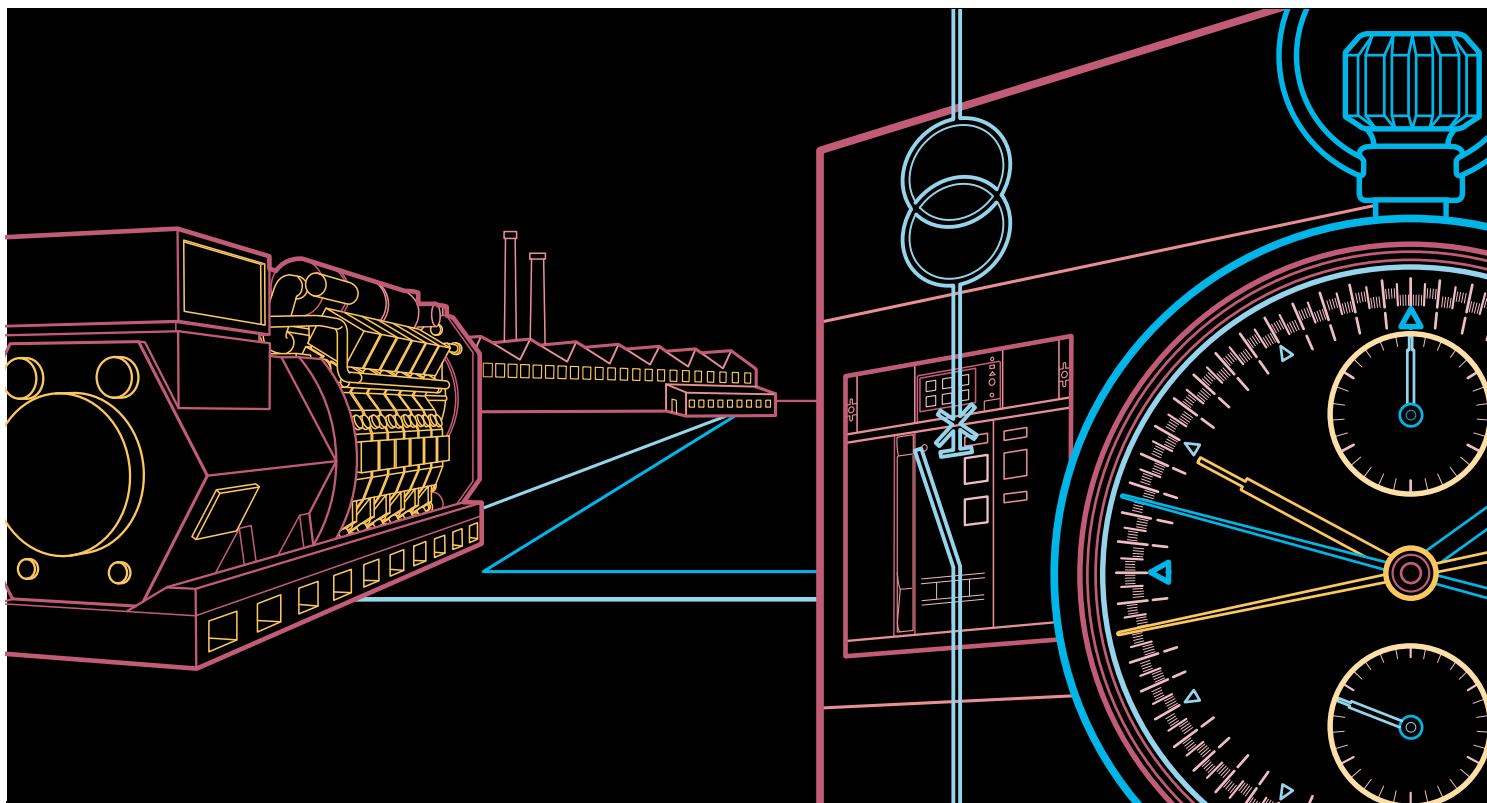




White Paper - versione preliminare

Emax 2, all-in-one innovation

Sincronismo e Richiusura

Indice

Introduzione	2
Emax 2, soluzione integrata	3
Vantaggi	4
Soluzione salvaspazio	4
Facilità d'uso	4
Modalità di funzionamento	5
Sincronizzazione automatica	5
Principio di funzionamento	5
Logica di controllo	7
Software per la messa in servizio Ekip Connect 3.0	8
Esempio di applicazione	9
Schema elettrico per la sincronizzazione automatica	11
Richiusura automatica	12
Principio di funzionamento	12
Software per la messa in servizio Ekip Connect 3.0	13
Analisi di sensibilità	16
Ipotesi dell'software applicativo	21
Esempio di applicazione	23
Schema elettrico per la richiusura automatica	25
Distinta pezzi	26
Allegato A – Ekip Synchrocheck	27
Allegato B - Ekip Signalling	29
Allegato C - Ekip Link	31

Emax 2

Sincronismo e Richiusura

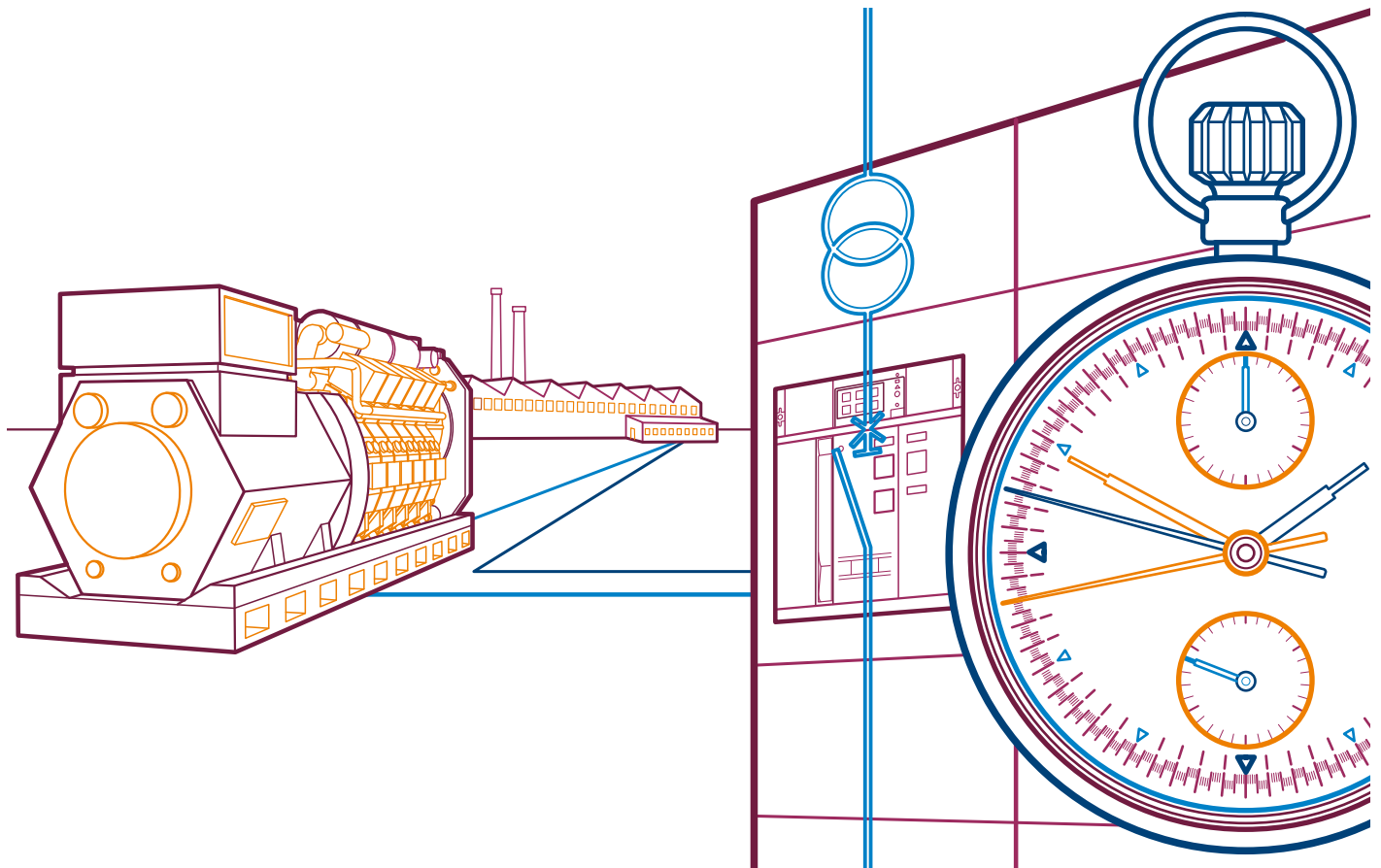
Introduzione

La distribuzione elettrica si sta evolvendo da una tradizionale configurazione verticale delle reti ad un approccio "Next Level" con risorse di energia distribuita. Accanto a grandi centrali elettriche, si sta profilando una costellazione di generatori su piccola scala che modificano il flusso dell'energia, assicurando un sistema di produzione e consumo dell'energia al medesimo livello di bassa tensione. La breve distanza fra sorgente e utenza garantisce un maggiore grado di affidabilità del sistema elettrico, riducendo le linee impiegate per la trasmissione, aumentando l'autonomia energetica e migliorando la qualità dell'energia stessa. La marcata tendenza verso la creazione di microgrid è frutto della trasformazione della topologia del sistema e innesca una vera e propria rivoluzione nell'era dell'energia digitale. Una microgrid è, per definizione, una rete di bassa tensione in grado di operare sia in modalità collegata alla rete di media tensione che in isola. Per questo motivo, assicura flessibilità nella distribuzione dell'energia sia per le reti di distribuzione che per i produttori di energia, oltre ad un elevato grado di elasticità nella gestione di reti di distribuzione piuttosto deboli, come accade nei villaggi rurali, ancora isolate dai progetti di elettrificazione.

