**Bando di gara per progetti di ricerca di cui all'art. 10, comma 2, lettera b) del decreto 26 gennaio 2000, previsti dal Piano triennale 2019-2021 della Ricerca di sistema elettrico nazionale 1.2 Accumulo elettrochimico**

**Decreto MISE 7 dicembre 2020**

# Virtual Storage per la Fast Reserve e servizi integrati di inerzia sintetica, peak shaving e load levelling

## ViStoFaRe

# Deliverable D4.1

## Definizione dei test case e dei KPI

**REPORT TECNICO**

## CSEAB_00326

# SOMMARIO

**1. ABSTRACT ..... 3**
**2. CONTESTO REGOLATORIO ..... 4**
2.1 REQUISITI RELATIVI ALLA MISURA DELLA FREQUENZA ..... 4
2.2 MISURA DELL'ENERGIA EROGATA PER BLOCCO ORE DI DISPONIBILITÀ ..... 4
2.3 POTENZA FORNITA E TEMPI DI RISPOSTA ..... 4
2.4 SISTEMI DI MONITORAGGIO ..... 5
*Requisiti di misura e scambio informazioni con TERNA ..... 5*
2.5 PROVE TECNICHE DI CONFORMITÀ DELLA FAST RESERVE UNIT ..... 6
2.6 VERIFICA DELLA PRESTAZIONE DEL SERVIZIO ..... 6
**3. DEFINIZIONE DEI KEY PERFORMANCE INDICATOR ..... 9**
3.1 POTENZA ..... 9
3.2 ENERGIA ..... 11
3.3 INERZIA VIRTUALE ..... 12
**4. DEFINIZIONE DEI TEST CASE ..... 15**
**RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI ..... 16**

# 1. ABSTRACT

In questa linea di attività sono stati individuati un insieme di scenari sperimentali allo scopo di valutare le prestazioni del dispositivo StorInPlus nell'erogazione dei servizi previsti all'interno del progetto (inerzia sintetica, fast reserve, peak shaving e load levelling). Inoltre, sono stati identificati un insieme di Key Performance Indicator (KPI), opportunamente definiti in relazione alle caratteristiche dei servizi.

La restante parte del documento è costituita da tre sezioni:

1. **Contesto Regolatorio**, nel quale viene descritta il regolamento di TERNA per la fornitura del servizio di regolazione ultra-rapida. In questa sezione vengono presentati i dettagli relativi ai requisiti per:
    - la misura della frequenza;
    - la misura dell'energia erogata;
    - la potenza fornita e i tempi di risposta;
    - il sistema di monitoraggio;
    - le prove tecniche di conformità della fast reserve unit;
    - la verifica della prestazione del servizio.
2. **Key Performance Indicator – KPI**, nel quale vengono presentati gli indici che saranno utilizzati per valutare le prestazioni dello StoreInPlus.
3. **Definizione dei Test Case**, nel quale vengono descritti gli scenari sperimentali che saranno utilizzati per valutare le prestazioni del dispositivo StorInPlus nell'erogazione dei servizi forniti all'interno del progetto.

# 2. CONTESTO REGOLATORIO

Il regolamento di TERNA [1] definisce i requisiti e le modalità per la partecipazione al progetto pilota relativo alla fornitura del servizio di regolazione ultra-rapida di frequenza (*Fast Reserve* - FR). Il progetto si inquadra nell'ambito della delibera dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente 300/2017/R/eel. Il servizio si inserisce nel più ampio quadro della transizione energetica i cui principali obiettivi saranno contenuti all'interno del Piano Nazionale Integrato per l'Energia e il Clima 2030.

Nel seguito sono riportati degli estratti del regolamento, utili alla definizione dei test da effettuare e dei KPI necessari per la validazione del sistema realizzato e l'analisi delle prestazioni.

## 2.1 REQUISITI RELATIVI ALLA MISURA DELLA FREQUENZA

Qualunque sia lo schema adottato, si richiede che la precisione della misura di frequenza sia migliore dello 0,02% del valore nominale, in qualsiasi condizione di funzionamento.

## 2.2 MISURA DELL'ENERGIA EROGATA PER BLOCCO ORE DI DISPONIBILITÀ

Al solo fine di tenere in considerazione l'accuratezza della catena di misura della capacità energetica, è ammessa una riduzione massima, rispetto al valore atteso (Soglia di Tolleranza in Energia), non superiore al 2% di quello richiesto a inizio Blocco di Ore di Disponibilità.

