

Test real-time per osservabilità e alleggerimento carichi a servizio del sistema elettrico

Progetto: Living Grid

CLUSTER TECNOLOGICO NAZIONALE ENERGIA - PROGETTO DI RICERCA INDUSTRIALE

video - call, 04 Marzo 2021



**POLITECNICO
DI TORINO**

Dipartimento Energia
"Galileo Ferraris"



Politecnico di Bari

Sommario

- Introduzione alla simulazione real-time
 - (Power) Hardware-In-the-Loop
- Infrastruttura di co-simulazione distribuita e test funzionali
- Analisi del sistema elettrico in presenza di elevata penetrazione di rinnovabile
- Prospettive per il futuro

Introduzione alla simulazione real time

- La simulazione real-time è un metodo dove, in ambiente virtuale, nuove strategie di controllo o tecnologie possono **essere testate ex-ante**, ovvero prima della loro implementazione nel sistema reale
- Inoltre, permette di fornire informazioni «**real-time like**» sugli impatti e gli investimenti
- I sistemi simulati sono **riprodotti in tempo reale**, ovvero il tempo di simulazione corrisponde esattamente al tempo realmente trascorso
- Essa è in grado di **ridurre i costi**, ammettendo la possibilità di effettuare **test continui e completi** del sistema, senza interruzioni
- Inoltre, essa permette di mantenere **elevati standard di sicurezza** evitando possibili condizioni pericolose
- Con minime variazioni hardware, è possibile creare un **numero elevato di configurazioni**