Tutto ciò è possibile grazie ad una soluzione avanzata di integrazione fra dispositivi e macchine, che provveda a funzioni di monitoraggio e controllo. Nello specifico, l'interfaccia con la rete principale riveste un ruolo di primaria importanza per raggiungere tutti i destinatari di una microgrid. Gli interruttori non sono solo componenti di protezione fondamentali nella configurazione di un impianto elettrico, ma presiedono anche alla gestione delle risorse della microgrid, in quanto intervengono direttamente nello scollegamento e nella riconnessione dell'impianto.

Il presente White Paper ha l'obiettivo di spiegare come l'interruttore Emax 2 di ABB gestisca due operazioni fondamentali della microgrid sfruttando le funzioni e la logica integrate, ossia:

- sincronizzazione automatica della microgrid supportata da Emax 2, che gestisce la generazione locale in base alle misure eseguite nel punto di interfacciamento con la rete principale.
- richiusura automatica dell'interruttore d'interfaccia, ovvero Emax 2, quando la rete principale raggiunge la stabilità e le condizioni soddisfano le impostazioni di sincronismo, facilmente definite durante la fase di messa in servizio.



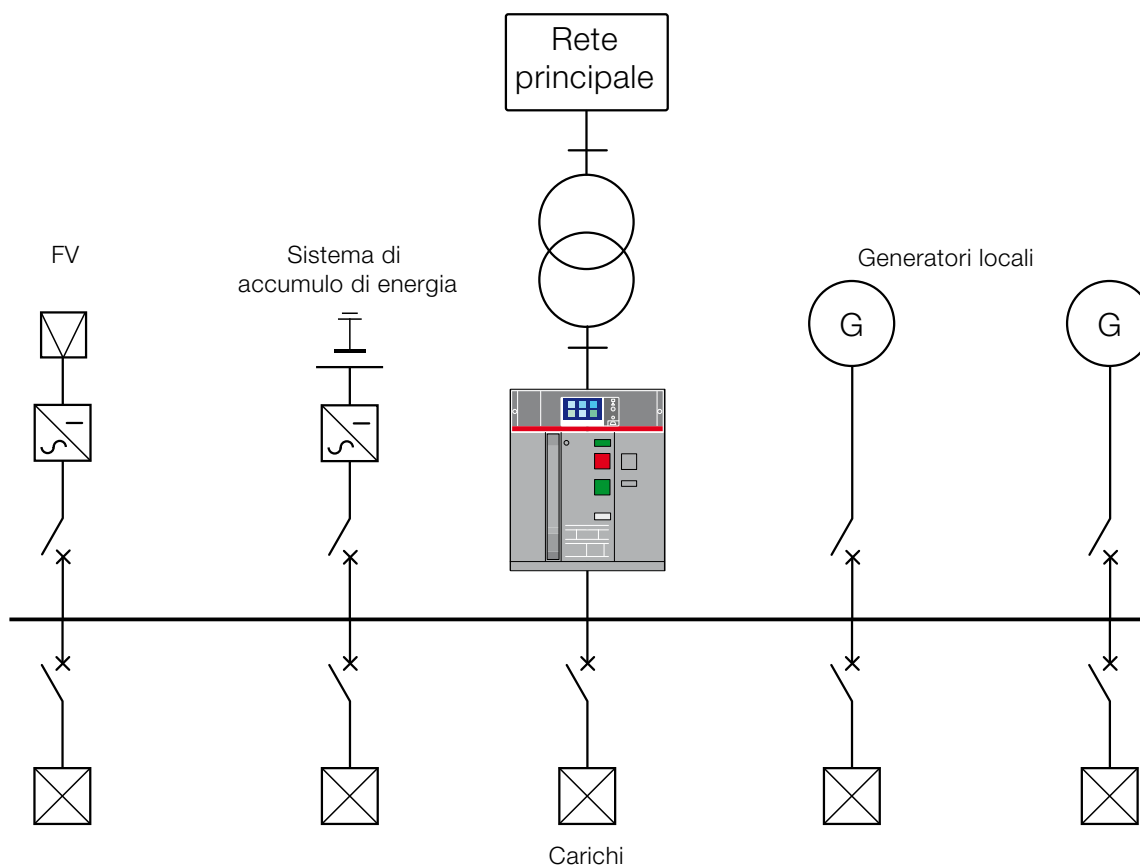
Emax 2, all-in-one innovation

Emax 2 di ABB è la soluzione integrata che semplifica l'architettura delle microgrid e ne potenzia il rapporto costi-benefici, in quanto integra funzioni avanzate di protezione, monitoraggio e controllo basate sul software. Grazie alla sua elettronica avanzata, Emax 2 è il primo interruttore intelligente in grado isolare una microgrid da potenziali disturbi, quali guasti o eventi che interferiscono sulla qualità dell'energia¹, e di riconnetterla poi alla rete di distribuzione in presenza dei corretti presupposti. Quest'ultima funzione consente per la precisione di riconnettere una microgrid isolata alla rete principale, supportando la sincronizzazione e rilevando le situazioni di sincronismo idonee per la richiusura automatica, perfino in contesti con requisiti molto severi.

Emax 2 integra tutte queste funzioni, quindi consente un risparmio di spazio per i costruttori di quadri e i produttori di gruppi elettrogeni O&M, assicura facilità d'uso per i consulenti impiantistici e gli integratori di sistema ed elimina possibili barriere alla diffusione dei progetti di microgrid.

¹ Vedere il White Paper 1SDC007119G0201 – Distacco dei carichi.

Figura 1: Microgrid di bassa tensione



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Vantaggi

Riduzione ingombri

Non sono necessarie unità esterne, né richiesti onerosi interventi di ingegnerizzazione, poiché Emax 2 implementa nuove funzioni nei suoi sganciatori intelligenti e moduli interni, assicurando facilità d'uso e mettendo a disposizione più protezioni e algoritmi. L'interruttore è un apparecchio di protezione sempre presente nella distribuzione elettrica, quindi, grazie a Emax 2, i costruttori di quadri possono ridurre le dimensioni degli scomparti necessari per i quadri per sottostazioni di bassa tensione e i produttori di gruppi elettrogeni O&M possono ottimizzare gli spazi necessari per realizzare soluzioni di microgrid.

Per il funzionamento in parallelo non sono necessari relè di controllo del sincronismo e neppure apparecchiature di sincronizzazione. I sensori di tensione a livello della microgrid sono integrati nell'interruttore stesso, pertanto a livello della rete principale è necessario un solo trasformatore monofase. La logica è completamente integrata nello sganciatore e l'utente non deve effettuare alcun intervento di programmazione né di ingegnerizzazione. Per tutti questi motivi, Emax 2 può essere considerato la prima soluzione di microgrid compatta con funzioni avanzate integrate, in grado di ridurre la componentistica esterna in qualsiasi ambito di impiego (Figura 2, Figura 3).

Figura 2: numerosi componenti necessari senza Emax 2

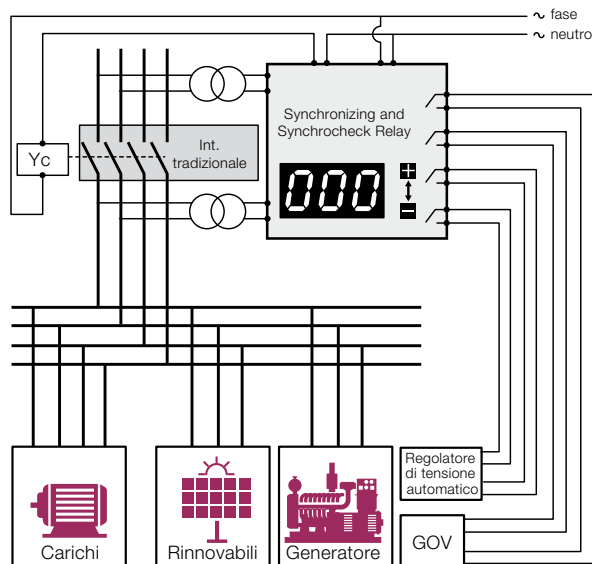
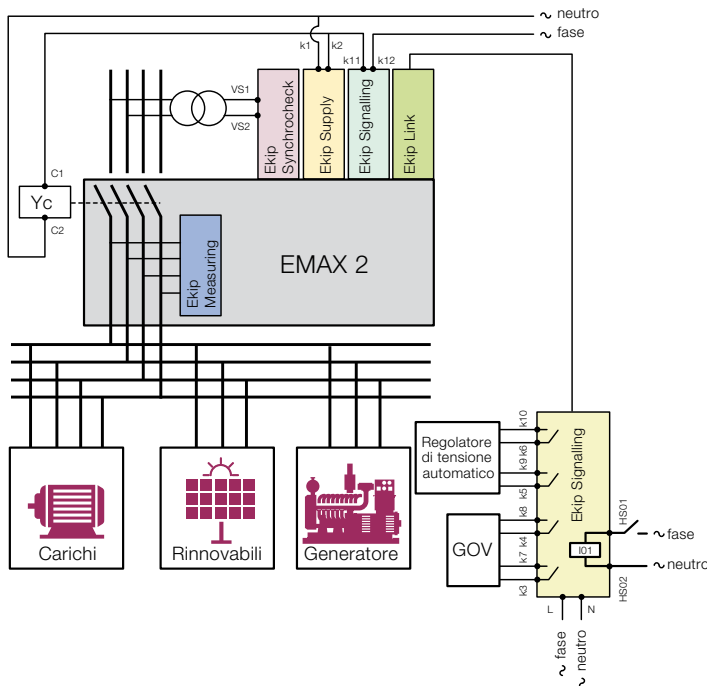


Figura 3: pochi componenti necessari con Emax 2



Facilità d'uso

Emax 2 all-in-one, riduce il tempo per la messa in servizio rispetto ai dispositivi esterni che necessitano di onerosi cablaggi e integrazione di sistema. Emax 2 offre una funzione di plug-in completa per i nuovi impianti, riducendo al minimo i tempi di installazione e i potenziali errori di cablaggio.