## 2.3 POTENZA FORNITA E TEMPI DI RISPOSTA

Il controllore dovrà permettere qualunque inversione dell'attivazione, senza soluzione di continuità e nel tempo di risposta massimo di 1 secondo, tra contributi a salire e a scendere.

La precisione della regolazione, considerata comprensiva sia degli errori di misura delle grandezze utilizzate che della precisione statica del sistema di controllo, deve rispettare i seguenti requisiti (Figura 1, riportata nella Sezione 3 per agevolare la comprensione della definizione dei KPI):

a) **Precisione dinamica**: in caso di variazioni della deviazione di frequenza tali da determinare l'attivazione del servizio (ovvero del set-point di telepilotaggio come successivamente riportato), non è ammesso che l'effettivo scambio di potenza sia esterno all'area tratteggiata visibile in Figura 1;
b) **Precisione statica**: trascorso 1 secondo dalla variazione della deviazione di frequenza che ha determinato l'attivazione del servizio (ovvero del set-point di telepilotaggio come

successivamente riportato), e in assenza di ulteriori variazioni (ad esempio per variazione a gradino della frequenza o per telepilotaggio costante), è ammesso che l'effettivo scambio di potenza si discosti al più del ±1% della Potenza Qualificata rispetto al valore atteso.

## 2.4 SISTEMI DI MONITORAGGIO

La Fast Reserve Unit dovrà essere dotata, a livello di singolo Dispositivo, dell'Unità per la Verifica della Regolazione Rapida di Frequenza (UVRF), dell'apparato di misura Phasor Measurement Unit (PMU), collegata ai sistemi del Gestore per il tramite di protocollo IEC37.118, e dell'Unità Periferica di Distacco e Monitoraggio (UPDM), ai fini dell'asservimento al Sistema di Difesa. Per il tramite dell'apparato UPDM deve essere possibile, in ambo i versi, attivare la risposta della FR con un tempo massimo di 200ms dalla ricezione del comando sull'apparato UPDM. Per Dispositivi connessi direttamente alla RTN dovrà essere disponibile anche il comando di apertura dell'interruttore del Dispositivo che deve rispettare gli stessi tempi di risposta.

Si applicano a tal fine le prescrizioni presenti nelle corrispondenti sezioni del Codice di Rete.

### Requisiti di misura e scambio informazioni con TERNA

Il titolare della Fast Reserve Unit è tenuto a rendere disponibile a TERNA tutte le informazioni necessarie al monitoraggio e al controllo della stessa.

Fermo restando che con riferimento ai Dispositivi che ricadono nelle prescrizioni del Codice di rete, si applicano le corrispondenti disposizioni, i titolari dovranno rendere disponibili a TERNA in tempo reale e archiviare in maniera permanente le seguenti informazioni concernenti la Fast Reserve Unit, in aggiunta a quanto previsto per le Unità di Produzione:

a) Stato di capacità energetica equivalente in caso di presenza di almeno un Dispositivo a capacità energetica limitata (indicativa sia del margine residuo nel senso della scarica che della carica);
b) Stato di disponibilità al servizio di riserva ultra-rapida;
c) Potenza attiva erogata;
d) Potenza attiva assorbita;
e) Margine residuo, in riferimento della Potenza Qualificata, sia nel verso a salire che a scendere.

TERNA si riserva in ogni caso la facoltà di richiedere al titolare l'invio in tempo reale e l'archiviazione di ulteriori parametri rappresentativi dello stato della Fast Reserve Unit.

Le grandezze individuate saranno acquisite dalla Remote Terminal Unit e dovranno essere inviate a TERNA tramite protocollo IEC 60870-5-104, con periodo di aggiornamento non superiore a 4 secondi.

## 2.5 PROVE TECNICHE DI CONFORMITÀ DELLA FAST RESERVE UNIT

Al momento della prima qualificazione al servizio, è richiesta l'esecuzione di specifiche prove reali per confermare le caratteristiche tecniche e la conformità dell'impianto alle prescrizioni contenute nel presente documento.

