenti sulla torre eolica non hanno alcuna necessità di essere modificati per interfacciarsi con il controllore SMART WIND



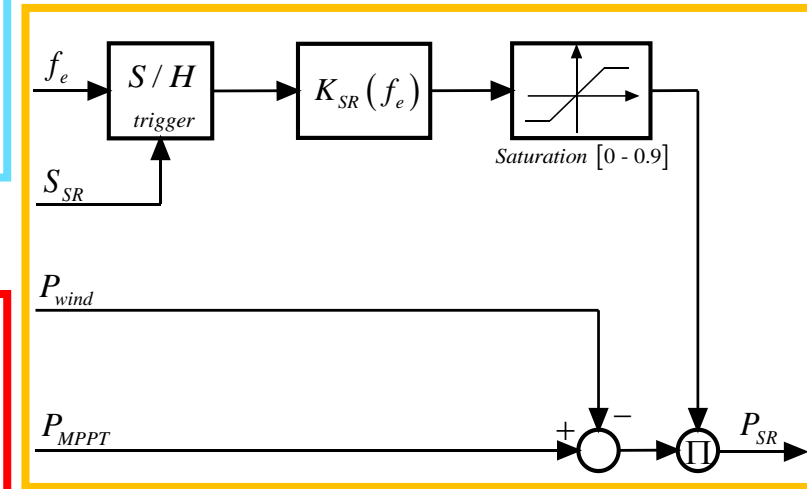


La Tecnologia SMART WIND: cos'è?

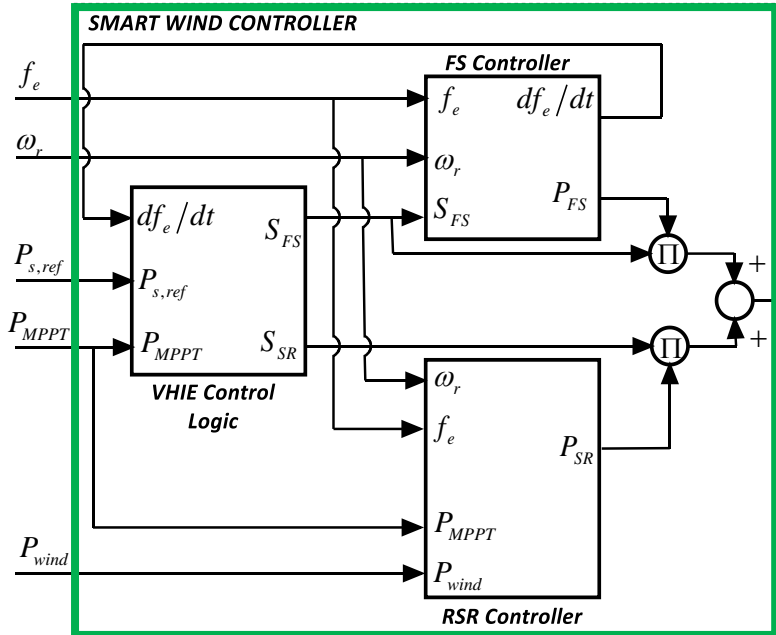
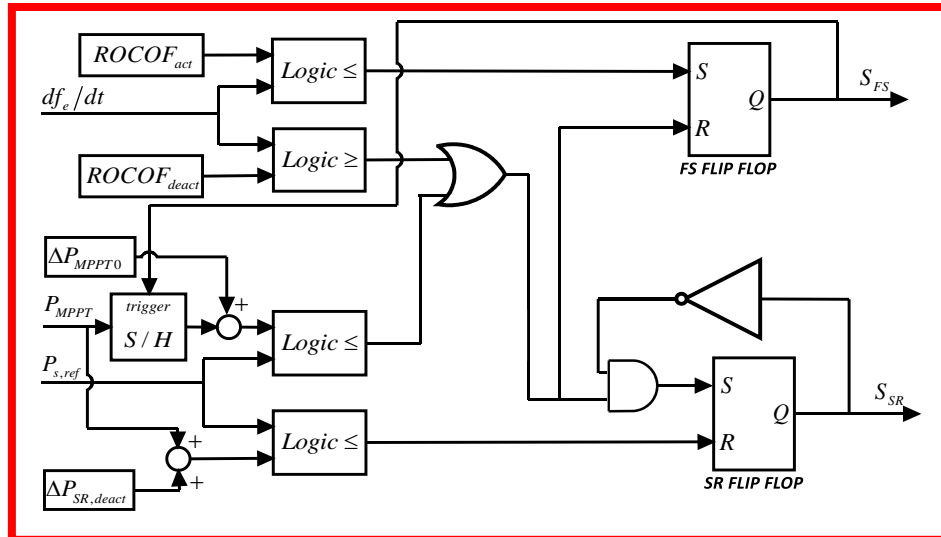
Supporto di frequenza



Recupero di velocità

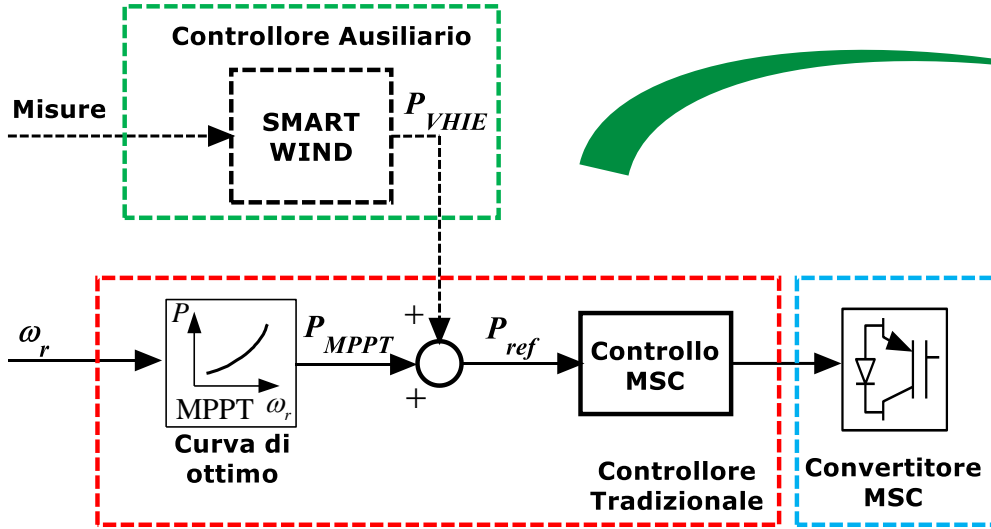


Logica di gestione





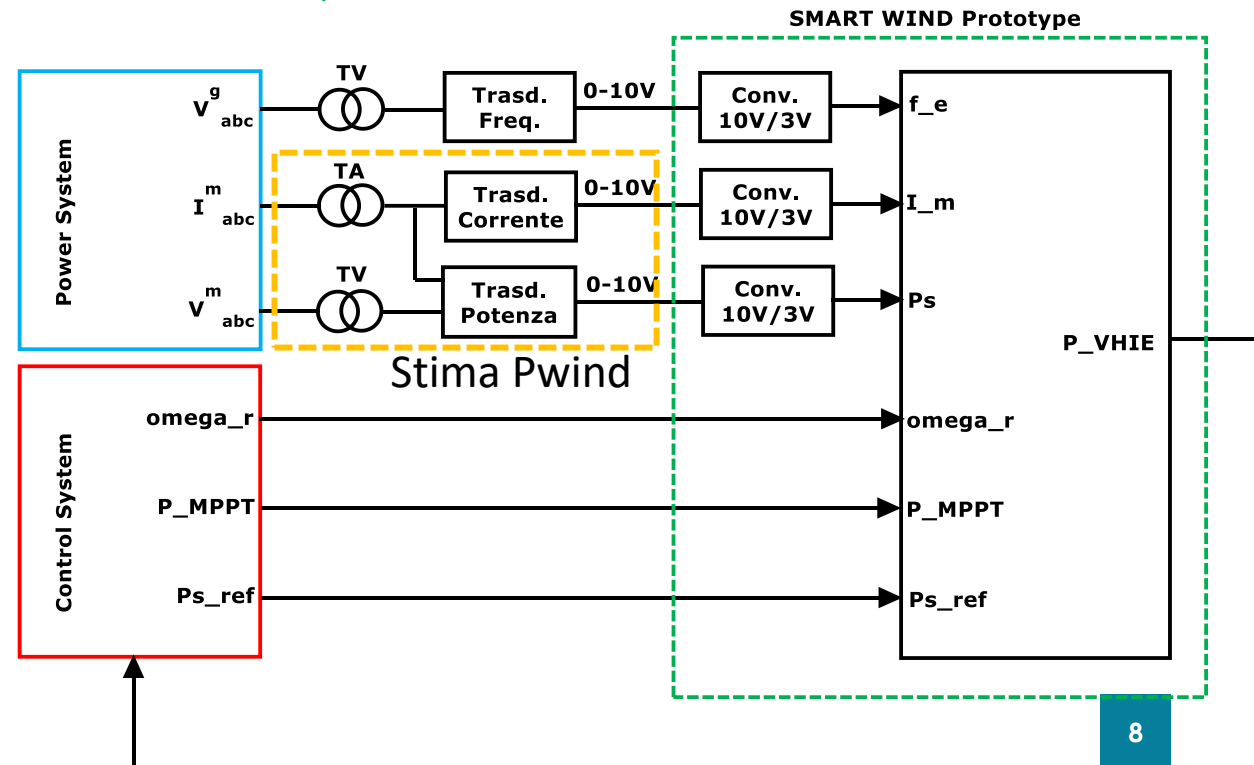
Ingegnerizzazione della tecnologia



Il prototipo (nel riquadro verde tratteggiato) riceve misure provenienti sia dalla componentistica di potenza del generatore eolico (riquadro azzurro), per mezzo di dispositivi di misura industriali, sia dal sistema di controllo dell'aerogeneratore (riquadro rosso a destra).