WHAT



HOW

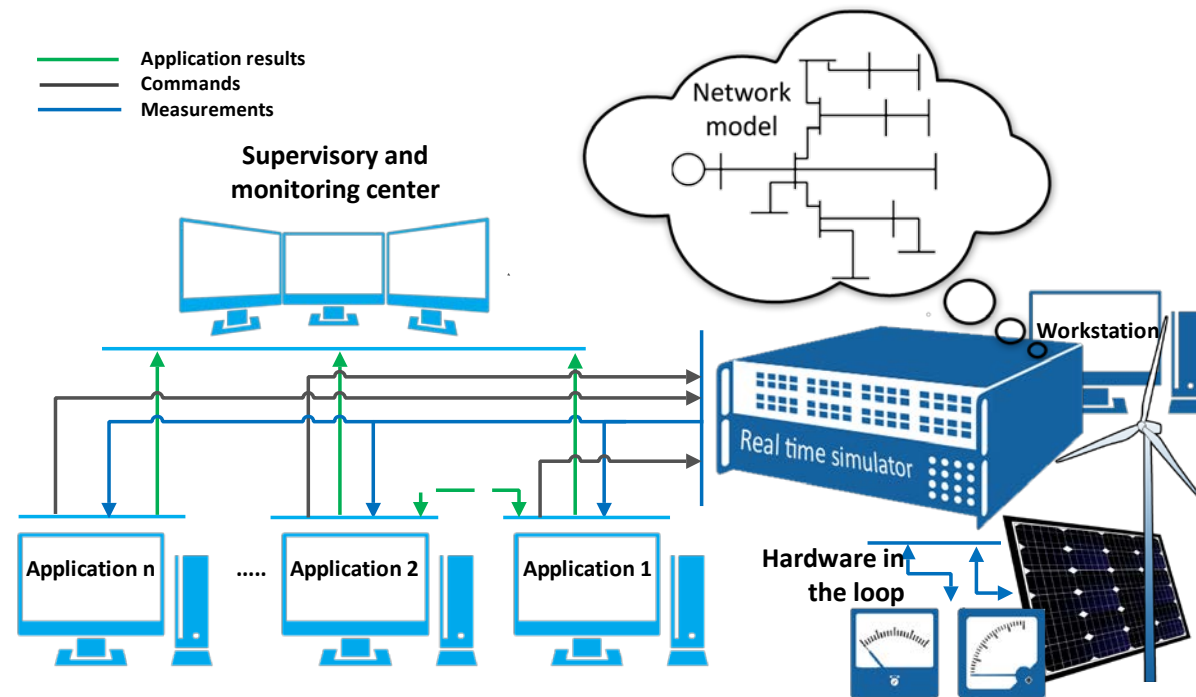


PROS

(Power) Hardware-in-the-Loop

- **HARDWARE IN THE LOOP**

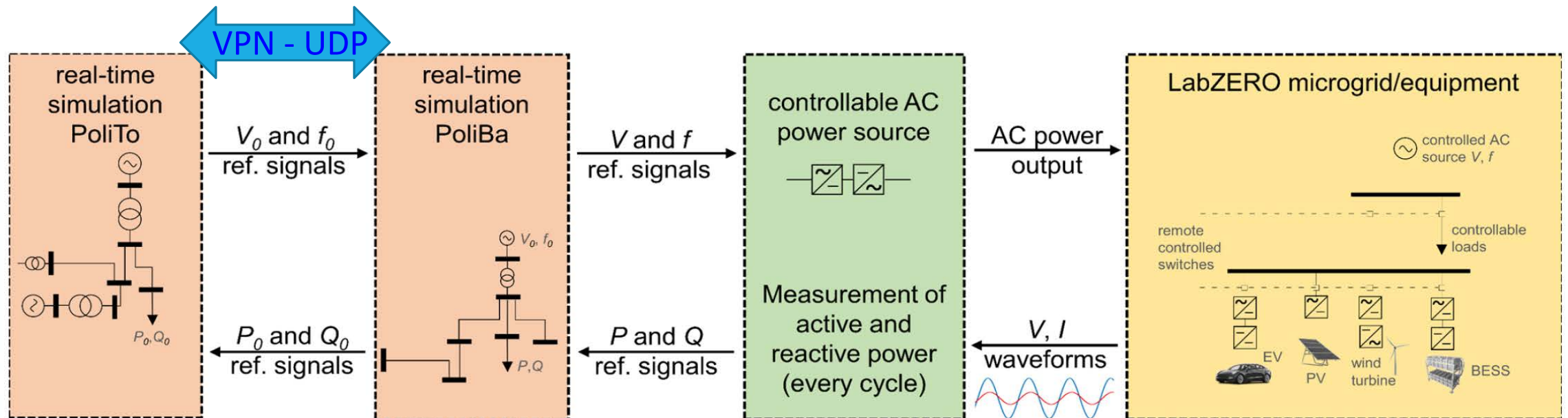
- In questo caso, il simulatore real-time simula l'impianto nel quale viene **integrato un dispositivo reale**
- Nel caso di dispositivi che non richiedono alte potenze, la connessione è fatta utilizzando direttamente le **uscite analogico digitali del simulatore**
- Per tutti gli altri casi è necessario utilizzare un **amplificatore di potenza**, che permette l'interfaccia tra la simulazione ed il dispositivo reale; in tal caso si parla di **Power Hardware-in-the-Loop (PHIL)**



Infrastruttura di co-simulazione distribuita e test funzionali

Schema di principio della connessione

- L'infrastruttura di simulazione coinvolge il [Politecnico di Bari](#) (PoliBa) ed il [Politecnico di Torino](#) (PoliTo)
- Una [microrete reale](#), installata [presso PoliBa](#), è [connessa al laboratorio PoliTo](#), dove è presente un'infrastruttura con elevate capacità di calcolo
- Questo permette l'implementazione del cosiddetto [Remote Power Hardware-in-the-Loop](#) (RPHIL)
- Le [dinamiche della microrete](#) reale possono dunque essere [direttamente integrate in una simulazione](#)