I risultati, comprensivi delle registrazioni delle prove, dovranno essere contenuti in una relazione dettagliata e forniti a TERNA, la quale potrà richiedere l'inclusione e svolgimento di ulteriori prove non già elencate nel seguito.

In particolare, dovranno essere svolte le seguenti tipologie di prove:

a) Rilevamento della capability e, per Fast Reserve Unit costituite da Dispositivi a capacità energetica limitata, la verifica della capacità energetica minima in riferimento alla Potenza Qualificata;
b) Per entrambe le modalità di funzionamento, la verifica dei tempi di attivazione inferiori ad 1 secondo e la corretta implementazione delle logiche di attivazione;
c) Prove di attivazione rapida da UPDM, entro i 200ms, comprensive di prove di inversione completa;
d) La verifica della funzione di gestione dello stato di capacità energetica, laddove implementata.

Le prove saranno svolte a più livelli di carico e, nel caso di Fast Reserve Unit costituite da Dispositivi a capacità energetica limitata, a diversi livelli dello stato energetico compatibili con il servizio.

Per garantire nel tempo la sicurezza di esercizio è prescritto che si effettui una verifica periodica delle prestazioni secondo il sopracitato elenco a÷d.

## 2.6 VERIFICA DELLA PRESTAZIONE DEL SERVIZIO

Ai fini delle verifiche di cui al presente articolo, TERNA utilizza sia i dati registrati che i dati inviati in tempo reale dalla UVRF a cui la Fast Reserve Unit è connessa con le modalità specificate nell'Allegato 3 al Regolamento.

TERNA, in ciascun Blocco di Ore di Disponibilità e fatta salva in ogni caso la franchigia individuata dal Numero di Ore di Manutenzione Indifferibili, verifica che ciascuna Fast Reserve Unit:

a) sia disponibile all'erogazione del servizio in ciascun Blocco di Ore di Disponibilità, indipendentemente dall'eventualità che si registrino all'interno del medesimo Blocco di Ore di Disponibilità errori di frequenza sulla rete tali da determinare l'attivazione della Fast Reserve Unit.

Tale verifica avrà esito positivo qualora i Dispositivi ricompresi all'interno della Fast Reserve Unit si trovino in modalità di connessione "attiva", ossia siano in grado di scambiare potenza con la rete entro 1 secondo dal verificarsi di un errore di frequenza o dalla variazione del set-point di telepilotaggio tale da determinare l'attivazione del servizio.

b) eroghi correttamente il Servizio secondo quanto previsto ai successivi commi del presente articolo 4.

c) costituita da almeno un Dispositivo a capacità energetica limitata, disponga, per l'intera durata del Blocco di Ore di Disponibilità, di una capacità energetica tale da consentire uno scambio stabile di potenza con la rete, sia a salire sia a scendere, pari alla Potenza Qualificata per almeno 15 minuti, al netto della variazione di capacità energetica dovuta all'erogazione del servizio di regolazione ultra-rapida. Tale capacità energetica deve essere ripristinata ogni 2 ore.

Ai fini della verifica TERNA delle prestazioni in termini di potenza, per ciascuna Fast Reserve Unit e per ciascun evento di attivazione del servizio o in caso di attivazione pilotata tramite invio di set-point da parte di TERNA (nel seguito: Evento di Attivazione):

a) costruisce il profilo di regolazione in potenza atteso, sulla base di quanto indicato nell'Allegato 3 al Regolamento e considerando come riferimento la misura della potenza scambiata all'istante di inizio dell'Evento di Attivazione;

b) calcola la soglia di tolleranza massima di errore in potenza (Soglia Di Tolleranza), pari al valore di precisione della regolazione previsto nell'Allegato 3;

c) somma e sottrae la Soglia Di Tolleranza di cui alla precedente lettera b. al profilo di cui alla precedente lettera a. al fine di ricavare una Fascia di Tolleranza valida da applicare all'intero profilo di regolazione in potenza;

d) identifica, con una frequenza di campionamento pari a 1 secondo, un numero di campioni temporali di verifica, comunque non superiore al numero di campioni di verifica appartenenti all'evento considerato;

e) verifica per ciascun campione temporale di verifica che il valore della misura della potenza scambiata dalla Fast Reserve Unit al Punto di Verifica del servizio sia ricompreso nella Fascia di Tolleranza di cui alla precedente lettera c).