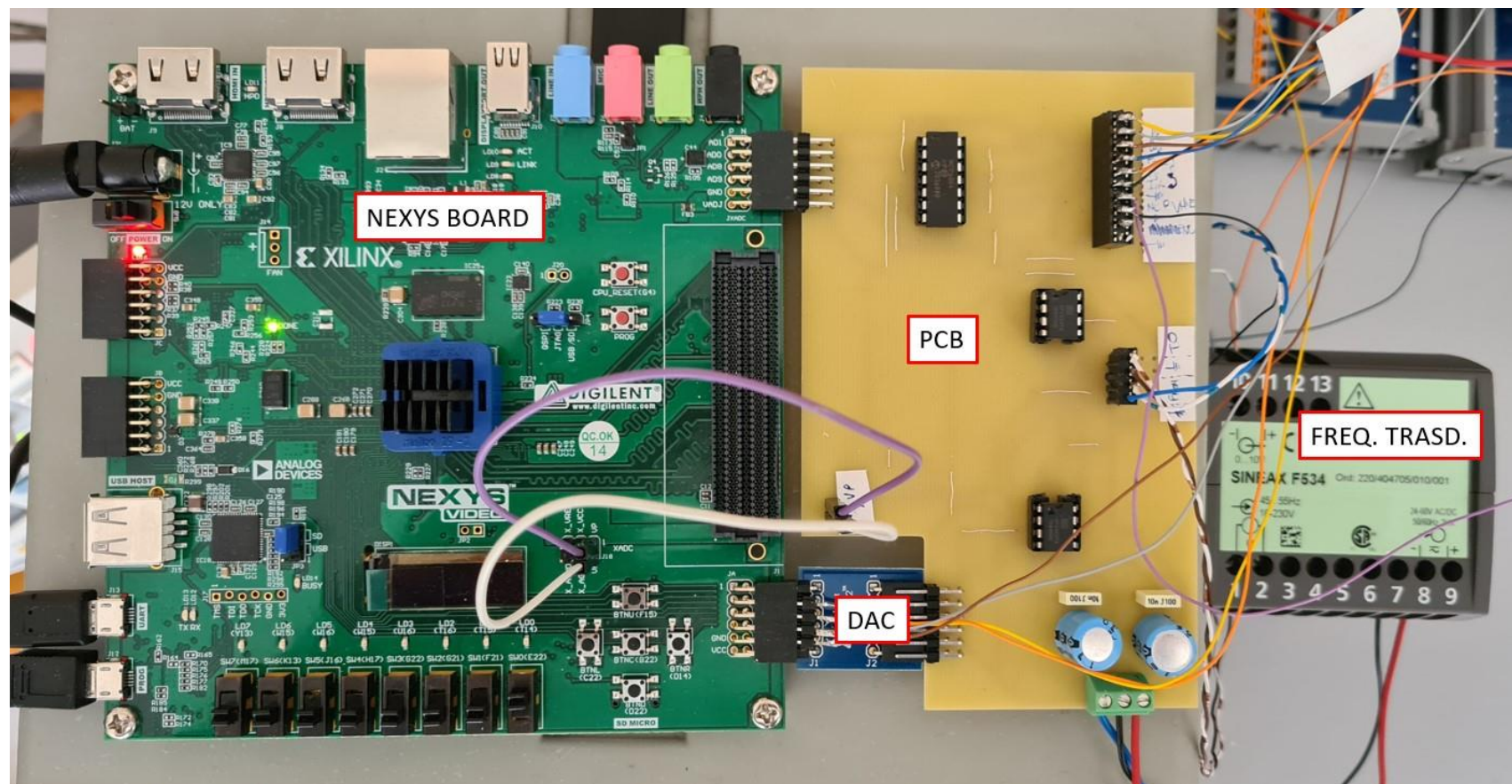
I segnali di interfaccia con il prototipo sono di tipo analogico nel range 0-10V.

Il controllo ha un tempo di ciclo pari a **10 ms** e si interfaccia con il sistema di controllo primario dell'aerogeneratore.



Il prototipo è costituito da tre parti fondamentali:

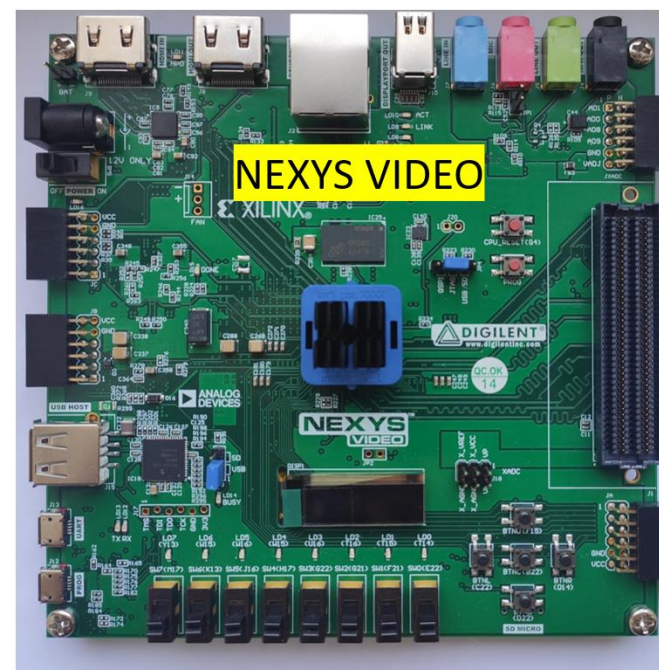
1. La scheda di controllo
2. Il sensore di frequenza
3. Il circuito di interfacciamento



Il circuito che realizza il controllore ausiliario è stato programmato sull'FPGA Artix-7, installata sulla scheda di sviluppo Nexys Video.

L'FPGA contiene al suo interno un ADC a 12 bit con 16 canali di cui solo 5 sono fisicamente collegati ai connettori PMOD, mentre tutti gli altri sono accessibili tramite il connettore FMC LPC da 160 pin visibile sul lato destro della scheda. Il DAC si trova invece in una scheda separata (Digilent PmodDA2), collegata alla scheda Nexys tramite un connettore PMOD. Si tratta di un DAC a 12 bit, la cui uscita analogica è compresa in un intervallo [0V 3.3V].

Inoltre è stato progettato un PCB dedicato, per interfacciare in maniera semplice la scheda Nexys, il trasduttore e Speedgoat e per effettuare tutti gli scalamenti necessari per riportare i segnali nel range di tensione opportuno.



Il sensore di frequenza

Il sensore di frequenza utilizzato è un SINEAX F534 della GMC Instruments.

È stata scelta una versione del sensore a elevata velocità di risposta (**40 ms**) alimentazione indipendente in corrente continua e segnale di uscita analogico nel range 0-10V.

Il segnale di frequenza, dopo essere opportunamente filtrato viene passato alla scheda FPGA che implementa un derivatore robusto con filtraggio FIR.

I parametri di questo derivatore sono stati determinati al fine di ottenere una misura della derivata di frequenza sufficientemente accurata e robusta al rumore di misura.



Measured variable	Nominal input voltage	Measuring range limits
Frequency	10 to 690 V	10 Hz to 1.5 kHz



La scheda di interfacciamento PCB

Il PCB riceve dall'alimentatore (connettore A) una tensione di alimentazione positiva (+30V), una negativa (-30V) e la tensione di riferimento (GND).