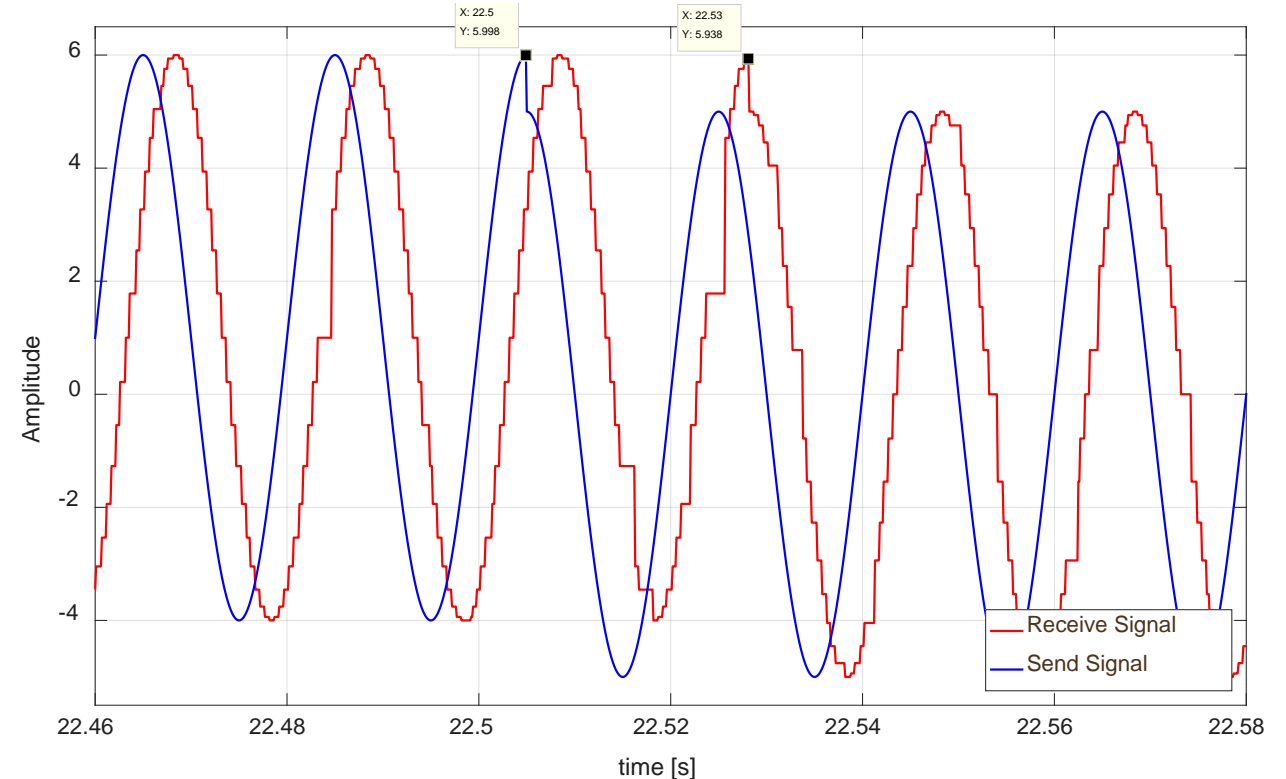
Comunicazione tra i simulatori

Il **ritardo di comunicazione** (loopback) è maggiore di un periodo (i.e., 20 ms a 50 Hz)

Alcuni **pacchetti** sono **persi**

Il ritardo associato alla trasmissione singola è stimata essere 12.5 ms

| Description | Value |
|---------------------|---------|
| THD Sent Signal | 0.11 % |
| THD Received Signal | 15.71 % |
| Average Delay | 25 ms |



Livello di distorsione *elevato*: quindi *non si può usare direttamente la sinusoide*

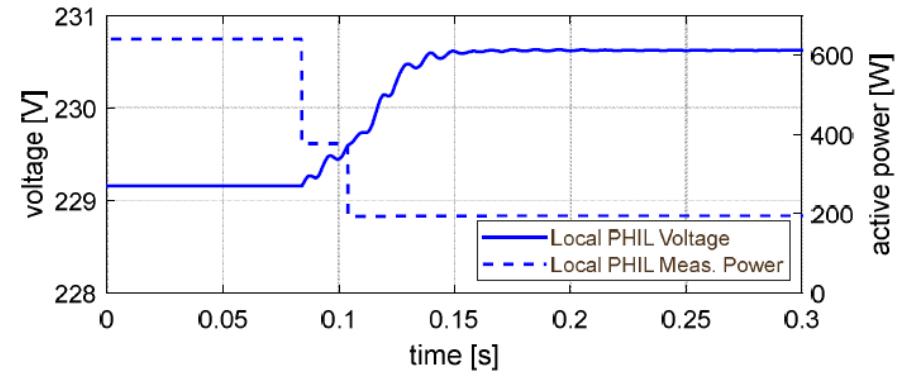
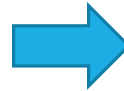
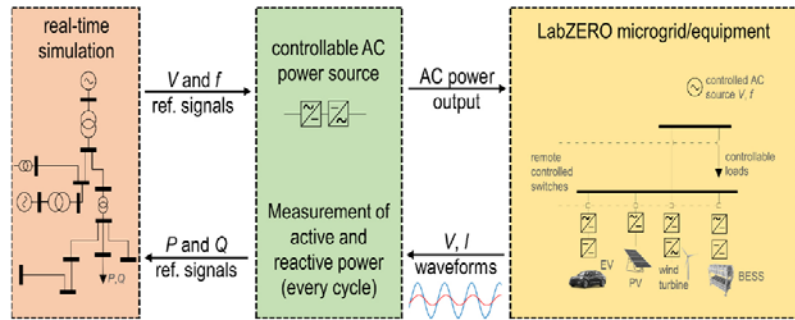
E' quindi necessario *utilizzare fasori dinamici o altre variabili elettriche*