Questo facile approccio è abilitato dal template di configurazione predefinito, che consente di attivare le funzioni del prodotto anche dopo la vendita in caso di dotazione con i corretti accessori hardware. La definizione delle impostazioni è facilitata dall'impiego di un software applicativo installato su un laptop, che suggerisce i parametri in funzione della microgrid specifica, senza alcun intervento sull'apparecchio (Figura 4, Figura 5). Inserendo soltanto pochi dati relativi alla configurazione dell'impianto, i consulenti impiantistici ricevono indicazioni sulle principali impostazioni dei parametri di sincronismo; ciò ha l'obiettivo di garantire un controllo incrociato con i loro progetti impiantistici e di velocizzarne la realizzazione.

Figura 4: messa in servizio senza Emax 2

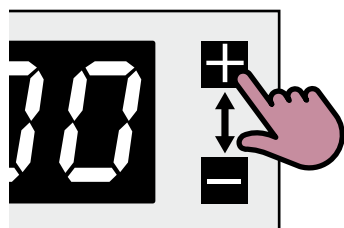


Figura 5: messa in servizio con Emax 2



Modalità di funzionamento

Emax 2 è l'unico interruttore dotato di richiusura automatica con sincronizzazione. Questa funzione consiste in un supporto alla sincronizzazione nella procedura di riconnessione della microgrid o della messa in parallelo del generatore, come prescritto dalla norma ANSI 25A, con funzioni supplementari di richiusura in base allo stato del modulo Ekip Synchrocheck.

Impiegando il modulo a cartuccia Ekip Synchrocheck (vedere l'allegato A), Emax 2 esegue il monitoraggio dei parametri di riconnessione più importanti ed implementa una semplice logica per adattare la tensione e la frequenza della microgrid a quelle della rete principale. La regolazione secondaria dei generatori locali viene realizzata dai contatti del modulo Ekip Signalling (vedere l'allegato B) per raggiungere la sincronizzazione. L'interruttore si richiude automaticamente quando comprende che è stata raggiunta una condizione di sincronismo utilizzando il modulo Ekip Synchrocheck e la bobina di chiusura integrata. Talvolta, questa manovra può essere molto critica, perché la corrente che fluisce attraverso il transitorio della riconnessione non deve raggiungere valori che potrebbero potenzialmente causare il collasso della microgrid. In altre parole, la fase di richiusura è paragonabile al funzionamento in parallelo di due diverse sorgenti in stato stazionario: quando l'interruttore d'interfaccia si chiude, si verifica un transitorio durante il quale devono essere limitate le massime correnti poiché, in caso contrario, possono verificarsi interventi indesiderati delle protezioni del generatore. Con l'obiettivo di evitare analisi e personalizzazioni complesse, il software applicativo per la messa in servizio Ekip Connect completa la funzione Sincronismo e Richiusura e suggerisce le corrette impostazioni in base alla configurazione dell'impianto. In linea generale, questa applicazione è utile nelle seguenti situazioni di ingegneria impiantistica:

- durante la riconnessione della microgrid alla rete principale per velocizzare la procedura di messa in parallelo tra due sistemi con diversi stati stazionari. Questa situazione si verifica dopo il funzionamento della microgrid in isola;
- quando si verifica una commutazione a transizione chiusa, la rete principale dovrebbe essere connessa alla stessa sbarra della generazione di emergenza (OPPURE rincalzo) della microgrid per garantire la continuità di servizio dei carichi, con o senza un interruttore congiuntore²;
- oltre al caso della microgrid, è possibile adottare questa soluzione anche per il funzionamento in parallelo di un solo gruppo elettrogeno³.

² Un esempio di funzione ATS a transizione chiusa integrata nell'interruttore Emax 2 è descritto nel White Paper 1SDC007115G0201.

³ Nel presente White Paper, questo esempio di applicazione è considerato simile alla riconnessione della microgrid alla rete principale.

Sincronizzazione automatica

Principio di funzionamento

Quando la rete principale è in una condizione di stabilità, la microgrid in modalità off-grid può essere riportata in modalità on-grid. Per il processo di riconnessione, è più facile considerare la microgrid come un generatore di bassa tensione. Ad esempio, un gruppo elettrogeno diesel che opera in parallelo alla rete è esattamente identico ad una microgrid attiva:

- il processo di sincronizzazione allinea la tensione e la frequenza del generatore ai valori di riferimento, in particolare quelle della rete di distribuzione.
- quando sono soddisfatte adeguate condizioni di sincronismo riguardanti la tensione e la frequenza, il generatore viene collegato in parallelo alla rete.

Dal punto di vista del sistema, la riconnessione della microgrid è complessa, poiché è centralizzata nell'unico punto di interfacciamento con la rete principale e coinvolge numerose risorse, non una sola macchina. A fronte di tali considerazioni, è necessaria l'automazione dell'impianto accanto al controllo del generatore locale.

Logica di controllo

In caso di apertura dell'interruttore principale nel punto d'interfacciamento, la microgrid continua ad operare in isola. In questa particolare condizione di esercizio, è probabile che i generatori nella microgrid raggiungano uno stato stazionario caratterizzato da una differenza di frequenza e tensione rispetto ai valori nominali della rete di distribuzione.

Come già menzionato, prima che avvenga la richiusura della microgrid devono essere soddisfatti determinati requisiti di tensione e frequenza, in base alle specifiche previste dalle normative locali (es. Tabella 1 per la norma italiana CEI 0-16). Ne consegue che la tensione e la frequenza devono essere regolate in modo da sincronizzare la microgrid con le condizioni di esercizio della rete di distribuzione. Per ottenere questo risultato, viene introdotto un loop di retroazione esterno per modificare i valori di riferimento dei loop di controllo primari presenti nel limitatore di velocità (GOV) e nel regolatore di velocità automatico (AVR).

Questo controllo è puramente proporzionale e modifica il setpoint del GOV e dell'AVR. In particolare, la tensione e la frequenza vengono misurate a monte e a valle dell'interruttore d'interfaccia. Viene poi calcolato il delta e, in base al relativo segno, il valore di riferimento della tensione e della corrente viene opportunamente modificato da un'operazione fissa, come descritto nella Figura 7 e Figura 8.

Figura 7: logica di controllo integrata nell'interruttore Emax 2

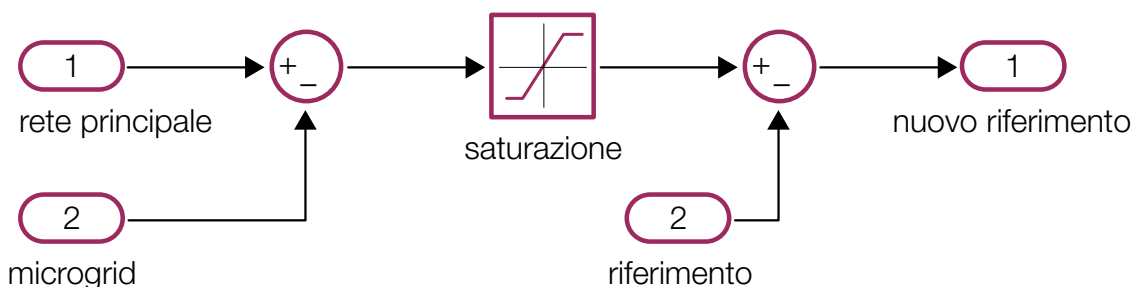
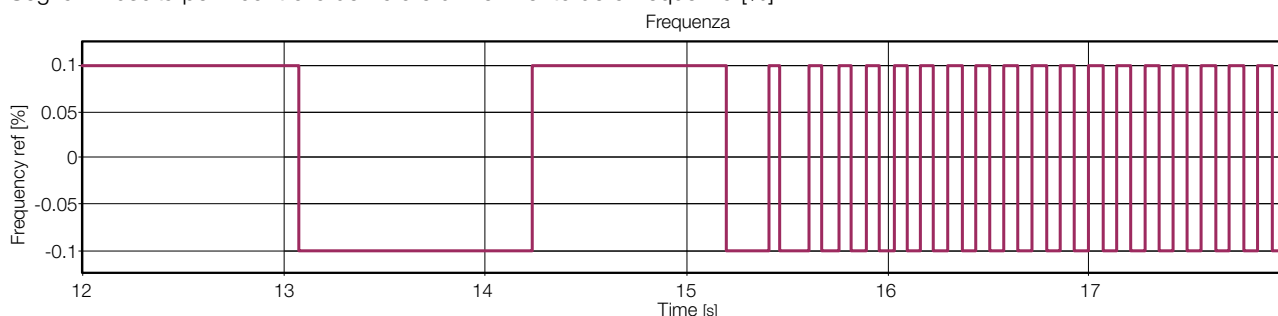


Figura 8: esempio del controllo del valore di riferimento della tensione e della frequenza di Emax 2

Segnali in uscita per il controllo del valore di riferimento della frequenza [%]



Segnali in uscita per il controllo del valore di riferimento della tensione [%]



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Software per la messa in servizio Ekip Connect 3.0

La logica di sincronizzazione può essere facilmente programmata grazie ad un template predefinito che assicura un approccio semplificato nel software per la messa in servizio Ekip Connect 3.0. È possibile esercitarsi e familiarizzare con la funzione di sincronismo e richiusura anche prima di acquistare la licenza software e, successivamente, trasferire la logica nell'interruttore. Inoltre, si può caricare questa funzione anche a interruttore installato nel quadro. È possibile salvare i progetti in file dedicati e poi caricarli su "impianti gemelli". La Figura 9 descrive la procedura di avvio della messa in servizio della funzione Sincronismo e Richiusura. La programmazione della fase di sincronizzazione viene effettuata in una semplice operazione, come descritto nella Figura 10.