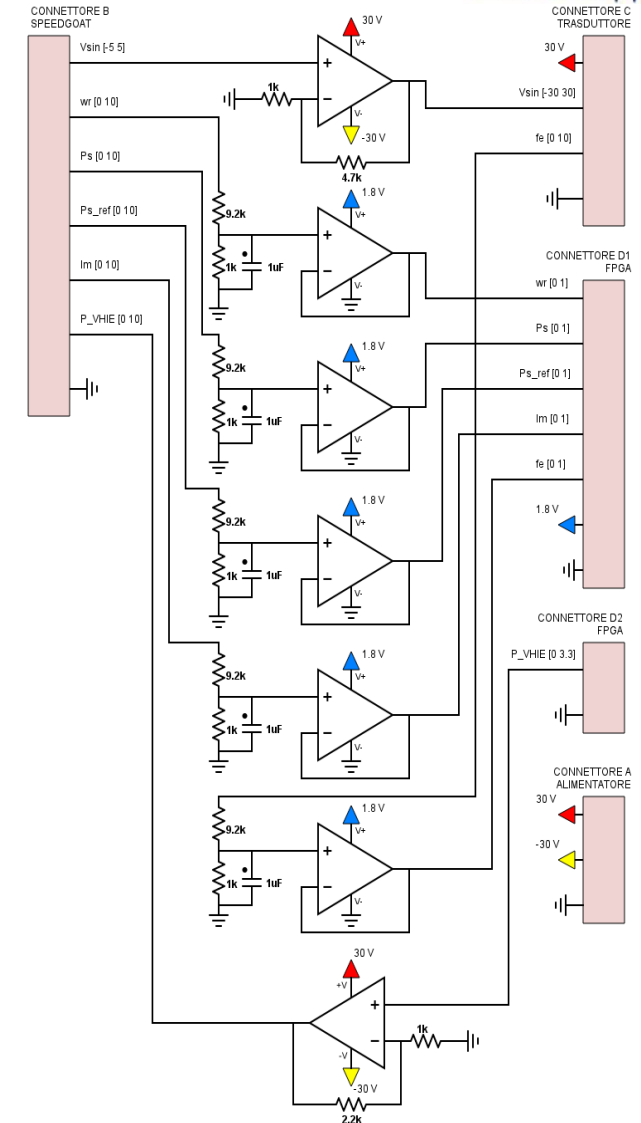
Il simulatore Speedgoat fornisce al PCB, tramite il connettore B, la tensione sinusoidale V_{sin} in un intervallo [-5V +5V].

Questo segnale viene amplificato e la sinusoide risultante, compresa tra circa -30V e +30V, viene fornita al trasduttore di frequenza SINEAX F634.

Il trasduttore restituisce alla scheda PCB il segnale di frequenza in un intervallo 0-10V.

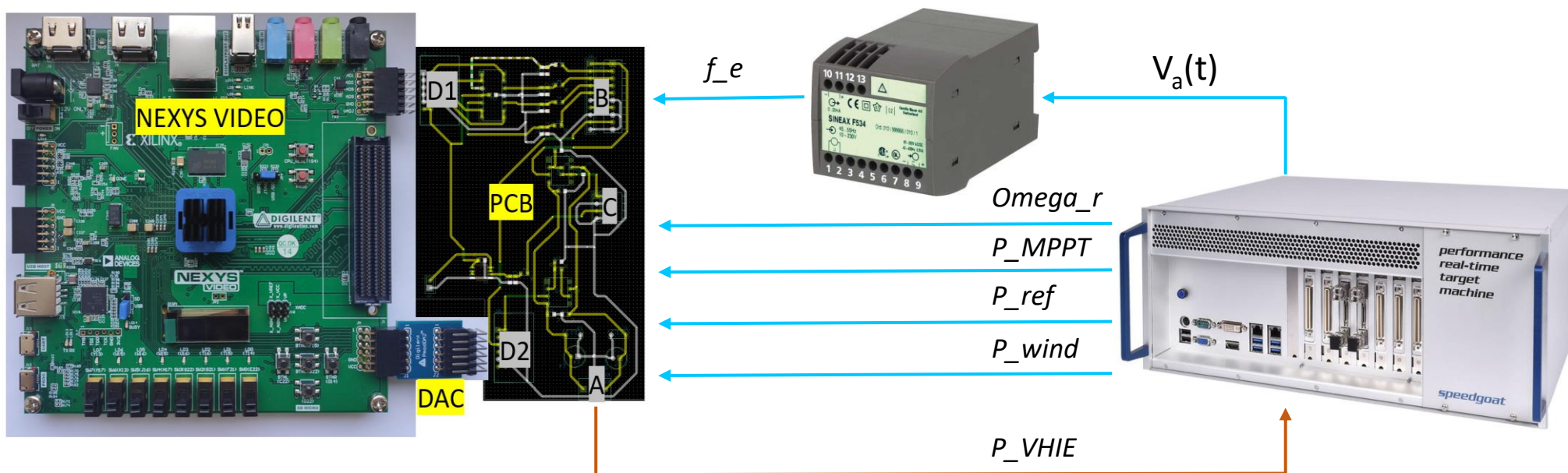
Gli altri segnali necessari al controllore ausiliario ($\omega_r, P_s, P_{s,ref}, I_m$) vengono acquisiti direttamente da Speedgoat tramite il connettore B, tutti in un intervallo 0-10V.

Questi segnali, insieme al segnale di frequenza f_e , vengono filtrati tramite un filtro passa basso del primo ordine con frequenza di taglio 180Hz.





Il modello del Sistema di Potenza è utilizzato all'interno del simulatore Real Time Speedgoat, al quale viene interfacciato il controllore ausiliario prototipale per il supporto di frequenza per generatori eolici non inerziali sviluppato su scheda FPGA, in logica Hardware in the Loop (HIL).



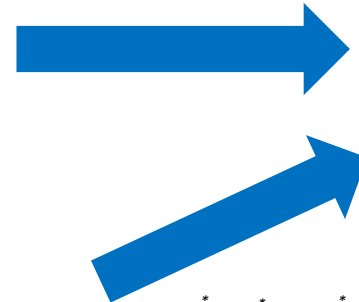
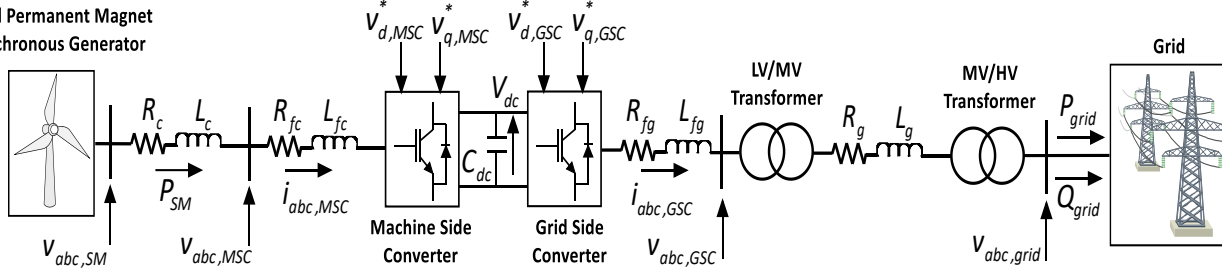


Realizzazione del test-bed su sistema di simulazione RT



Il modello del Sistema di Potenza è utilizzato all'interno del simulatore Real Time Speedgoat, al quale viene interfacciato il controllore ausiliario prototipale per il supporto di frequenza per generatori eolici non inerziali sviluppato su scheda FPGA, in logica Hardware in the Loop (HIL).

Wind Permanent Magnet Synchronous Generator



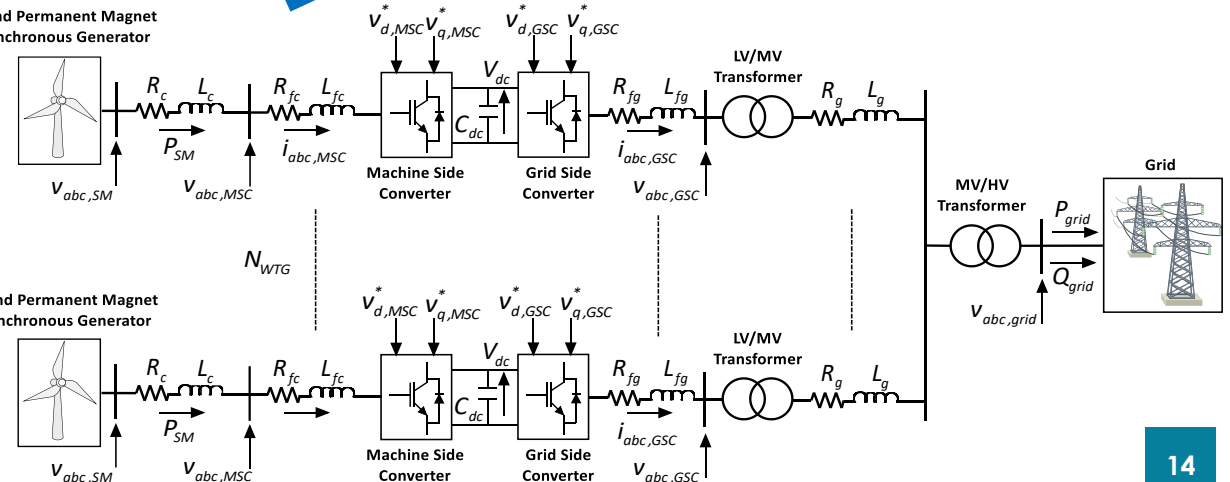
La struttura proposta consente, inoltre, di simulare un parco eolico costituito da un numero generico di torri mediante un modello aggregato.