Resta inteso che, nel caso in cui all'interno di un Blocco di Ore di Disponibilità si verifichi più di un Evento di Attivazione, TERNA definisce un numero totale di campioni di verifica pari alla somma dei campioni di verifica appartenenti a ciascun evento di attivazione compreso all'interno del Blocco di Ore di Disponibilità.

Ai fini della verifica delle prestazioni in termini di Blocchi di Ore di Disponibilità, TERNA, indipendentemente dal manifestarsi di un Evento di Attivazione:

a) costruisce il profilo di regolazione in potenza atteso, sulla base di quanto indicato nell'Allegato 3 al Regolamento;
b) calcola l'energia attesa (integrale della potenza attesa per l'erogazione del servizio) al Punto di Verifica del servizio su tutti i campioni temporali di verifica che costituiscono il Blocco di Ore di Disponibilità analizzato;
c) calcola il profilo della capacità energetica residua, sia a salire che a scendere (scontando alla capacità minima attesa a inizio del Blocco di Ore di Disponibilità il valore di energia attesa) su tutti i campioni temporali di verifica che costituiscono il Blocco di Ore di Disponibilità analizzato;
d) calcola la soglia di tolleranza massima di errore in energia (Soglia Di Tolleranza in Energia), pari al valore di precisione previsto nell'Allegato 3;
e) definisce la Fascia di Tolleranza in Energia da applicare all'intero profilo di capacità energetica disponibile (sia a salire che a scendere) sommando e sottraendo la Soglia Di Tolleranza in Energia di cui alla precedente lettera d) al profilo derivante dalla precedente lettera c);
f) identifica, con una frequenza di campionamento pari a 1 secondo, un numero di campioni temporali di verifica, comunque non superiore al numero di campioni di verifica appartenenti al Blocco di Ore di Disponibilità analizzato;
g) verifica per il Blocco di Ore di Disponibilità che il valore della misura acquisita dello stato di capacità energetica equivalente sia ricompreso nella Fascia di Tolleranza in Energia di cui alla precedente lettera e, sia a salire sia a scendere.

# 3. DEFINIZIONE DEI KEY PERFORMANCE INDICATOR

In questa sezione vengono definiti i KPI che saranno utilizzati nel corso del progetto per valutare le prestazioni del dispositivo StorInPlus.

I KPI sono suddivisi in tre diversi gruppi (a seconda delle variabili che devono essere analizzate): potenza, energia e inerzia sintetica.

## 3.1 POTENZA

Si propone di realizzare:

- $n$ test con variazioni "sintetiche" di frequenza;
- $m$ test con variazioni di set point remoto;
- $p$ test con variazioni "sintetiche" sia di frequenza che di set-point remoto;
- $q$ test con profilo reale di frequenza.

Si definisce un profilo di riferimento di potenza da inseguire ad ogni tempo $t$, $P^*(t)$ con un campionamento di $t_c^a = 1$ s per l'analisi della **precisione statica** e di $t_c^b = 100$ ms per l'analisi della **precisione dinamica**.

Per la **precisione statica**, TERNA prescrive Soglia di Tolleranza in Potenza (SdTP) di $\pm 1\%$ della Potenza Qualificata $P_Q$. Possiamo quindi definire per un test di durata $T+1$ (numero di campioni dato il tempo di campionamento $t_c^a$):

$$KPI_{FR}^1 = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q}\sum_{t=0}^{T}|P(t) - P^*(t)|$$

$$KPI_{FR}^2 = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q}\sum_{t=0}^{T}\max\left(P(t) - \left(P^*(t) + 0.01P_Q\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P^*(t) - 0.01P_Q\right), 0\right)$$

$$KPI_{FR}^3 = \frac{100}{T+1}\sum_{t=0}^{T}\delta(t)$$

dove

$$\delta(t) = 1 \; se \; e \; solo \; se \; \left(\max\left(P(t) - \left(P^*(t) + 0.01P_Q\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P^*(t) - 0.01P_Q\right), 0\right)\right) > 0$$

Di seguito spieghiamo il significato di ogni KPI definito:

- $KPI_{FR}^{1}$ misura il MAPE (Mean Absolute Percentage Error) di inseguimento del riferimento, normalizzato rispetto a $P_Q$. È un indice puramente prestazionale che non è valutato da TERNA. La prestazione è da considerarsi migliore quanto più questo valore è vicino a 0.
- $KPI_{FR}^{2}$ valuta il valore medio percentuale, sempre rispetto a $P_Q$, di violazione della SdTP. Idealmente deve essere 0.
- $KPI_{FR}^{3}$ valuta la percentuale di violazioni della SdTP. Idealmente deve essere 0.