Figura 9

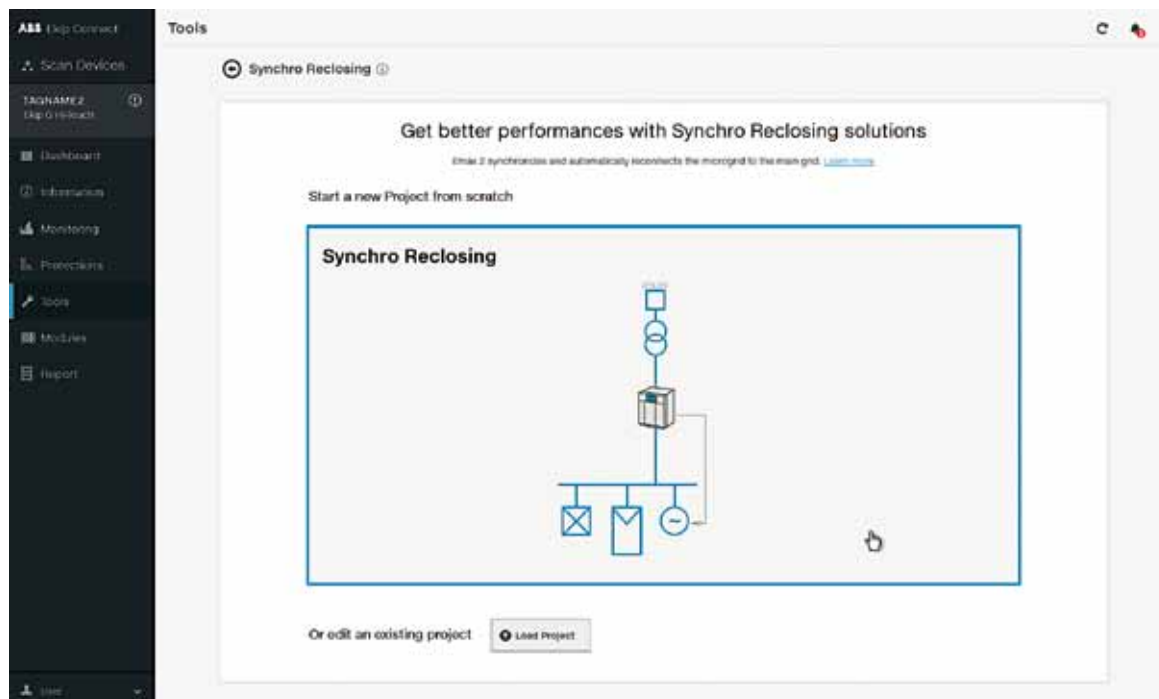
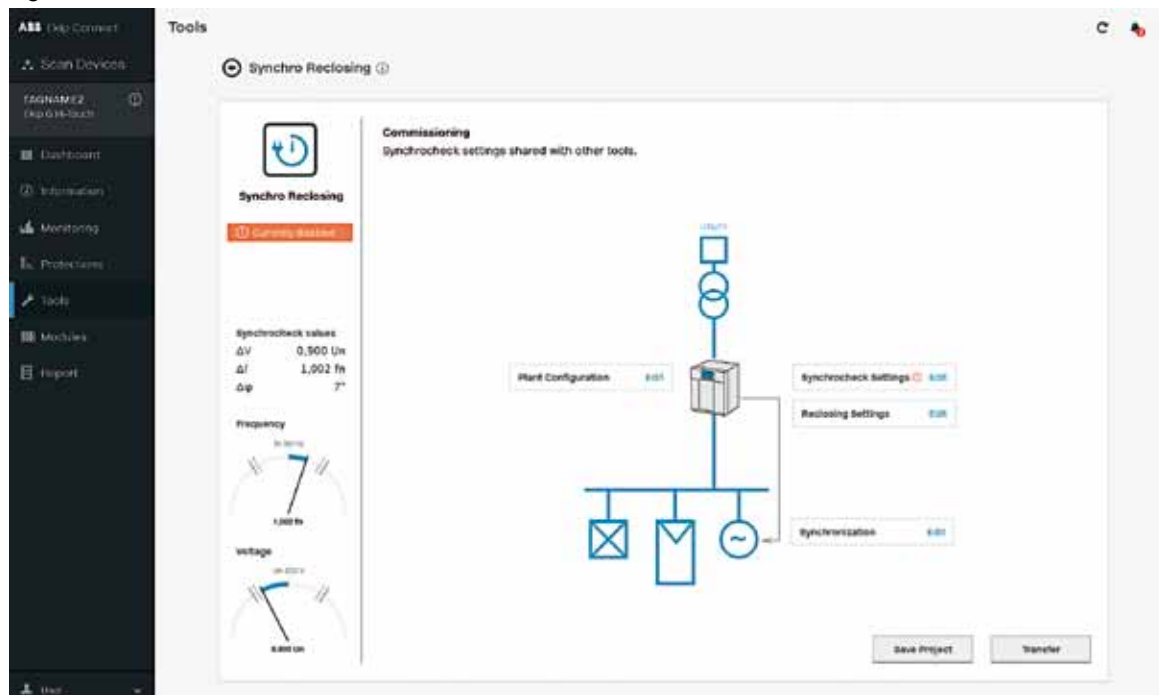


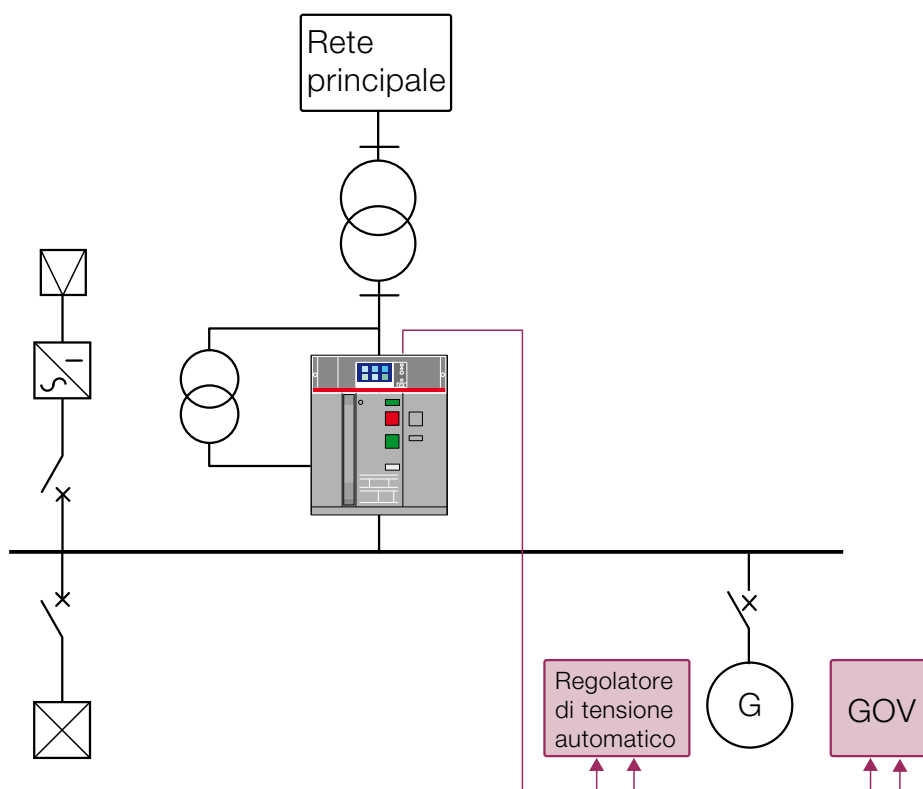
Figura 10



Esempio di applicazione

La microgrid qui considerata è identica a quella illustrata nella Figura 12: un impianto di bassa tensione con un gruppo elettrogeno da 450 kVA, un carico della stessa taglia e un impianto solare collegato tramite un trasformatore da 400 kVA.

Figura 11: Esempio di microgrid



La microgrid è collegata al lato BT della rete di distribuzione tramite Emax 2 caratterizzato da

$I_n = 2 \times I_{n,gen} = 1300 \text{ A}$ e poi tramite un trasformatore BT/MT da 630 kVA al lato MT della rete di distribuzione.

La Figura 12 illustra graficamente la tensione e la frequenza della microgrid in presenza del loop di retroazione esterno realizzato da Emax 2.

Emax 2

Sincronismo e Richiusura

La microgrid si avvia in isola, pertanto la sua frequenza e tensione, differiscono da quelle della rete di media tensione. Nell'esempio sono visibili valori di 320 V (80% V_n) e 49 Hz (98% V_n). In questa condizione, i requisiti definiti dal gestore della rete di distribuzione (DSO) impediscono la connessione della microgrid alla rete principale.