Tempo di campionamento del modello del sistema elettrico **50 μs**.

Tempo di ciclo dei controllori di corrente interni **100 μs**.

Tempo di ciclo del controllo primario **10 ms**.

Wind Permanent Magnet Synchronous Generator

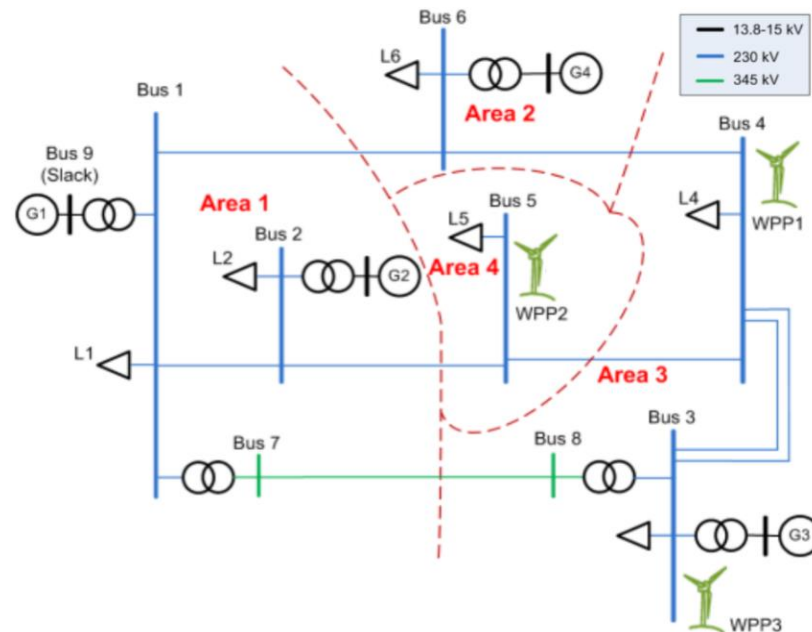




Simulazione del transitorio di frequenza

Le dinamiche del sistema elettrico rilevanti ai fini della validazione del controllore prototipale sono state modellate mediante un software di simulazione dettagliata del sistema elettrico, DigSILENT PowerFactory.

La rete di riferimento è una rete di trasmissione di test a 230 kV costituita da quattro aree e un sistema di collegamento tra l'area 1 e 3 a 345 kV. La generazione sincrona della rete è rappresentata in forma aggregata presso quattro nodi della rete a livelli di tensione variabili tra i 15 kV e i 13.8 kV.

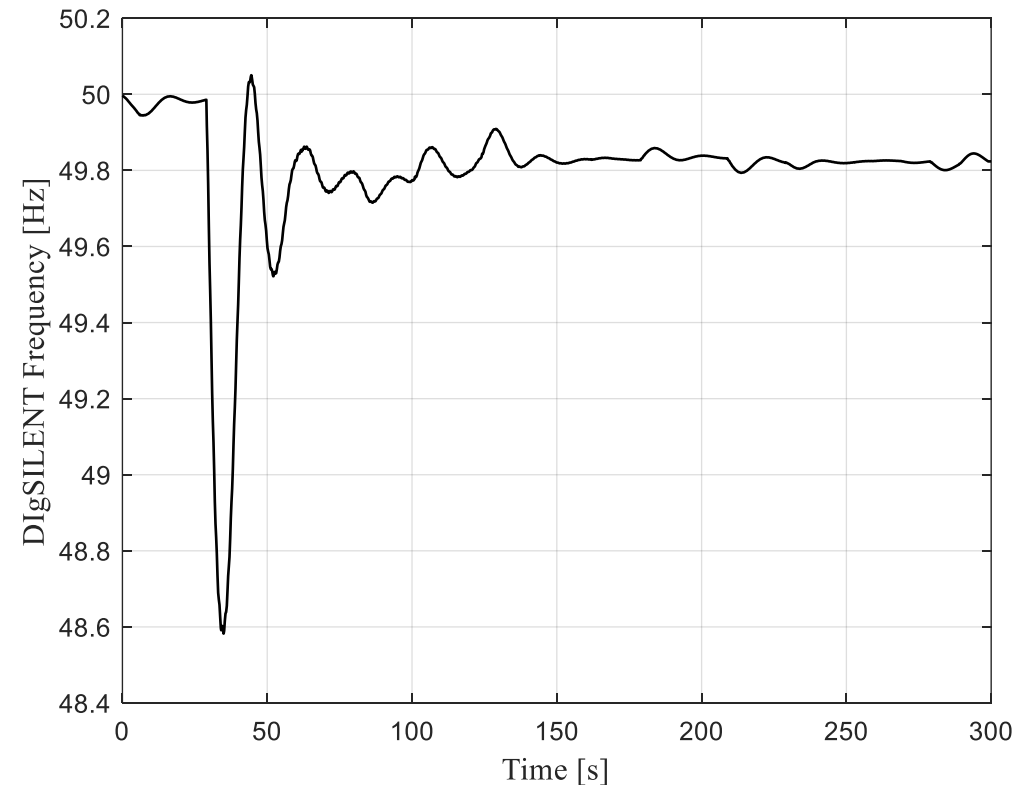
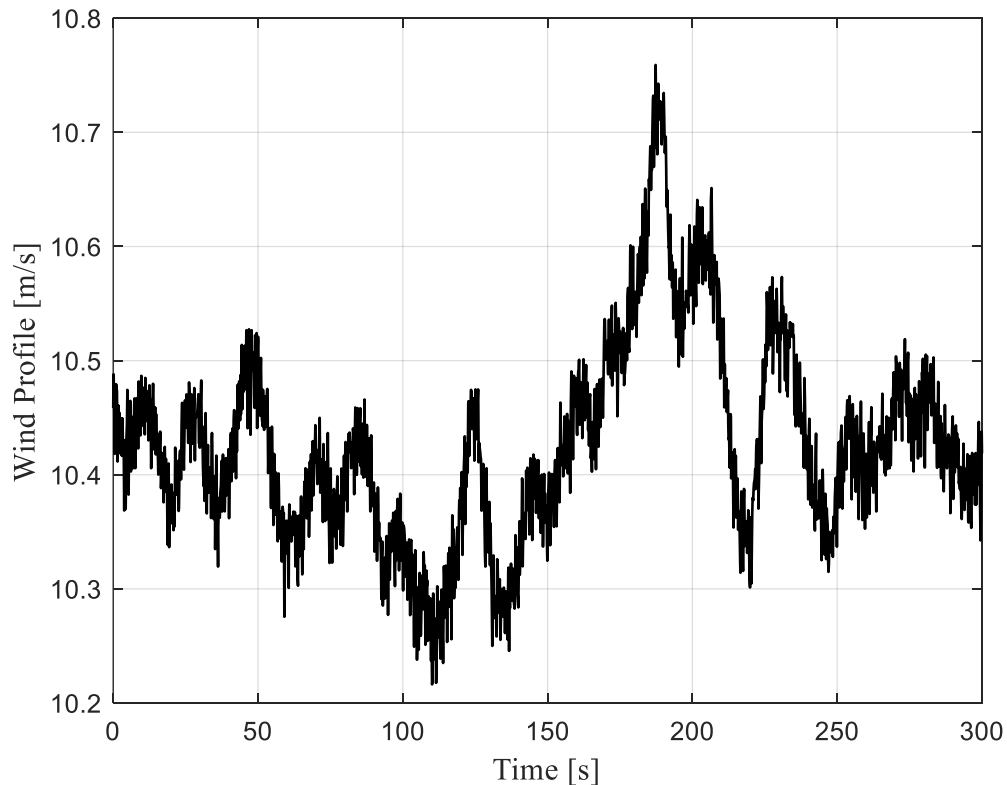


Simulazione del transitorio di frequenza

Sono stati implementati profili di carico e di vento che rappresentino condizioni realistiche nell'esercizio del sistema.