Test: Local vs Remote Power Hardware-in-the-Loop Tests - 1

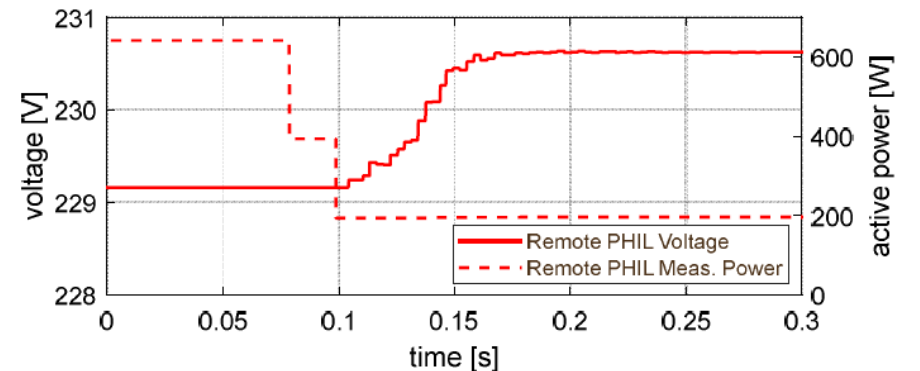
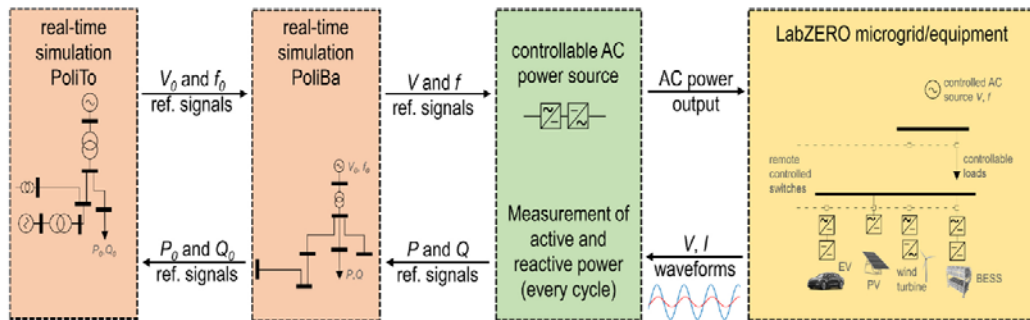
Confronto dei risultati con rete su **unico simulatore** o **disaccoppiata** tra i due simulatori

EFFETTO SUL CARICO -> Traiettorie di tensione e potenza attiva registrate presso PoliBa per una **variazione di carico a gradino**

PHIL LOCALE

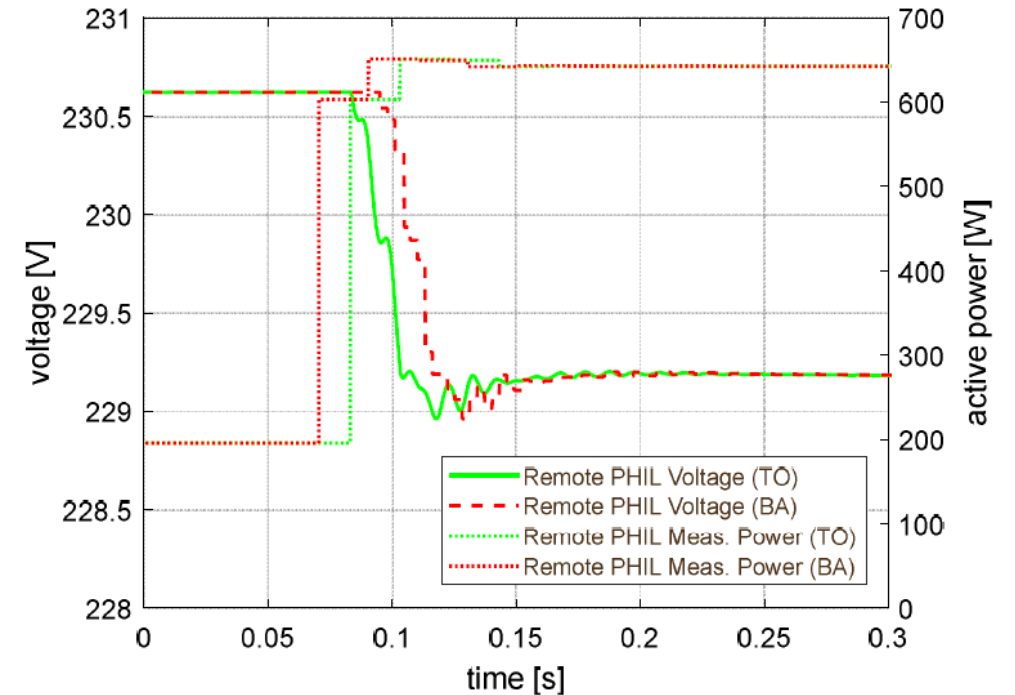
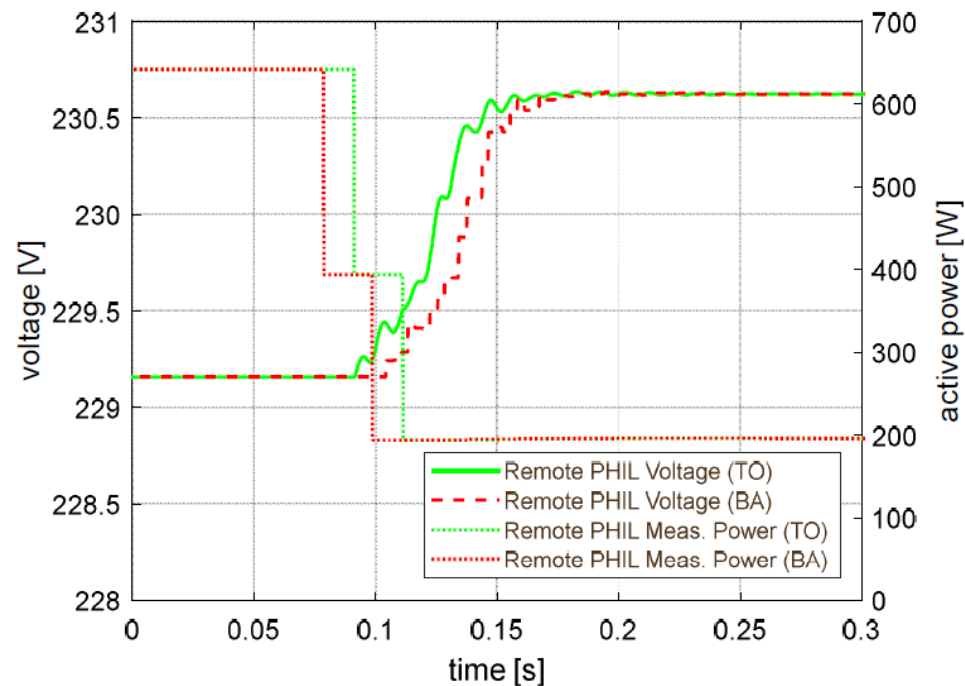