Emax 2 risolve questo problema, perché è in grado di misurare la tensione e la frequenza alle estremità della microgrid e supportare i sistemi di regolazione del generatore sincrono. Il punto operativo della microgrid viene infatti ripristinato in prossimità della rete di distribuzione, consentendo la manovra di richiusura.

Figura 12: esempio di sincronizzazione della tensione e della frequenza con valori In per unità

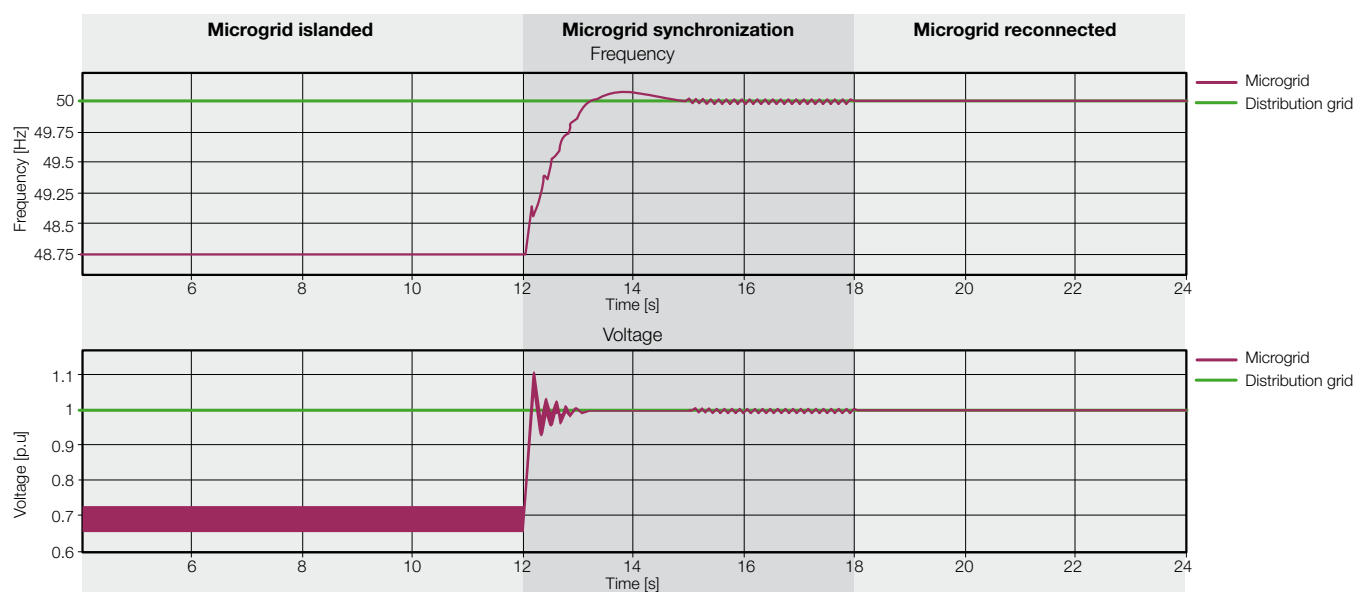
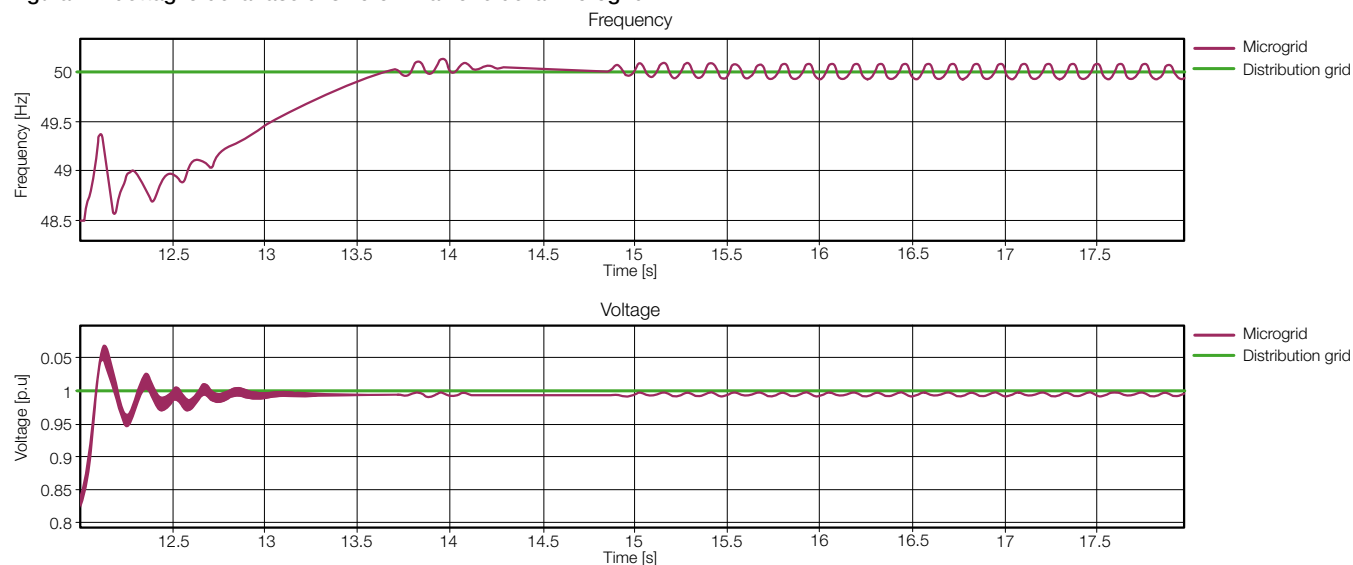


Figura 14: dettaglio della fase di sincronizzazione della microgrid

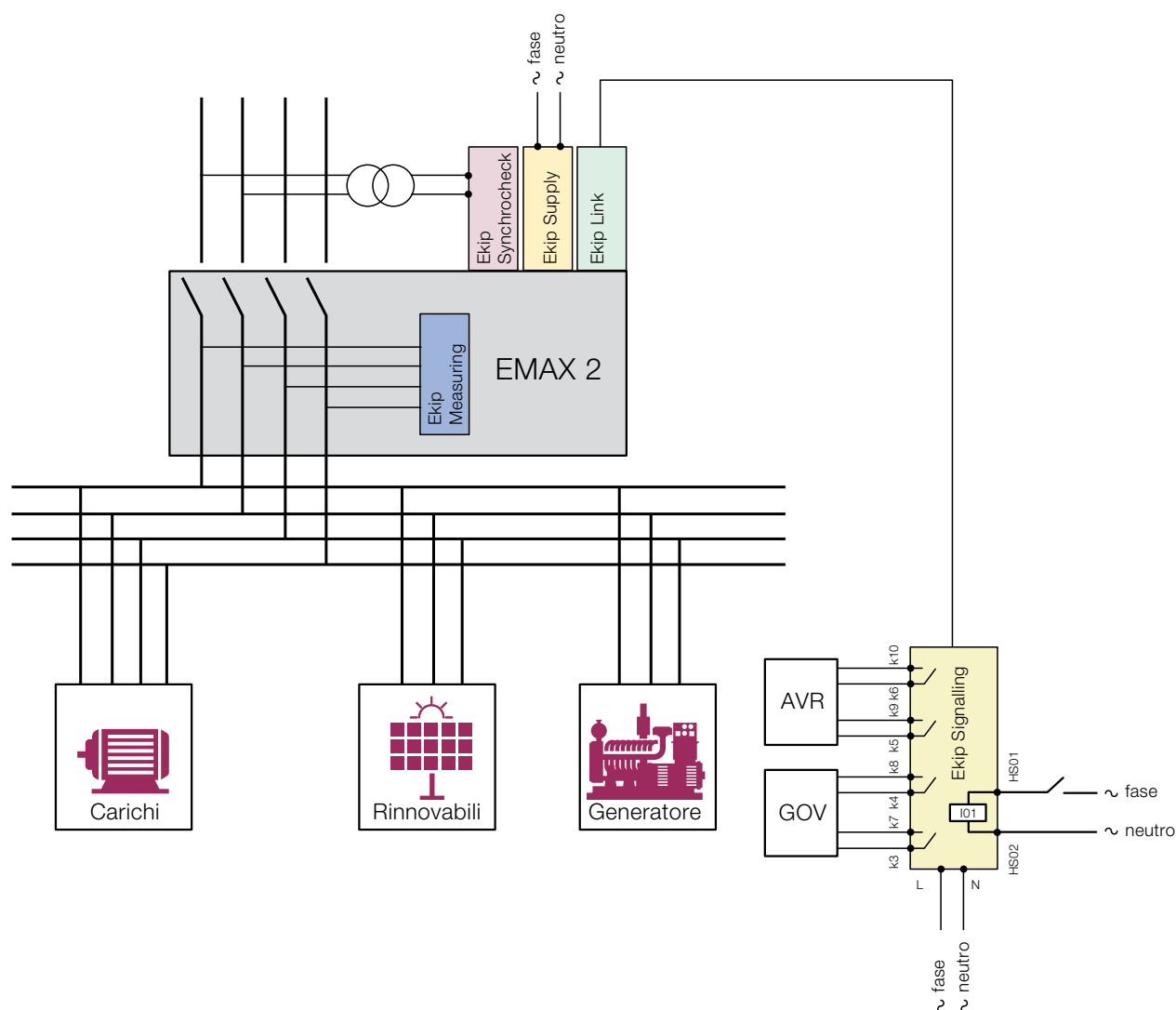


Schema elettrico per la sincronizzazione automatica

Il modulo Ekip Synchrocheck viene cablatto come illustra la Figura 14. Le prese di tensione dell'interruttore sono posizionate sul lato della microgrid (a valle), mentre il trasformatore di tensione monofase viene connesso al lato della rete principale (a monte).