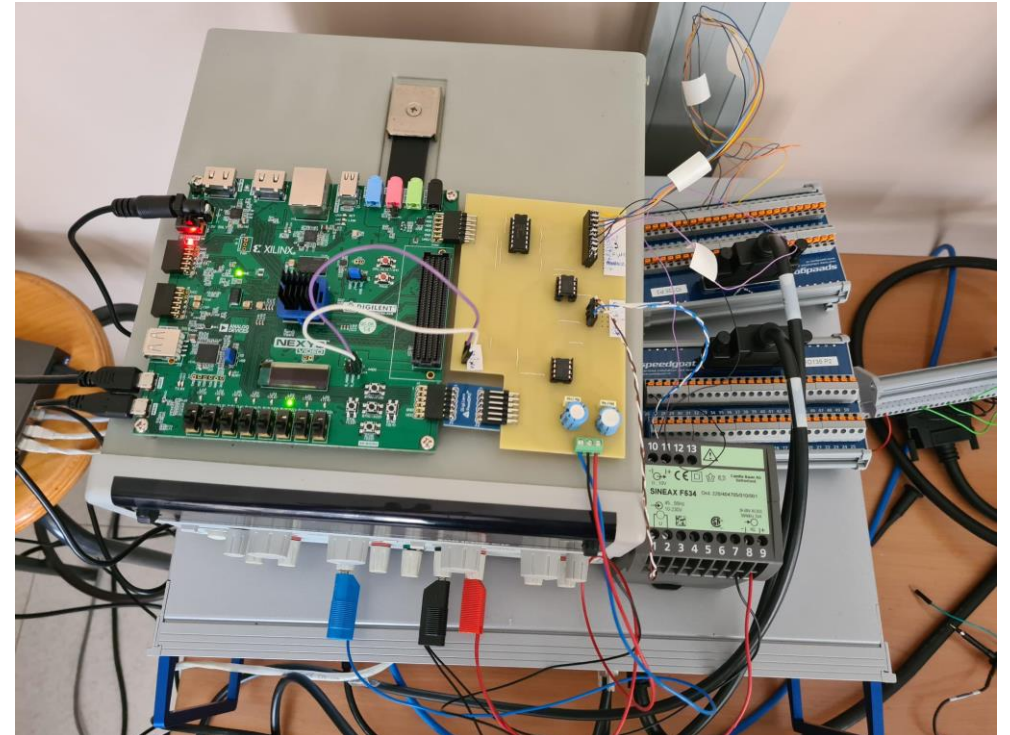
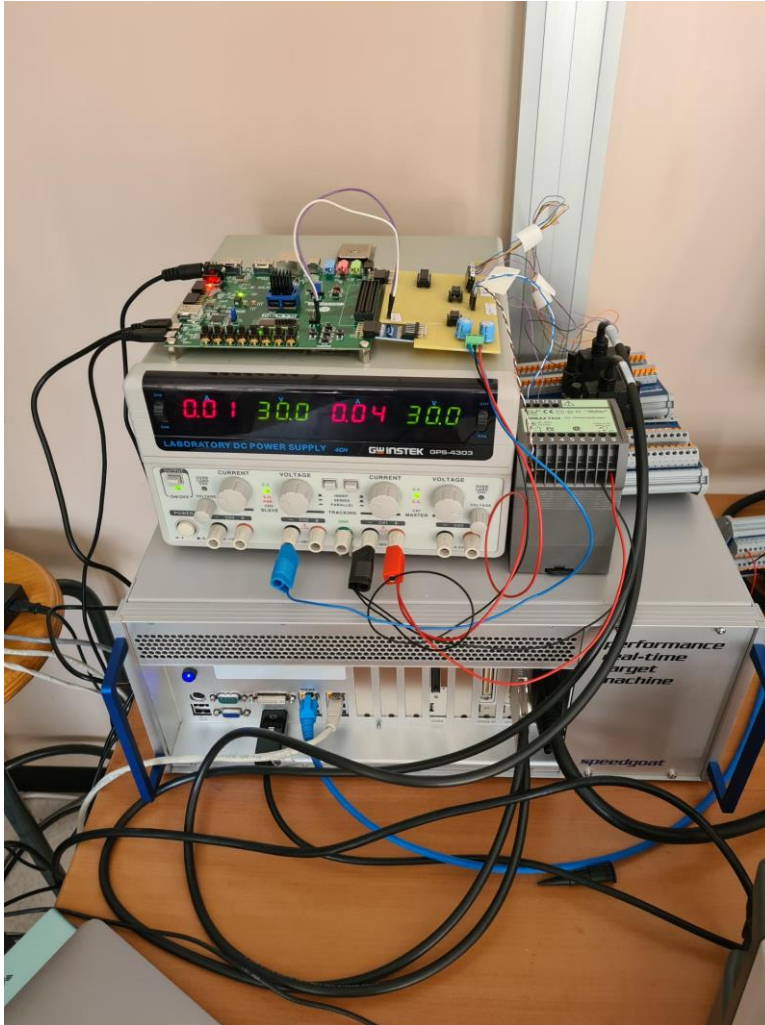
Il profilo di frequenza ottenuto è stato usato per generare le forme d'onda sinusoidali del generatore che rappresenta la rete di trasmissione nel modello Simulink Real Time così da replicare in ambito RT il profilo ottenuto mediante i modelli di rete di Digsilent.

Questo ha consentito di validare le prestazioni del controllo imponendo un profilo noto di frequenza.





Set-up sperimentale

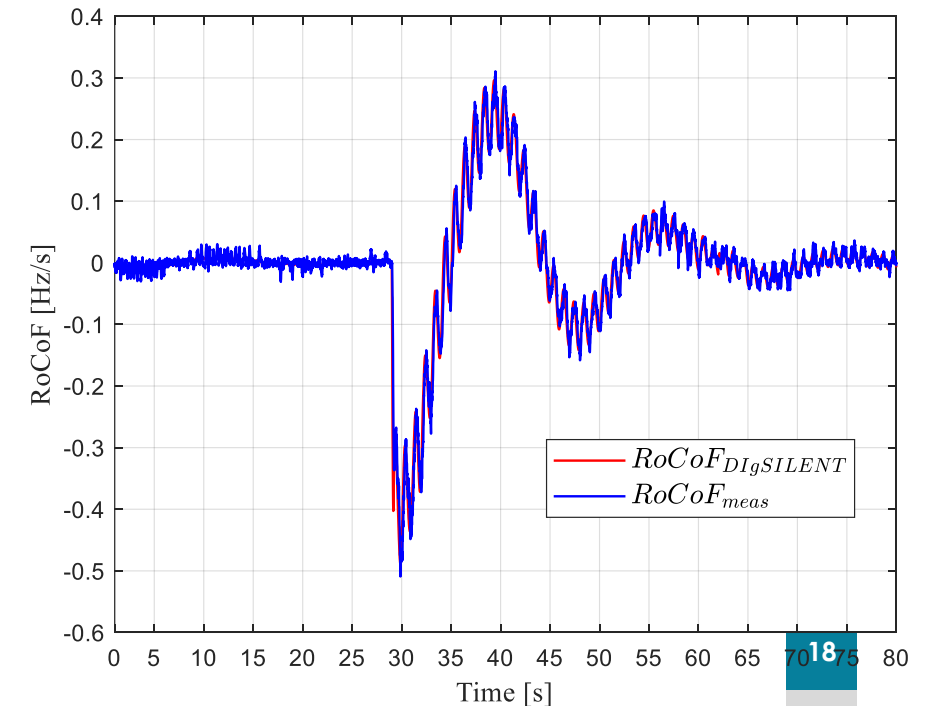
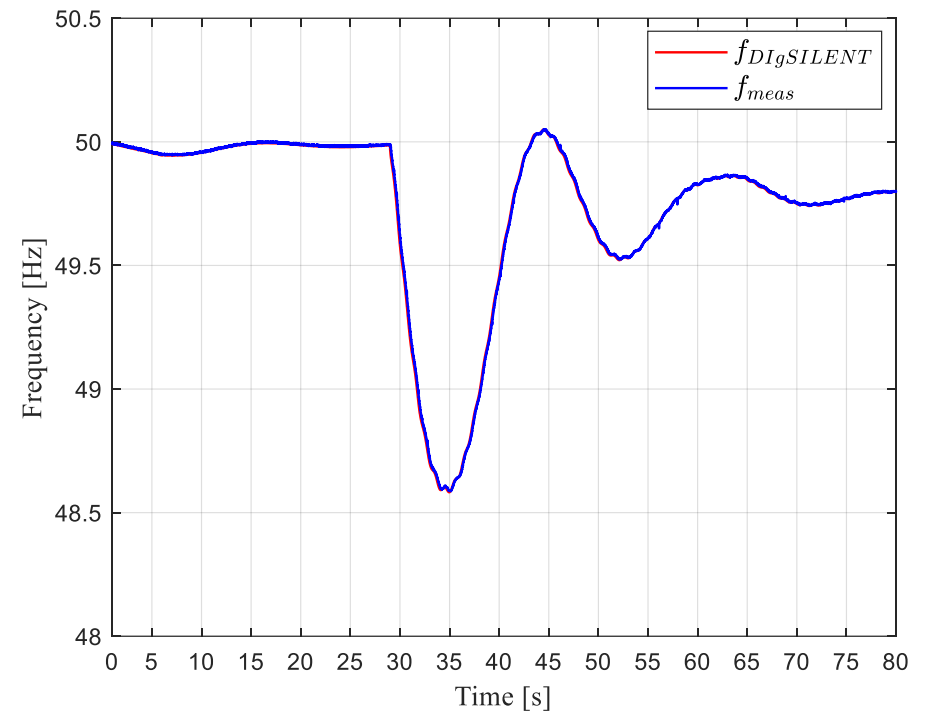