PHIL REMOTO



Test: Local vs Remote Power Hardware-in-the-Loop Tests - 2

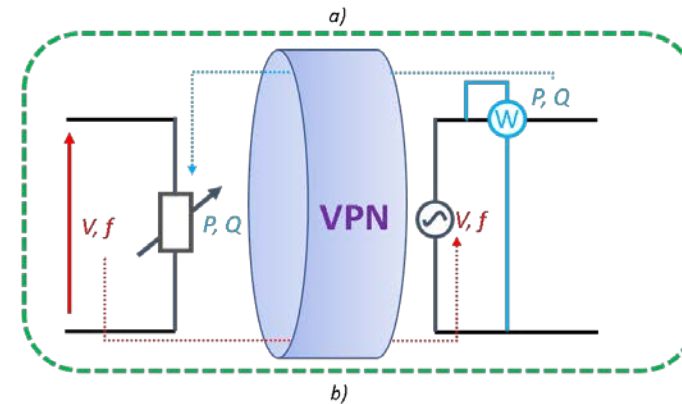
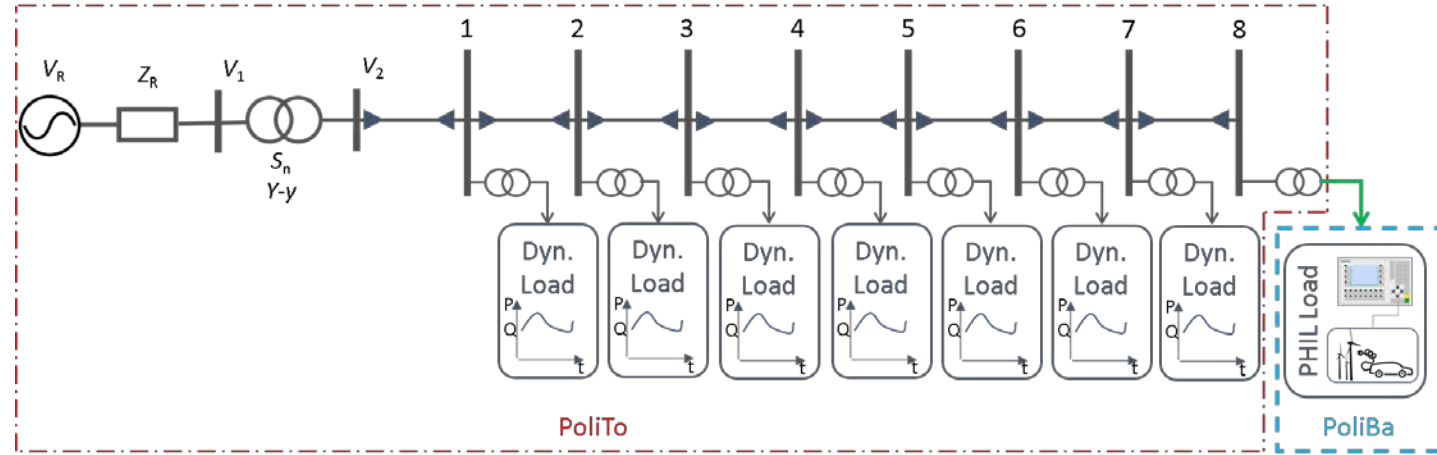
EFFETTO **RITARDO COMUNICAZIONE**-> Traiettorie di tensione e potenza attiva registrate presso PoliTo e PoliBa durante **REMOTE PHIL**