I contatti di uscita del modulo Ekip Signalling (vedere l'allegato B) sono connessi all'AVR e al GOV. Nella Figura 14 si osserva il modulo Ekip Signalling 10k connesso a Emax 2 tramite Ekip Link (vedere l'allegato C) su un cavo Ethernet. Il modulo Ekip Signalling 4k può essere utilizzato in alternativa se il generatore è vicino al quadro in cui è installato Emax 2.

Figura 14: esempio di schema elettrico per la sincronizzazione della microgrid



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

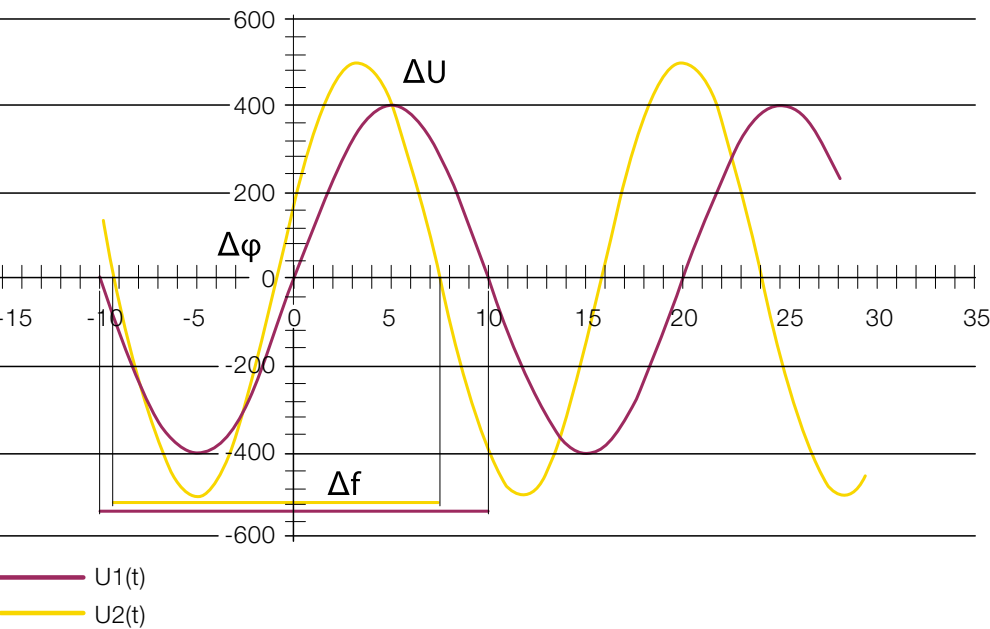
Richiusura automatica

Principio di funzionamento

I parametri fondamentali per limitare i picchi di corrente durante il funzionamento transitorio in parallelo sono lo spostamento di fase e la differenza dell'ampiezza della tensione tra la microgrid e la rete principale in una finestra temporale che dipende dalla differenza della frequenza tra le due sorgenti di alimentazione.

Emax 2 integra protezione ANSI 25, che consente la richiusura automatica solo in presenza di valori di spostamento di fase, tensione e frequenza che sono uguali o inferiori a quelli relativi al transitorio di corrente massimo ammissibile in condizione critica.

Figura 15: forme d'onda di sorgenti non sincronizzate



La protezione del sincronismo per microreti consente di attuare la modalità di interconnessione con “sbarra in tensione”, che permette la richiusura dell'interruttore di interfaccia sulla rete principale in esercizio.

In questa modalità, Emax 2:

- verifica che la rete principale sia effettivamente stabile. Se richiesto dalla normativa locale (vedere ad es. Tabella 2), la tensione e la frequenza della rete principale dovrebbero essere entro l'intervallo specificato per un periodo di tempo definito;

Tabella 2. Esempio di condizioni di stabilità richieste dalla norma italiana CEI 0-16

Intervallo	Impostazioni predefinite
$90\% U_n < U_{rete\ principale} < 110\% U_n$	30 s
$99,5\% < f_{rete\ principale} < 100,5\% f_n$	30 s

- verifica la condizione di sincronismo, accertando che il delta della tensione ΔV , della frequenza Δf e dell'angolo di fase $\Delta \phi$ tra la microgrid e la rete principale rimanga entro l'intervallo specificato per il periodo di tempo definito, t_{sin} . I parametri devono essere impostati sulla base della configurazione della microgrid. Ekip Connect fornisce alcuni parametri di impostazione predefiniti (vedere maggiori dettagli al punto 4.2.2);
- verifica che l'interruttore sia in posizione di aperto.

Una volta verificate le suddette condizioni, Emax 2 esegue la manovra di richiusura inviando un comando alla sua bobina di chiusura tramite il modulo Ekip Signalling.

Software per la messa in servizio Ekip Connect 3.0

La funzione di richiusura automatica può essere facilmente configurata grazie al software per la messa in servizio Ekip Connect 3.0, che fornisce utili indicazioni sui valori critici, ΔV , Δf , $\Delta \phi$, t_{sin} , durante la progettazione della microgrid.

Il software è completamente personalizzabile e permette all'utente di inserire i dati effettivi degli elementi della microgrid nella procedura guidata "Plant Configuration" in modo da ottenere indicazioni relative alle principali impostazioni del sincronismo ("Synchrocheck Settings") (Figura 18). L'opzione "Plant Configuration" (configurazione impianto) include dei cosiddetti "Specialist Parameters" che possono essere modificati esclusivamente da utenti esperti; in assenza di modifiche, nel template saranno presenti valori predefiniti.

Figura 16: Configurazione dell'impianto per la messa in servizio della funzione Sincronismo e Richiusura

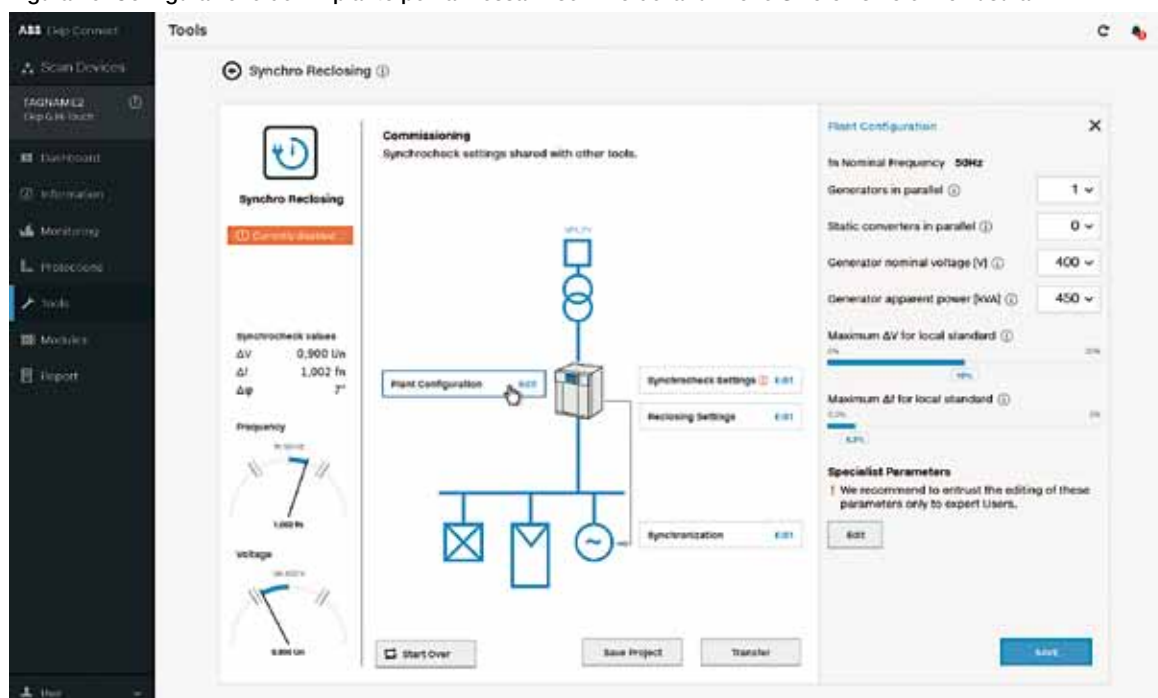
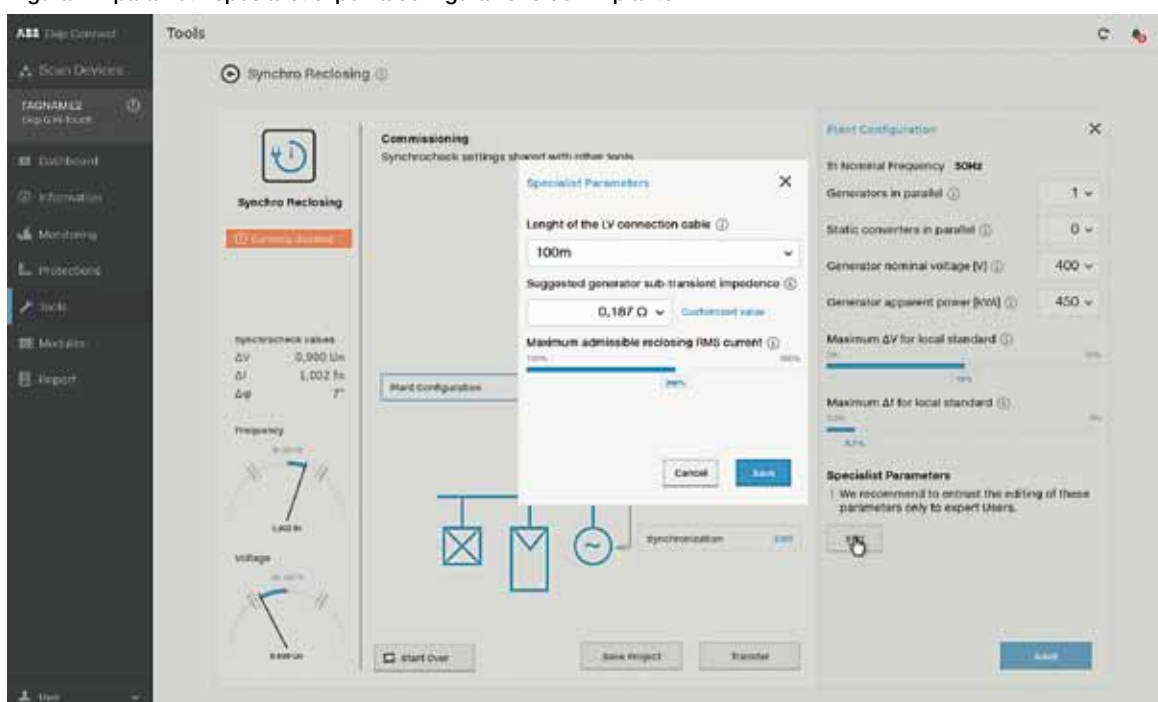