Definizione dei test-case

Sono stati effettuati 12 test di validazione delle prestazioni del prototipo in differenti condizioni di vento e di intensità del contributo fornito di inerzia sintetica a fronte del medesimo transitorio di frequenza

	Hmax = 10 s	Hmax = 70 s	Hmax = 140 s
$v_{w,0} = 9.7 \text{ m/s}$ (0.8 MW)	Test 1	Test 5	Test 9
$v_{w,0} = 12.2 \text{ m/s}$ (1.6 MW)	Test 2	Test 6	Test 10
$v_{w,0} = 13.2 \text{ m/s}$ (2 MW)	Test 3	Test 7	Test 11
$v_{w,0} = 16.2 \text{ m/s}$ (2 MW)	Test 4	Test 8	Test 12

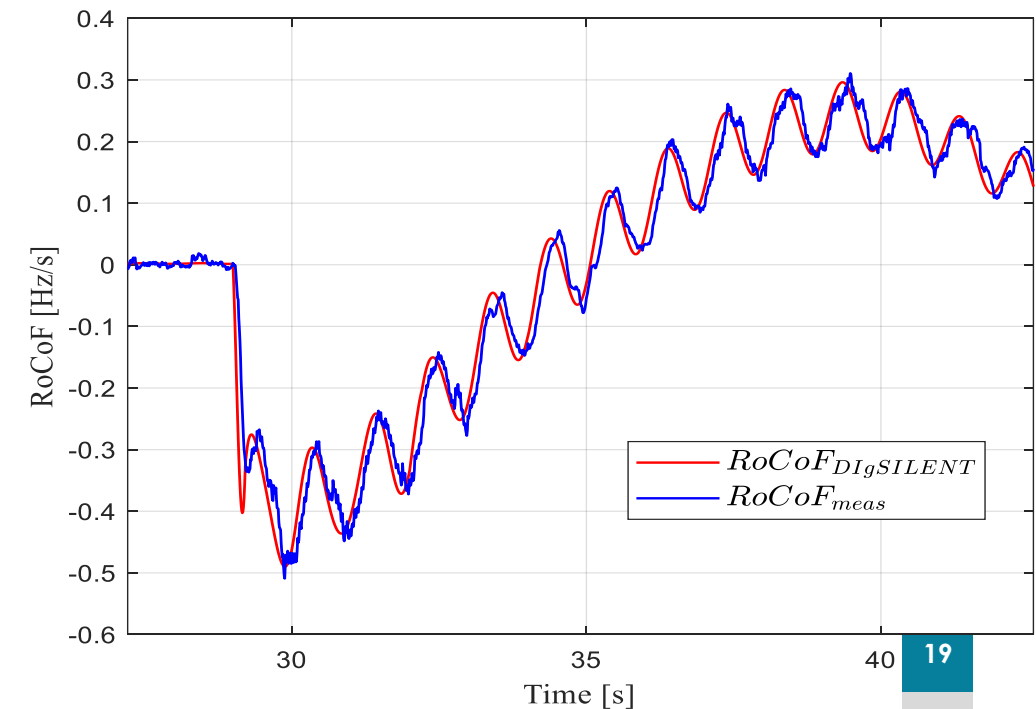
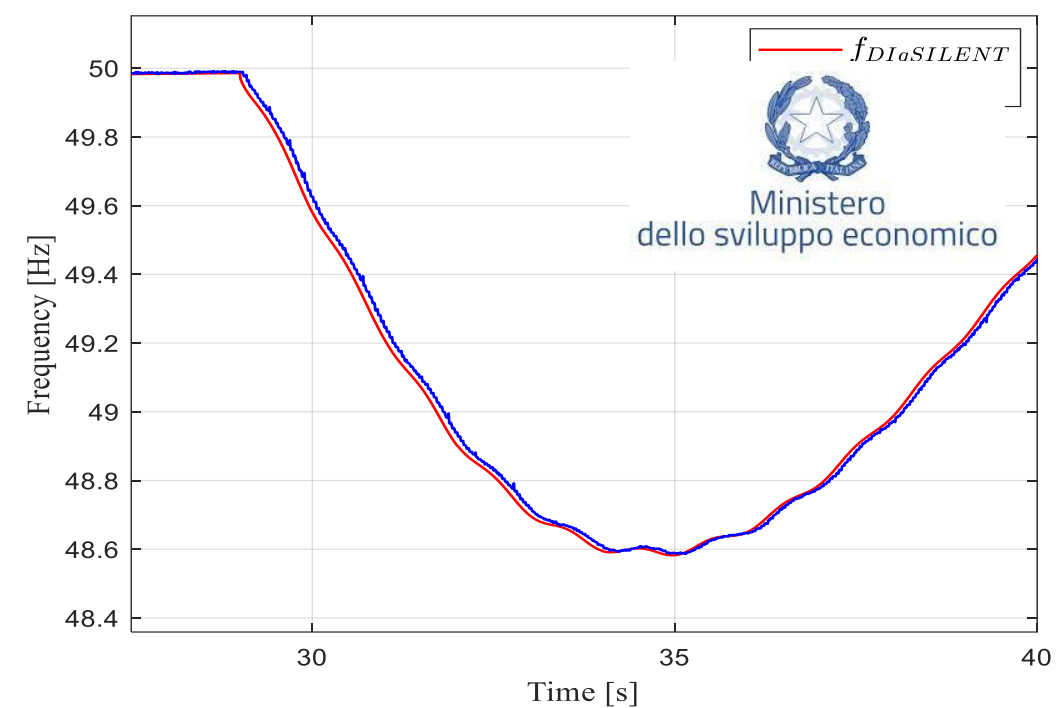




Definizione dei test-case

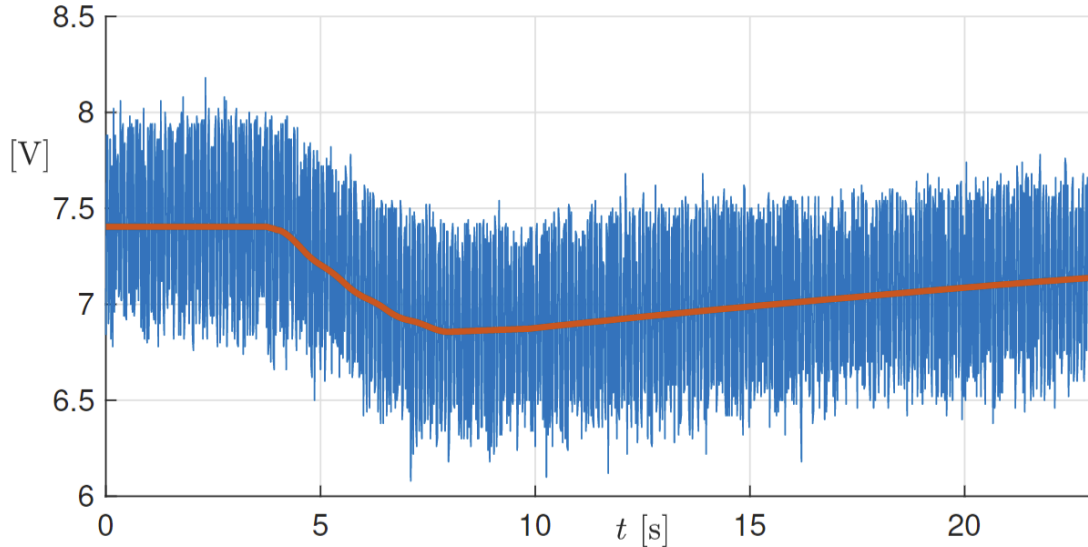
Sono stati effettuati 12 test di validazione delle prestazioni del prototipo in differenti condizioni di vento e di intensità del contributo fornito di inerzia sintetica a fronte del medesimo transitorio di frequenza