Analisi del sistema elettrico in presenza di elevata penetrazione di rinnovabile

Previsione delle risorse distribuite sottese a cabine secondarie

- L'infrastruttura di co-simulazione è stata usata per valutare, tramite una caratterizzazione parametrica, la produzione fotovoltaica
- La configurazione di simulazione prevede l'utilizzo di una porzione di rete MT simulata presso PoliTo e una porzione BT simulata presso PoliBa.
- La connessione virtuale è rappresentata dalla freccia verde
- La comunicazione, si basa su un VPN tunneling, che permette lo scambio delle variabili elettriche tra i due sottosistemi (V, f da Torino a Bari e P, Q da Bari a Torino)



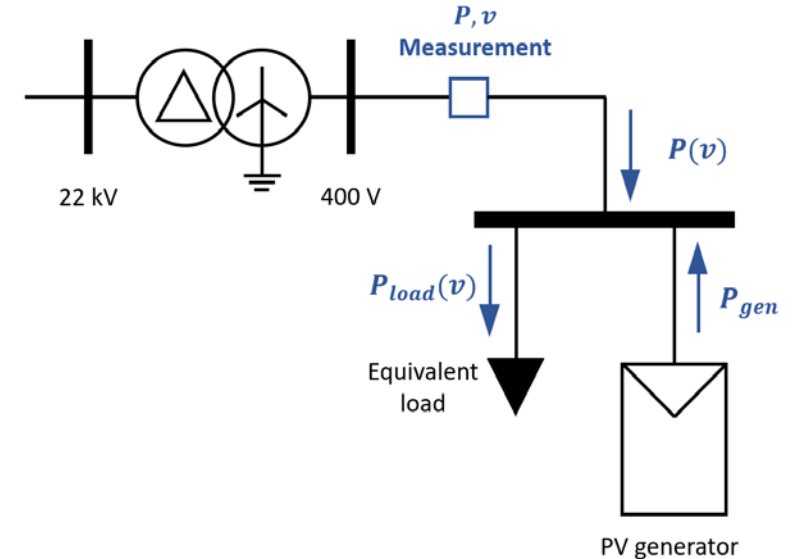
Modello di calcolo - 1

- Si assume che la **potenza FER** sia generata da impianti connessi alla rete mediante inverter, e sia pertanto **costante e indipendente dal valore di tensione**.
- La **potenza di carico** assume invece la dipendenza dalla tensione descrivibile mediante un **modello esponenziale**, i cui **parametri** si suppongono **non noti a priori** dall'operatore di rete.
- **Stima della produzione** sottesa alla cabina primaria.:
 - è effettuata una **variazione delle condizioni di rete**, tramite la **variazione manuale del variatore sotto carico** del trasformatore in cabina primaria.
 - ad ogni variazione è effettuata la **misura della tensione concatenata del trasformatore in ogni cabina secondaria** (lato bassa tensione) e della **potenza attiva in esso transitante**.

Modello di calcolo - 2

- La potenza complessivamente assorbita è data dalla somma algebrica di una potenza generata da rinnovabile (segno negativo) e una potenza assorbita dai carichi (segno positivo).
- Il metodo si basa sull'ipotesi **che sia la generazione fotovoltaica sia la potenza nominale del carico passivo non stiano variando significativamente** a cavallo dell'istante in cui la posizione del variatore sotto carico è modificata.
- La potenza attiva netta P_i riferita alla condizione di tensione rappresentata dal rapporto tra la tensione misurata e la tensione nominale di sbarra (indicata con v_i) per ogni misura $i = 1, \dots, M$, è definita tramite la seguente formulazione:

$$P_i(v) = v_i^{k_p} \cdot P_{\text{nom}} - P_{\text{gen}}$$



Modello di calcolo - 3

- I **parametri da stimare**, partendo dalle misure di potenza netta e tensione, sono:

$$[P_{nom} \quad k_p \quad P_{gen}]$$

- Se, mediamente, il **coefficiente esponenziale del carico è conosciuto dall'operatore di rete**, allora le grandezze da valutare sono solo due:

$$[P_{nom} \quad P_{gen}]$$

- Sono stati effettuati **cinque serie di test**:
 - Caso A: stima dei **tre** parametri con traiettoria a **cinque gradini**, **alta accuratezza** delle misure
 - Caso B: stima dei **tre** parametri con traiettoria a cinque gradini, **bassa risoluzione** delle misure
 - Caso C: stima dei **tre** parametri con traiettoria a **tre gradini**, con presenza di **rumore**
 - Caso D: stima dei **due** parametri con traiettoria a **cinque gradini**, **bassa risoluzione** delle misure
 - Caso E: stima dei **due** parametri con traiettoria a **tre gradini**, con presenza di **rumore**

Risultati: stima tre parametri

| | P_{nom} | k_p | P_{gen} |
|------------|---------------|--------|--------------|
| Valore | 113,946 kW | 1,48 | 51,449 kW |
| Errore (%) | 1,29 % | 1,37 % | 2,90 % |

Caso A: traiettoria a cinque gradini alta accuratezza delle misure

| | P_{nom} | k_p | P_{gen} |
|------------|------------|--------|------------|
| Valore | 81,0 kW | 2,12 | 18,3 kW |
| Errore (%) | 28,0 % | 44,5 % | 63,4 % |