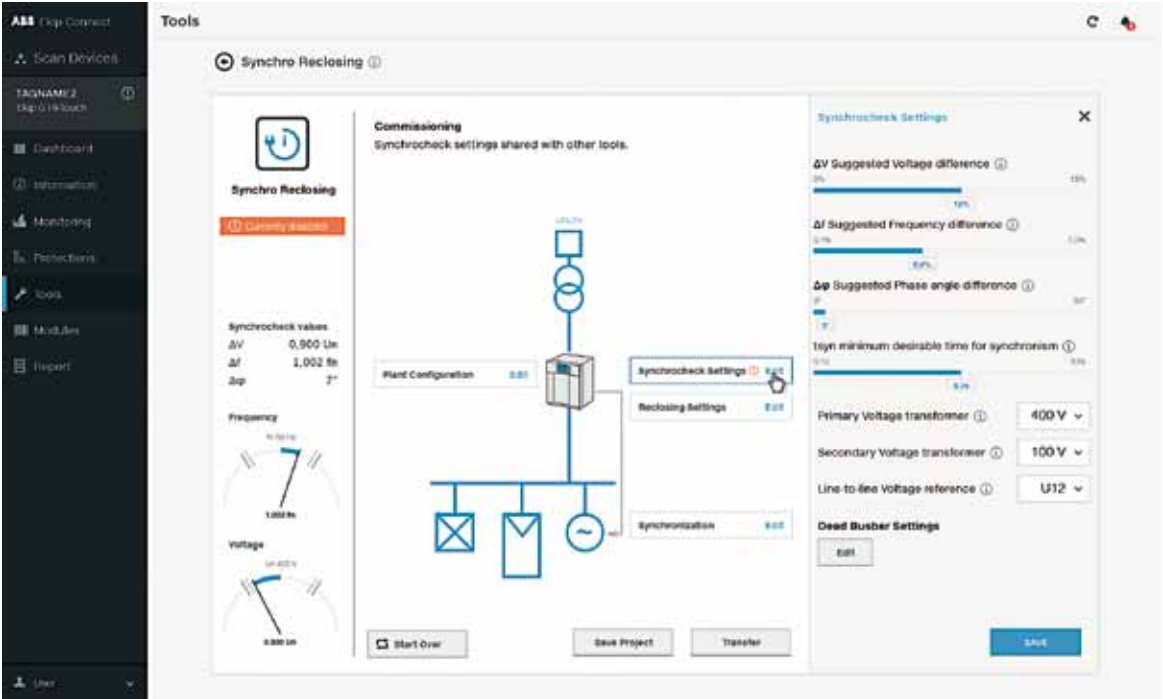
Figura 17: parametri specialistici per la configurazione dell'impianto



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Figura 18: Impostazioni del sincronismo per la messa in servizio della funzione Sincronismo e Richiusura



L'ultima parte della messa in servizio riguarda la fase “Contatto di richiusura”, che definisce il contatto che richiude Emax 2 dopo la verifica del sincronismo (Figura 19). Successivamente, è possibile trasferire la logica acquisita nell'interruttore per consentire la funzione Sincronismo e Richiusura. È possibile disabilitarla in qualsiasi momento utilizzando il pulsante dedicato.

Figura 19: Contatto di richiusura per la messa in servizio della funzione Sincronismo e Richiusura

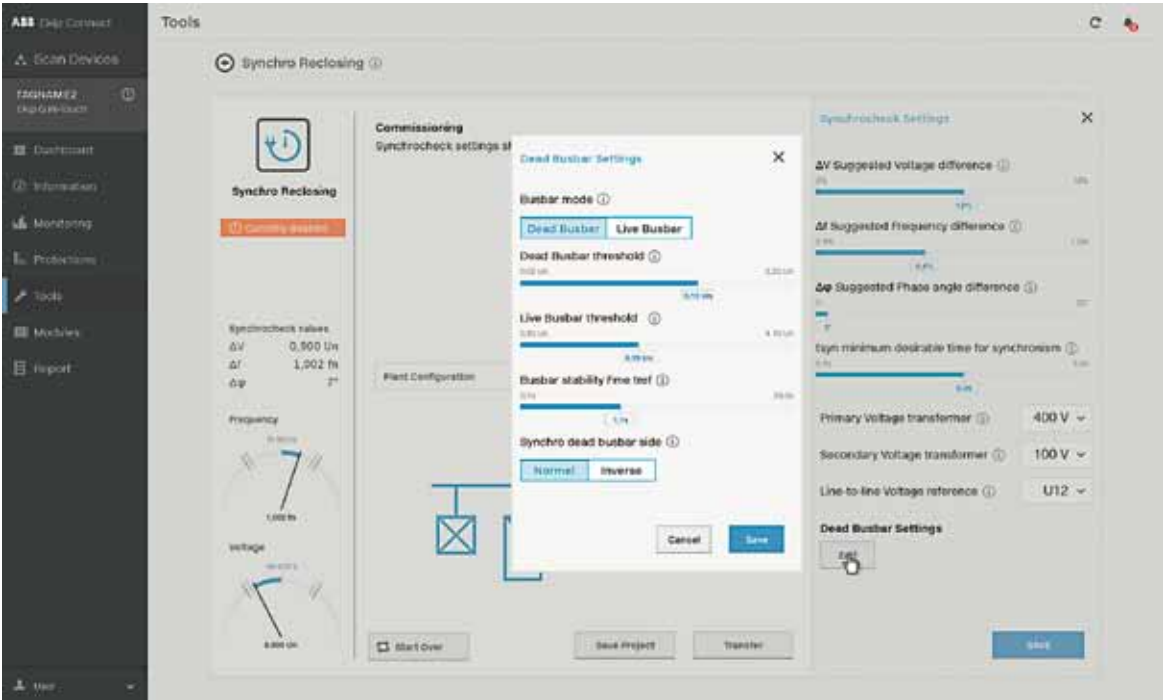
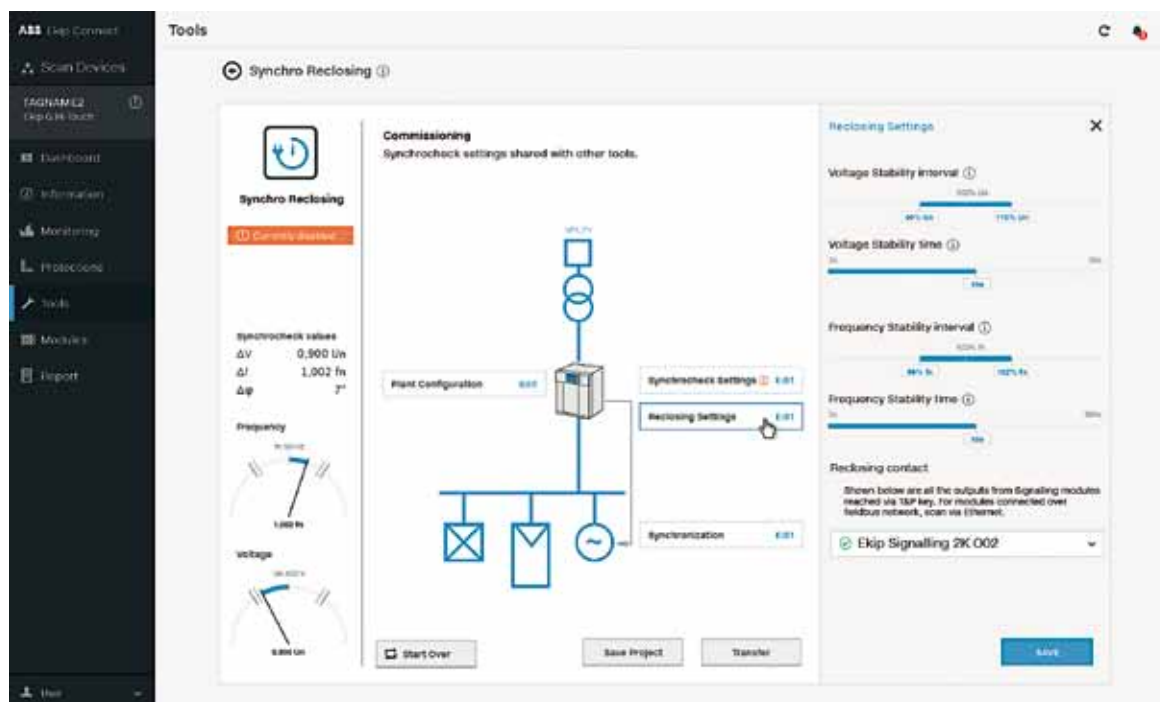
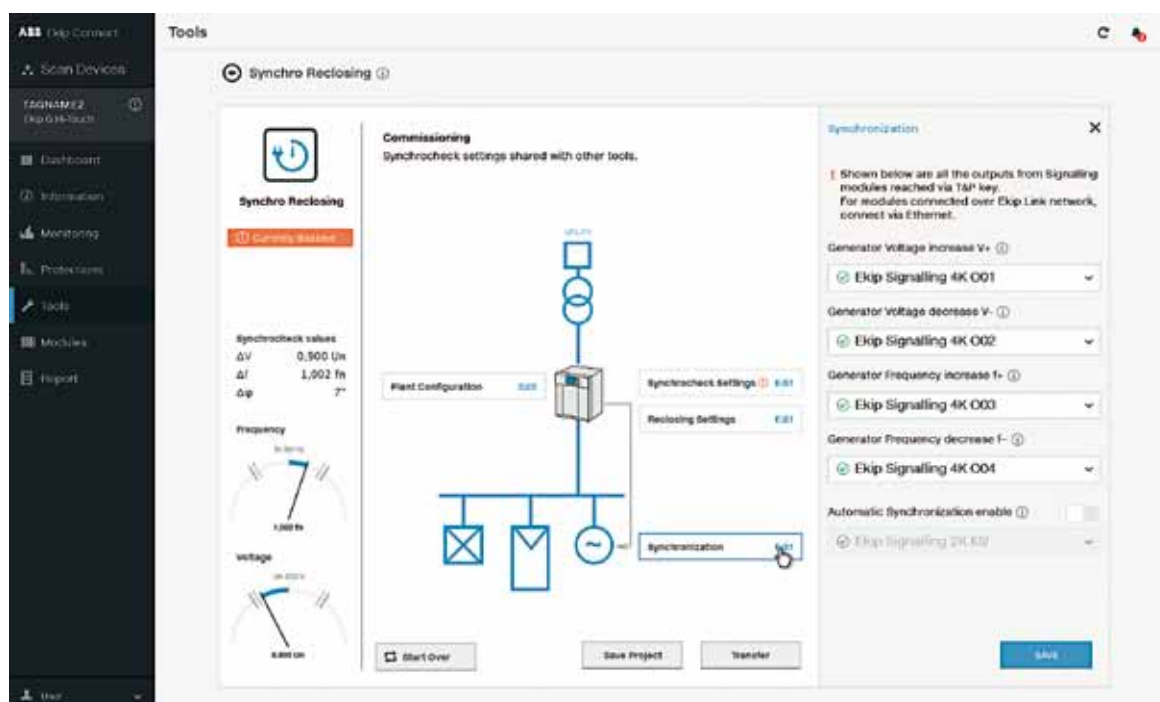