	Hmax = 10 s	Hmax = 70 s	Hmax = 140 s
$v_{w,0} = 9.7 \text{ m/s}$ (0.8 MW)	Test 1	Test 5	Test 9
$v_{w,0} = 12.2 \text{ m/s}$ (1.6 MW)	Test 2	Test 6	Test 10
$v_{w,0} = 13.2 \text{ m/s}$ (2 MW)	Test 3	Test 7	Test 11
$v_{w,0} = 16.2 \text{ m/s}$ (2 MW)	Test 4	Test 8	Test 12

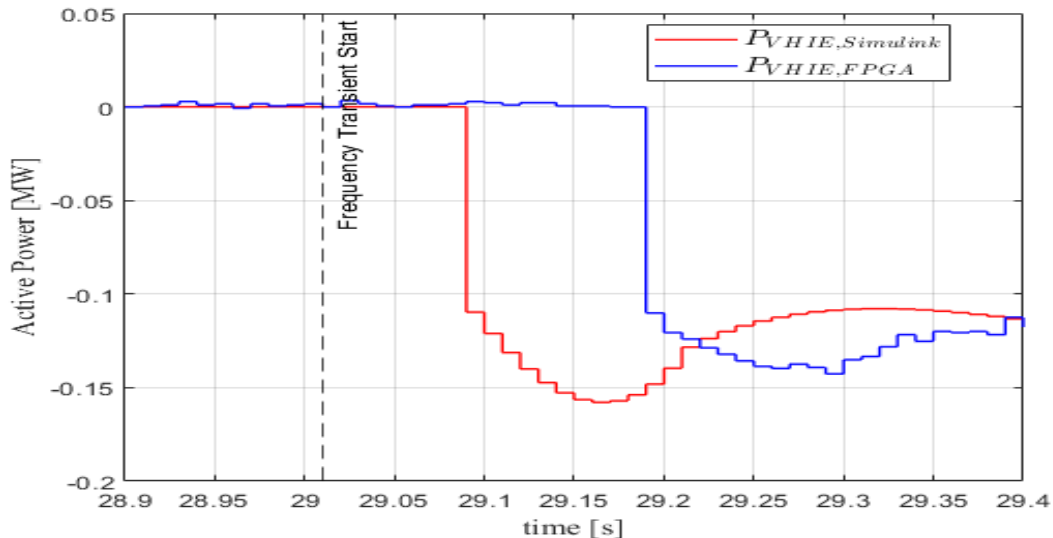




Risultati della campagna di validazione



La validazione sperimentale ha consentito di validare la robustezza del controllo in presenza di rumore (segnale in tensione è molto rumoroso)



Ha consentito anche di definire il ritardo di intervento del sistema di controllo, valutato per tutti i test in ragione di **180 ms**.

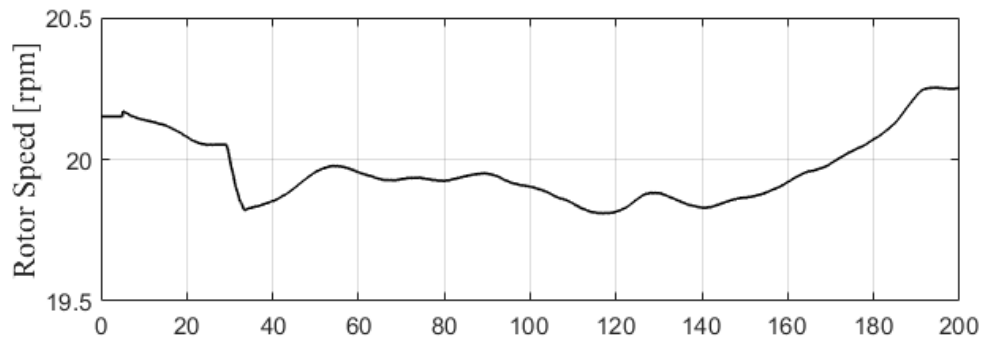
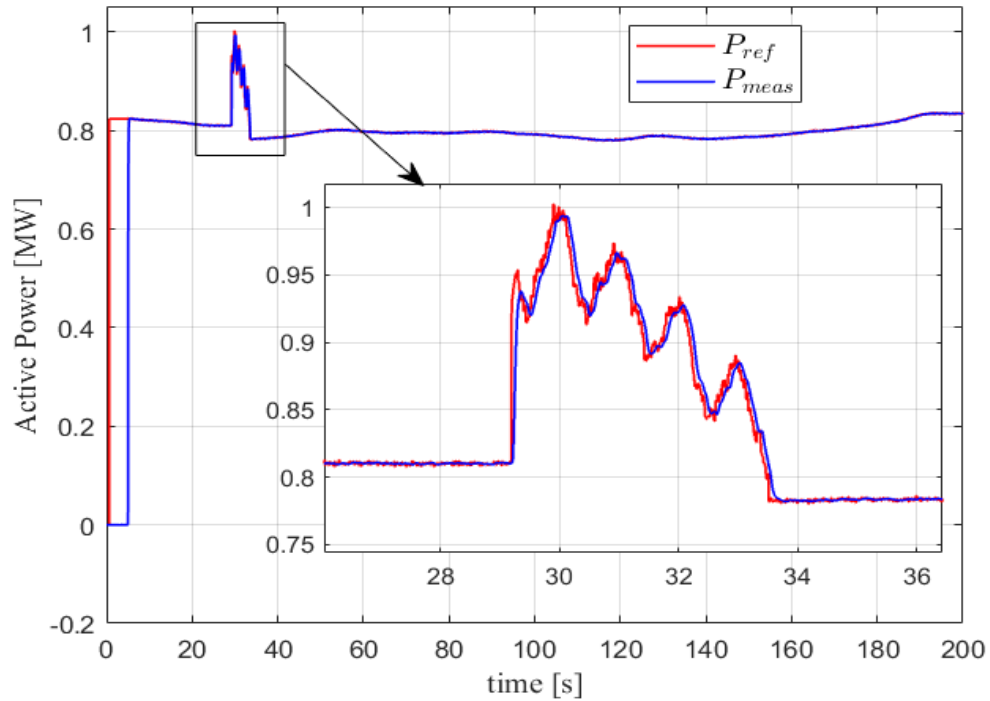
Questo è un elemento molto importante in quanto la tempistica di intervento per il supporto inerziale è uno degli aspetti più delicati e complicati da gestire.



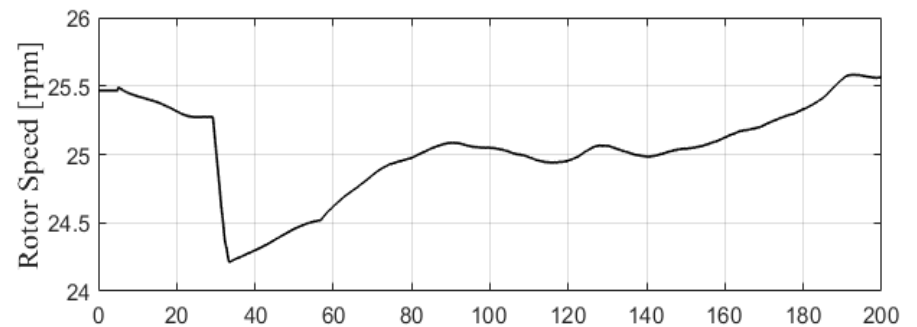
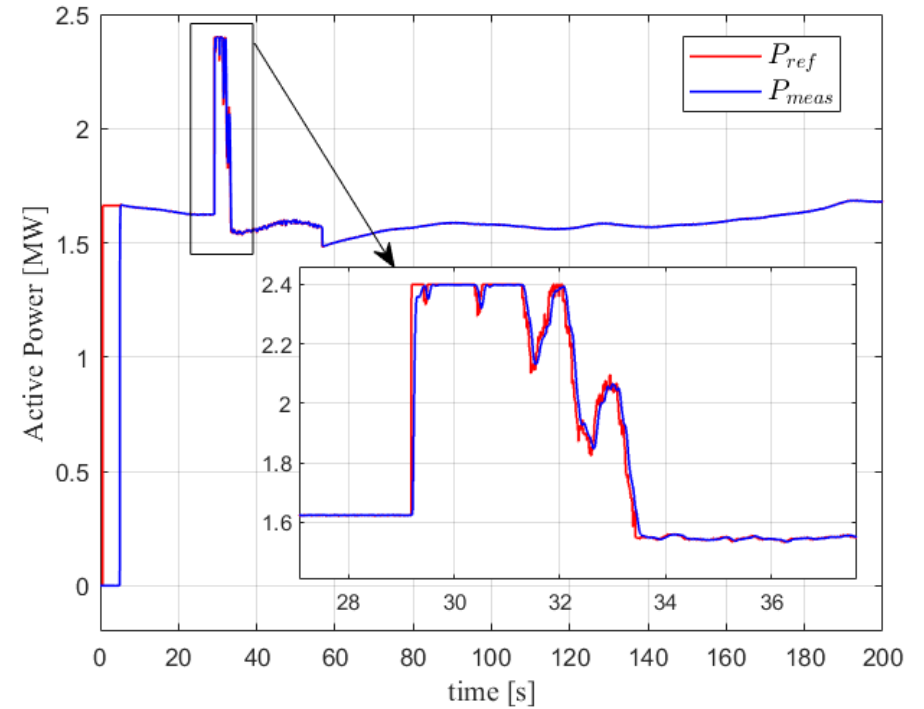
Risultati della campagna di validazione