L'obiettivo è perciò minimizzare $KPI_{FR}^{1}$ e azzerare $KPI_{FR}^{2}$ e $KPI_{FR}^{3}$.

Per la **precisione dinamica** si prevede che la potenza effettivamente scambiata dalla Fast Reserve Unit sia all'interno della maschera in Figura 1.

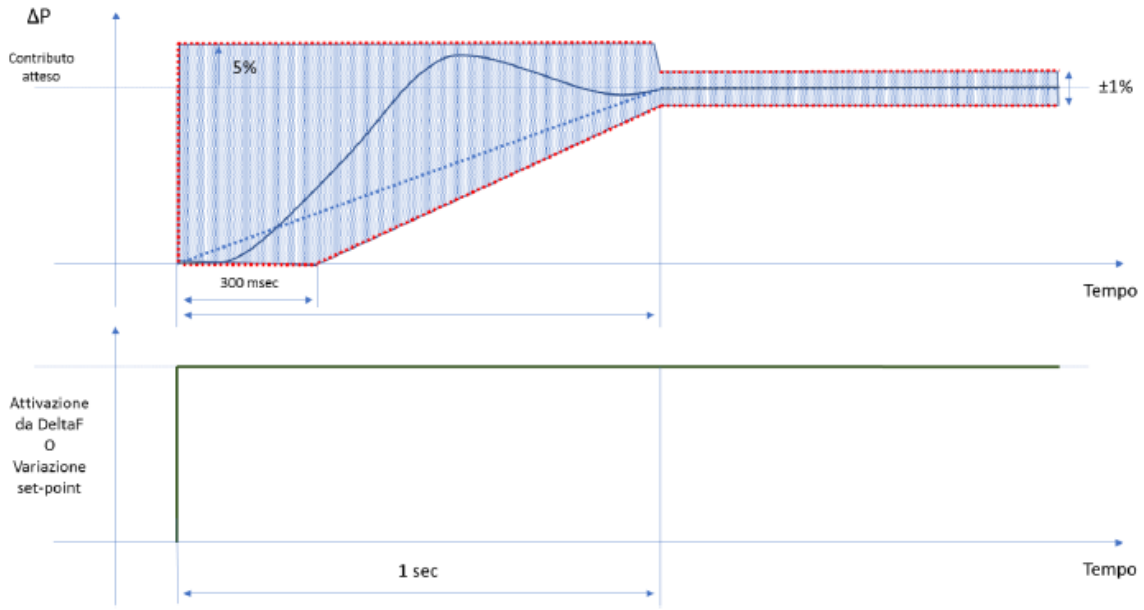


*Figura 1 - Requisiti TERNA di risposta dinamica e statica.*

Pertanto, dato $P^*(t)$ sono opportunamente definite la soglia di tolleranza a salire $\Delta P^+(t)$ e $\Delta P^-(t)$, date le quali, possiamo definire per un test di durata $T+1$ (numero di campioni dato il tempo di campionamento $t_c^b$):

$$KPI_{FR}^{4} = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q}\sum_{t=0}^{T}|P(t) - P^*(t)|$$

$$KPI_{FR}^{5} = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q}\sum_{t=0}^{T}\max(P(t) - (P^*(t) + \Delta P^+(t)), 0) - \min\big(P(t) - \big(P^*(t) - (P^*(t) + \Delta P^+(t))\big), 0\big)$$

$$KPI_{FR}^{6} = \frac{100}{T+1}\sum_{t=0}^{T}\delta(t)$$

dove

$\delta(t) = 1\ se\ e\ solo\ se$

$$\left(\max\left(P(t) - \left(P^*(t) + \left(P^*(t) + \Delta P^+(t)\right)\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P^*(t) - \left(P^*(t) - \Delta P^-(t)\right)\right), 0\right)\right) > 0$$

Di seguito spieghiamo il significato di ogni KPI definito:

- $KPI_{FR}^{4}$ misura il MAPE (Mean Absolute Percentage Error) di inseguimento del riferimento, normalizzato rispetto a $P_Q$. È un indice puramente prestazionale che non è valutato da TERNA. La prestazione è da considerarsi migliore quanto più questo valore è vicino a 0.
- $KPI_{FR}^{5}$ valuta il valore medio percentuale, sempre rispetto a $P_Q$, di violazione della SdTP. Idealmente deve essere 0.
- $KPI_{FR}^{6}$ valuta la percentuale di violazioni della SdTP. Idealmente deve essere 0.