Caso B: traiettoria a cinque gradini bassa risoluzione delle misure

| | P_{nom} | k_p | P_{gen} |
|------------|----------------|----------|----------------|
| Valore | -466,250 kW | -0,33 | -528,320 kW |
| Errore (%) | 514,450 % | 121,86 % | 1156,640 % |

Caso C: traiettoria a tre gradini con presenza di rumore

- In presenza di un **sistema di misura molto accurato**, le misure estratte possono essere usate per **stimare piuttosto bene i parametri** del modello semplificato.
- Si evidenzia però come **in presenza di scarsa accuratezza o precisione** delle misure il **metodo di stima possa fallire**, convergendo a valori molto distanti da quelli corretti.

Risultati: stima due parametri

| | P_{nom} | P_{gen} |
|--------|-------------|------------|
| Valore | 112,5 kW | 49,9 kW |

| | | |
|------------|--------|--------|
| Errore (%) | 0,04 % | 0,07 % |
|------------|--------|--------|

Caso D: traiettoria a cinque gradini
bassa risoluzione delle misure

| | P_{nom} | P_{gen} |
|--------|---------------|--------------|
| Valore | 111,330 kW | 48,950 kW |

| | | |
|------------|--------|--------|
| Errore (%) | 1,04 % | 2,10 % |
|------------|--------|--------|

Caso E: traiettoria a tre
gradini presenza di rumore

- In presenza di bassa risoluzione delle misure o di rumore, il metodo converge verso soluzioni molto vicine al risultato atteso, indipendentemente dal punto iniziale del metodo iterativo e dalla quantità di punti di misura.

- Piccoli scostamenti tra valore presunto del coefficiente k_p e quello reale conducono a risultati soddisfacenti
- Es. 1 : nel caso D, utilizzando k_p con valore 1,45 e 1,55 (anziché 1,5), l'errore sulla stima di P_{gen} è circa il 7,0%
- Es. 2: nel caso E, caratterizzato da un numero più elevato di punti di misura, ma un numero più basso di gradini di tensione, utilizzando k_p con valore 1,45 e 1,55, è stato ottenuto un errore percentuale del 5,0% e 8,8%

Riassunto dei risultati

- 1) Implementazione di una infrastruttura, basata su connessione VPN, adatta ad eseguire una co-simulazione *remota* includente Power Hardware-in-the-Loop
- 2) Analisi delle prestazioni della connessione VPN
- 3) Utilizzo di un carico programmabile di tipo R-L, connesso ad un generatore programmabile, controllato dal sistema real-time in PoliBa ed interconnesso ad una rete Media tensione simulata presso PoliTo
- 4) Confronto dei risultati in simulazioni locale e remota
- 5) Identificazione delle variabili tensione e potenza attiva come variabili di scambio informativo tra i due simulatori
- 6) Implementazione di un metodo di stima per la produzione da rinnovabile sottesa a cabina secondaria, che può essere facilmente estesa anche alla cabina primaria