Test-case 1



Test-case 6

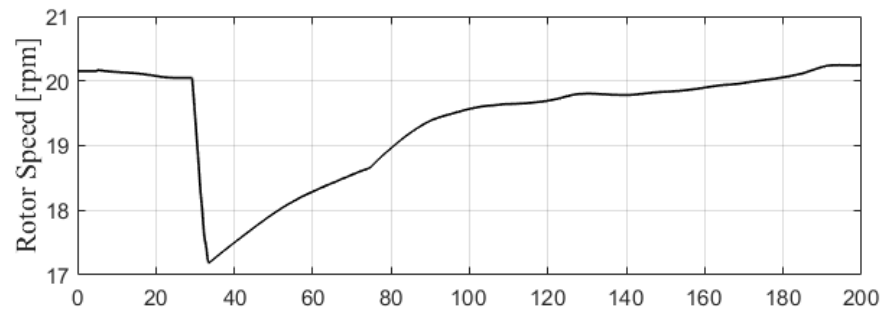
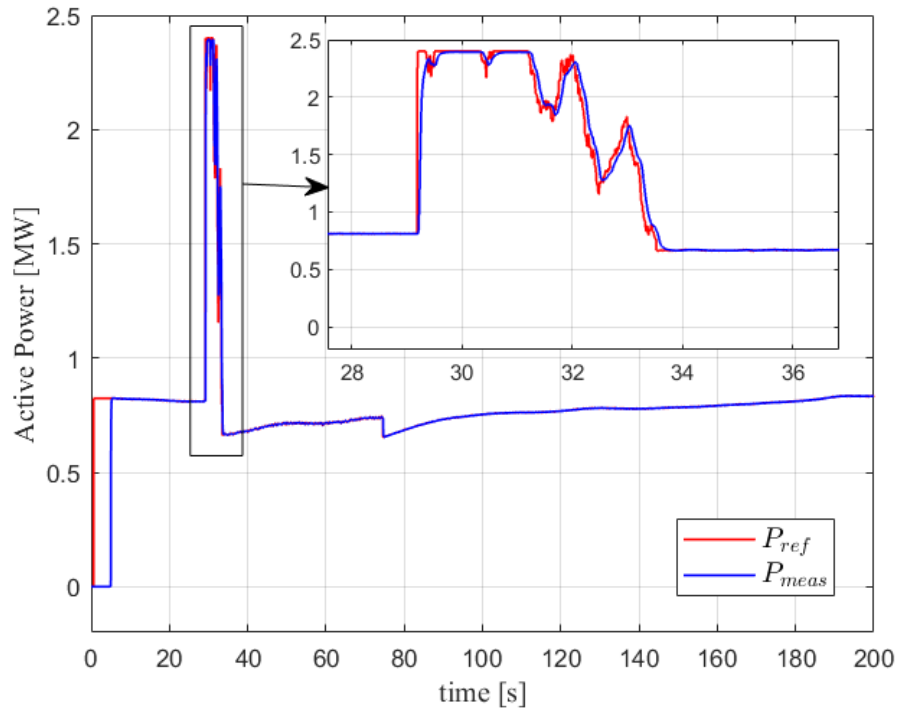




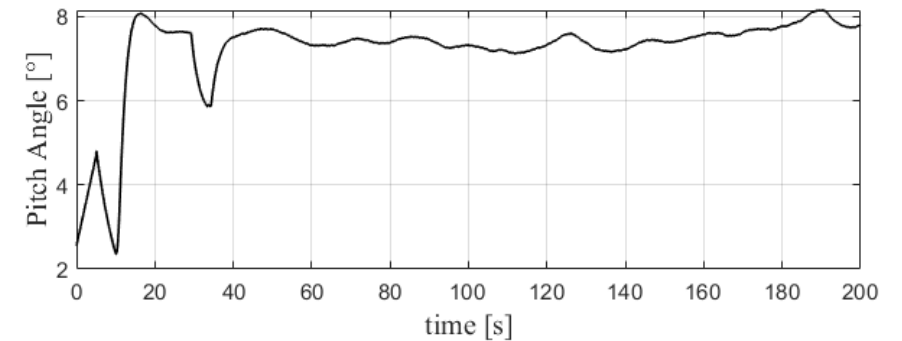
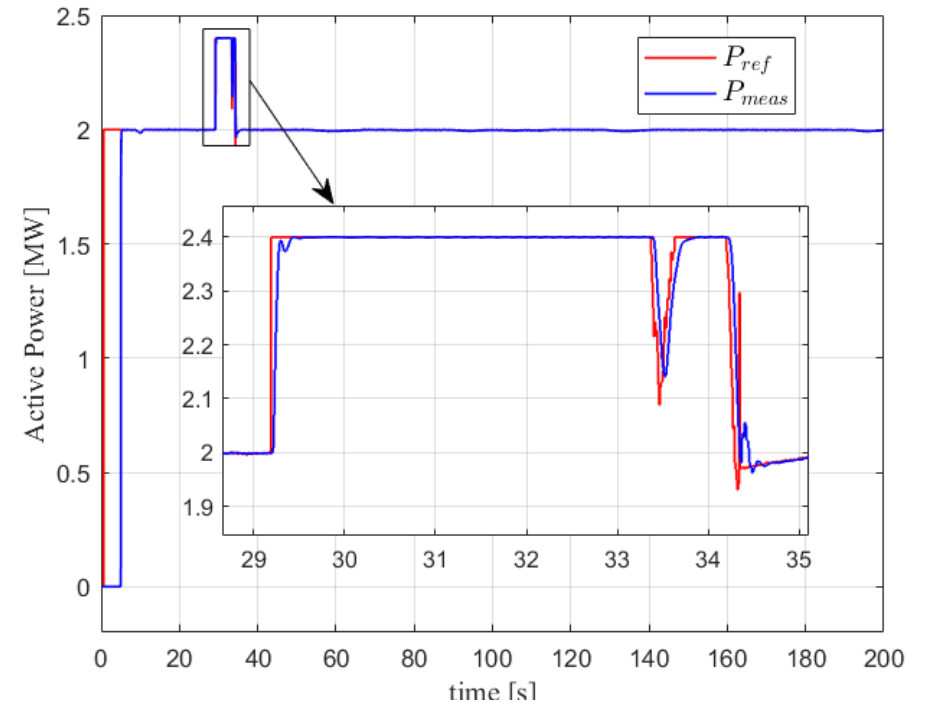
Risultati della campagna di validazione



Test-case 9



Test-case 12





Sviluppi attesi per la tecnologia SMAT WIND



- Validazione dei risultati ottenuti in ambito simulativo sul sistema di potenza, per verificare che le prestazioni reali non inficino i benefici attesi sul RoCoF;
- In caso di esito positivo: sviluppo di un prototipo industriale, su controllore PLC, al fine di ottenere un prodotto sviluppabile in ambito industriale e conseguente valutazione di ottimizzazione economica del prodotto;
- In caso di esito negativo: sarà necessario rivedere il prototipo di laboratorio al fine di tentare di ridurre i tempi computazionali prima di passare alla fase successiva;
- Instaurare contatti con aziende che operano nel settore della realizzazione e del controllo di generatori eolici per valutare la possibilità di lavorare in modo sinergico al fine di garantire una proficua riuscita dello sviluppo e della commercializzazione della tecnologia.
- La tecnologia è stata premiata nell'ambito IPA 2021 e presentato a EXOP DUBIA 2020.





Università
di Genova



Ministero
dello sviluppo economico

Grazie per l'attenzione!