L'obiettivo è perciò minimizzare $KPI_{FR}^{4}$ e azzerare $KPI_{FR}^{5}$ e $KPI_{FR}^{6}$.

## 3.2 ENERGIA

Supponendo di esaminare un funzionamento prolungato del sistema per $G$ giorni, dato il blocco orario ad un dato tempo $t$ campionato ogni secondo (con $t_c^a$) si definiscono le capacità energetiche attesa a salire $CEA^+(t)$ e a scendere $CEA^-(t)$ come

$$CEA^+(t) = CEA_{Bh} - CEE^+(t)$$

$$CEA^-(t) = CEA_{Bh} - CEE^-(t)$$

dove $CEA_{Bh}$è la capacitò energetica attesa per il Blocco Orario ($Bh$) corrente, $CEE^+(t)$ è la capacità energetica erogata a salire al tempo $t$ (calcolata come l'integrale della potenza) e $CEE^-(t)$ è la capacità energetica erogata a scendere al tempo $t$ (calcolata come l'integrale della potenza).

Definiamo poi la $CED^+(t)$ e $CED^-(t)$ come le capacità energetiche disponibili a salire e a scendere da stabilire sulla base dello stato di carica della/e batteria/e.

Sulla base del regolamento TERNA $CEA^+(t)$ e $CEA^-(t)$ devono essere garantite con una Soglia di Tolleranza di Energia (SdTE) del 2% della $CEA_{Bh}$.

Supposta $T$ come durata del/i test in secondi, possiamo definire:

$$KPI_E^1 = \frac{1}{T+1}\sum_{t=0}^{T}[a(t) + b(t)]$$

$$a(t) = \max(CEA_{Bh} - CEE^{+}(t) - 0.02CEA_{Bh} - CED^{+}(t), 0)$$

$$b(t) = \max(CEA_{Bh} - CEE^{-}(t) - 0.02CEA_{Bh} - CED^{-}(t), 0)$$

$$KPI_E^2 = \frac{100}{T+1}\sum_{t=0}^{T}\delta(t)$$

$$\delta(t) = 1 \; se \; e \; solo \; se \; a(t) > 0 \; o \; b(t) > 0$$

Di seguito spieghiamo il significato di ogni KPI definita:

- $KPI_E^1$ misura il valor medio di violazione dei requisiti di disponibilità energetica (in Wh o normalizzando rispetto a $CEA_{Bh}$. Idealmente deve essere 0.
- $KPI_E^2$ valuta la percentuale di violazioni della SdTE. Idealmente deve essere 0.

### 3.3 INERZIA VIRTUALE

Per validare il servizio di Inerzia Virtuale si suppone di realizzare:

- $n$ test di variazioni di frequenza "sintetiche"
- $m$ test di variazioni di frequenza reali.

Definiamo quindi due diversi segnali di riferimento, $P_{id}^*(t)$ per il caso di prove con frequenza "sintetica" e $P^*(t)$ per il caso con frequenza reale:

- $P_{id}^*(t)$: riferimento ideale, calcolato sulla base della derivata della frequenza sintetica, che può essere calcolata senza errori e rumore:

$$P_{id}^*(t) = -2H_{vir}\frac{df_{syn}}{dt}(t)$$

- $P^*(t)$: riferimento "reale", calcolato sulla base della RoCoF calcolata dal relativo modulo:

$$P^*(t) = -2H_{vir}RoCoF(t)$$

In entrambi i casi, $H_{vir}$ è il valore di inerzia virtuale che si intende realizzare e il tempo di campionamento $t_c$ è fissato a 1 ms.