Principali pubblicazioni collegate

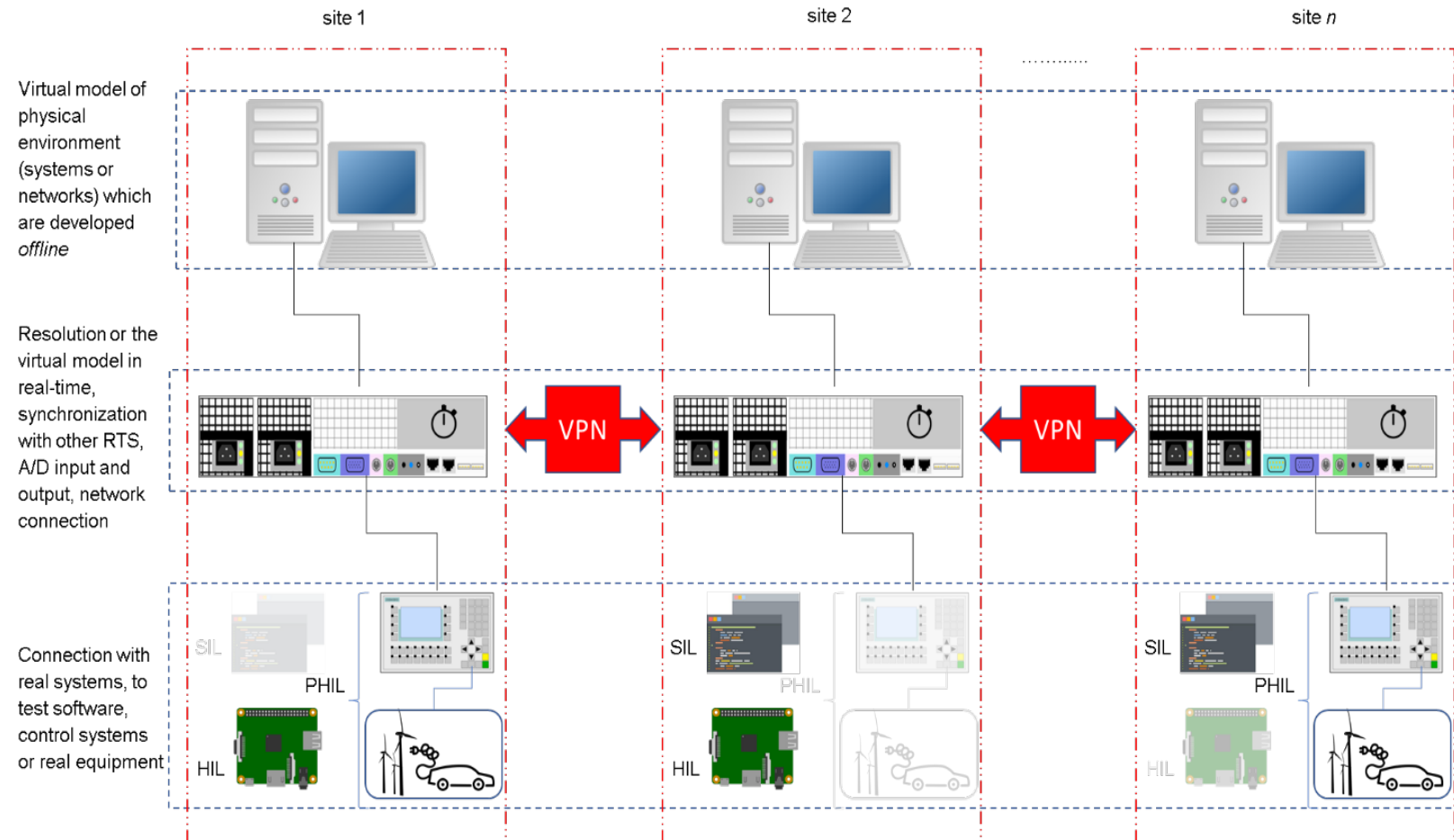
- [1] E. Bompard, S. Bruno, S. Frittoli, G. Giannoccaro, M. La Scala, A. Mazza, E. Pons and C. Rodio, "Remote PHIL Distributed Co-Simulation Lab for TSO-DSO-Customer Coordination Studies", *AEIT 2020 International Annual Conference*, Sep. 23-25 2020.
- [2] S. Bruno, G. Giannoccaro, M. La Scala, C. Rodio, E. Bompard, G. Chicco, A. Mazza, E. Pons, "Co-simulazione multi-sito e cooperazione tra laboratori", *AEIT*, Vol. 106, No. 7/8, pp. 39-55, Jul./Aug. 2020 (ISSN 1825-828X).
- [3] E. Bompard, S. Bruno, A. Cordoba-Pacheco, C. Diaz-Londono, G. Giannoccaro, M. La Scala, A. Mazza, E. Pons, "Connecting in Real-time Power System Labs: an Italian Test-case", *20th International Conference on Environmental and Electrical Engineering (EEEIC 2020)*, Madrid, Spain, June 9-12 2020.

Now...What else?

ENSIEL REAL TIME DISTRIBUTION-LAB

- La connessione tra i laboratori di **Torino** e **Bari** e la proficua collaborazione con l'unità di **Genova** ha portato a concepire il primo nucleo di quello che sarà il *nodo italiano real-time*, sotto l'egida del **Consorzio EnSIEL – Consorzio Interuniversitario nazionale per l'Energia e Sistemi Elettrici**
- Il laboratorio si pone **obiettivi ambiziosi**:
 - Rafforzare il **filone culturale** della simulazione real-time nella comunità accademica nazionale
 - Consolidare la **collaborazione tra le diverse unità di ricerca**, che permetta la **presentazione di proposte di ricerca comuni**, la condivisione delle proprie competenze e **un'attività sinergica nei settori chiave dei sistemi elettro-energetici**
 - Aumentare la **consapevolezza delle potenzialità della simulazione real-time** anche in quei settori in cui non è mai stata usata storicamente (ad es. per creare un “digital twin” del Sistema elettrico)
 - Essere **competitivo rispetto ad analoga infrastruttura real-time Europea** e essere un partner appetibile per i consorzi che via via si formeranno

Schema di principio della connessione



- n siti, per i quali è possibile riconoscere tre livelli
 - *Livello di modellazione off-line*
 - *Livello di calcolo in real-time*
 - *Livello di connessione con elementi esterni alla simulazione real-time, sia software che hardware*
- La messa a sistema delle risorse delle tre unità costituisce un **unicum nel panorama nazionale**, poiché composto da microreti in funzione o di ricerca ed emulatore di carico e storage tali da permettere l'implementazione di numerosi casi studio nell'ambito delle *smart grids*

Grazie per l'attenzione