Supponiamo di fissare una soglia di tolleranza anche per l'Inerzia Virtuale pari a $tol_{IV} = 5\%$ e un valore di massima variazione realizzabile (potenza qualificata per l'Inerzia Virtuale) $P_Q^{IV}$ e definiamo le seguenti KPI per test di durata $T+1$ (numero di campioni):

$$KPI_{IV}^{1} = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q^{IV}}\sum_{t=0}^{T}|P(t) - P_{id}^{*}(t)|$$

$$KPI_{IV}^{2} = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q}\sum_{t=0}^{T}\max\left(P(t) - \left(P_{id}^{*}(t) + tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P_{id}^{*}(t) - tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right)$$

$$KPI_{IV}^{3} = \frac{100}{T+1}\sum_{t=0}^{T}\delta(t)$$

$$\delta(t) = 1 \; se \; e \; solo \; se \; \left(\max\left(P(t) - \left(P_{id}^{*}(t) + tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P_{id}^{*}(t) - tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right)\right) > 0$$

$$KPI_{IV}^{4} = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q^{IV}}\sum_{t=0}^{T}|P(t) - P^{*}(t)|$$

$$KPI_{IV}^{5} = \frac{1}{T+1}\frac{1}{P_Q}\sum_{t=0}^{T}\max\left(P(t) - \left(P^{*}(t) + tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P^{*}(t) - tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right)$$

$$KPI_{IV}^{6} = \frac{100}{T+1}\sum_{t=0}^{T}\delta(t)$$

$$\delta(t) = 1 \; se \; e \; solo \; se \; \left(\max\left(P(t) - \left(P^{*}(t) + tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right) - \min\left(P(t) - \left(P^{*}(t) - tol_{IV}P_Q^{IV}\right), 0\right)\right) > 0$$

Si rimarca che $KPI_{IV}^{1-3}$ si utilizza $P_{id}^{*}$ che può essere definito solo per le variazioni "sintetiche" di frequenza. In $KPI_{IV}^{4-6}$ si utilizza $P^{*}$.

Data questa differenza:

- $KPI_P^{1/4}$ misurano il MAPE (Mean Absolute Percentage Error) di inseguimento del riferimento, normalizzato rispetto a $P_Q^{IV}$.
- $KPI_P^{2/5}$ valuta il valore medio percentuale, sempre rispetto a $P_Q^{IV}$, di violazione della soglia di tolleranza. Idealmente deve essere 0.
- $KPI_P^{3/6}$ valuta la percentuale di violazioni della soglia di tolleranza. Idealmente deve essere 0.

L'obiettivo in generale deve essere di minimizzare $KPI_P^{1/4}$ e azzerare gli altri quattro indici.

# 4. DEFINIZIONE DEI TEST CASE

Per verificare le prestazione del dispositivo StorInPlus e valutare i KPI descritti in precedenza, occorre effettuare delle verifiche sperimentali, collegando l'inverter a un gruppo elettrogeno, in grado di far variare la frequenza elettrica.

Questo consente di valutare la risposta in potenza dello StorInPlus, per i servizi di fast reserve e inerzia sintetica. La misura della potenza erogata dall'inverter può essere ottenuta mediante sonde di tensione e corrente all'interfaccia tra il convertitore e il gruppo elettrogeno.

Per valutare i $KPI_{FR}1$-6 occorre variare la frequenza di rete (emulata dal gruppo elettrogeno) a gradino, discostandosi dal valore nominale di 50 Hz, nel range [49.5 50.5] Hz. Occorre altresì imporre dei profili di potenza da remoto, in un range [-10 +10] kW rispetto alla potenza qualificata. Il servizio di fast reserve prevede infatti una risposta in potenza dipendente sia dal riferimento esterno, sia dalla deviazione della frequenza di rete dal valore nominale. Per la valutazione dei KPI occorre confrontare il valore di potenza fornito dall'inverter con quello desiderato, corrispondente al servizio di fast reserve.

Per valutare i $KPI_{VI}1$-6 occorre applicare un profilo di frequenza che scende linearmente passando dal valore nominale ad un valore inferiore. Dopo alcune centinaia di millisecondi, la frequenza viene riportata linearmente al valore nominale. Anche questo caso, viene confrontata la potenza erogata dall'inverter con quella teorica.

## RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] TERNA, "Requisiti tecnici dei dispositivi inclusi in fast reserve unit", Progetto pilota ai sensi della delibera 300/2017/R/eel dell'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente, Allegato 3.