Figura 20: Logica di commutazione con Emax 2⁴



⁴ La funzione Sincronismo e Richiusura non è compatibile con la protezione d'interfaccia IPS (vedere il White Paper 1SDC007117G0201 - Sistema di Protezione d'Interfaccia e Dispositivo d'Interfaccia).

Figura 21: Funzione Sincronismo e Richiusura abilitata



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Analisi di sensibilità

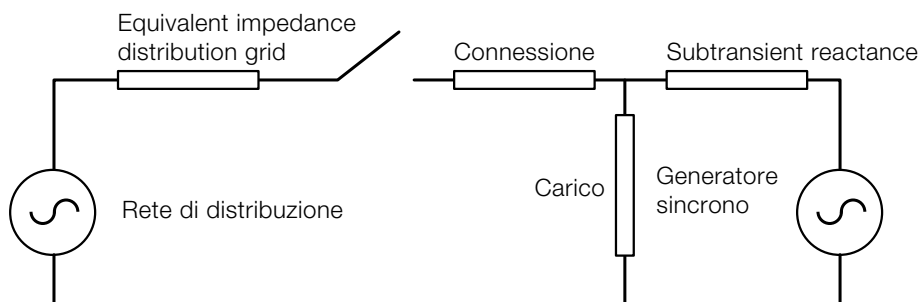
È normale non conoscere tutte le informazioni necessarie per la sincronizzazione dell'impianto attivo. In virtù della sua reale facilità d'uso, il software Ekip Connect suggerisce i parametri più importanti nel template "Plant Configuration" (vedere punto 4.2.2) basato su un modello di riferimento. Non sostituisce il progetto ingegneristico vero e proprio, ma semplifica la scelta delle impostazioni per i consulenti impiantistici.

- La rete principale è rappresentata da un generatore di tensione più un'impedenza equivalente, Z_{rete} . In questo caso, si considera anche il trasformatore della sottostazione.
- Nel modello, la linea di connessione è una derivazione RL, rappresentata fisicamente dal cavo che collega l'interruttore d'interfaccia alla microgrid, Z_{linea} .
- Nel modello, la microgrid è un generatore sincrono, una sorgente di tensione ideale con un'impedenza in serie, che per questa applicazione viene considerata uguale all'impedenza subtransitoria con un carico collegato in parallelo, $Z_{generatore}$ e Z_{carico} .

La corrente che fluisce nell'interruttore d'interfaccia è dato dalla seguente formula:

$$I_{int.} = \frac{V_{grid} - V_{microgrid}}{(Z_{generatore} // Z_{carico}) + Z_{rete} + Z_{linea}}$$

Figura 22: Modello di microgrid per l'applicativo

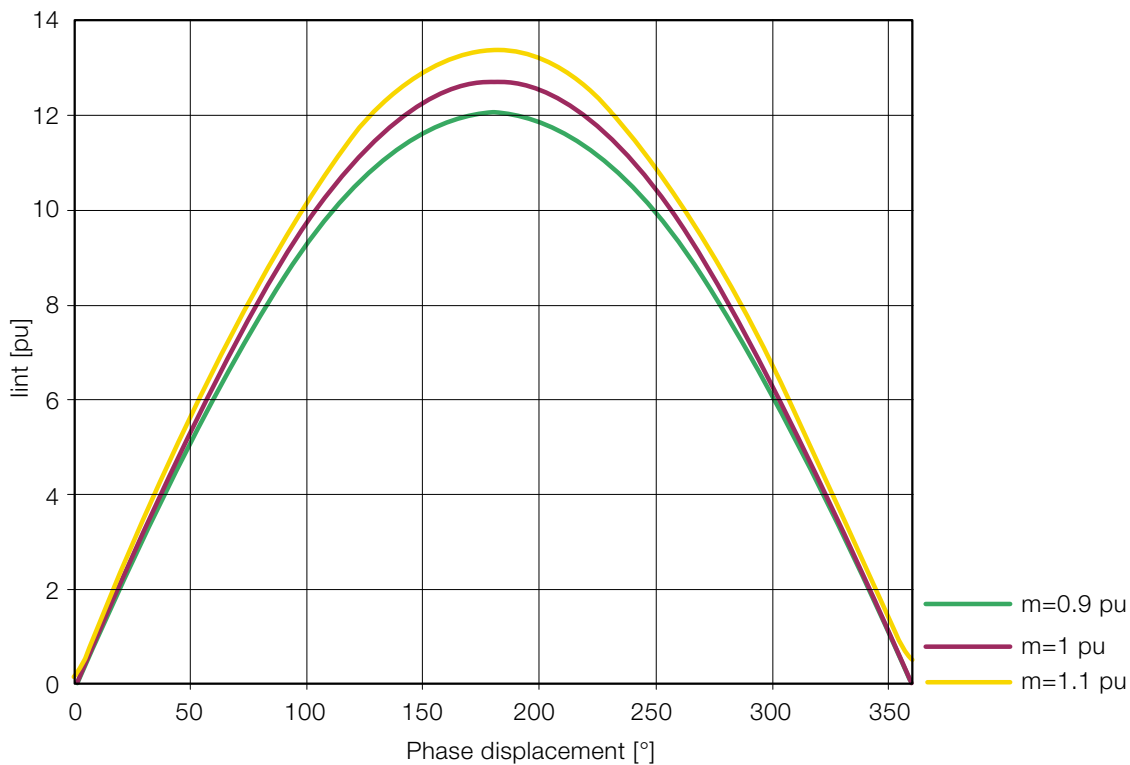


Le impostazioni predefinite fornite dal software Ekip Connect sono state stabilite a partire da un modello semplificato che deriva da un'analisi di sensibilità riguardante tutti gli elementi presenti nella Figura 22.

Sensibilità in relazione alla tensione della microgrid

La Figura 23 mostra la curva della corrente transitoria durante la fase di richiusura (in unità di corrente nominale dell'interruttore) con riferimento ai diversi valori di tensione della microgrid (in unità di tensione della rete principale) entro l'intervallo stabilito dalle norme locali per la riconnessione della microgrid.

Figura 23: Sensibilità in relazione alla tensione della microgrid



Il valore assoluto di ΔV , dove $\Delta V = V_{rete} - V_{microgrid}$, è massimo quando lo spostamento di fase tra le due forme d'onda della tensione è pari a 180°. Con uno spostamento di fase inferiore a 40°, è probabile che ΔV sia identico per diversi valori di $V_{microgrid}$. Ipotizzando che la richiusura venga effettuata con uno spostamento di fase inferiore a 40°, si suppone che la variabile ΔV sia trascurabile.

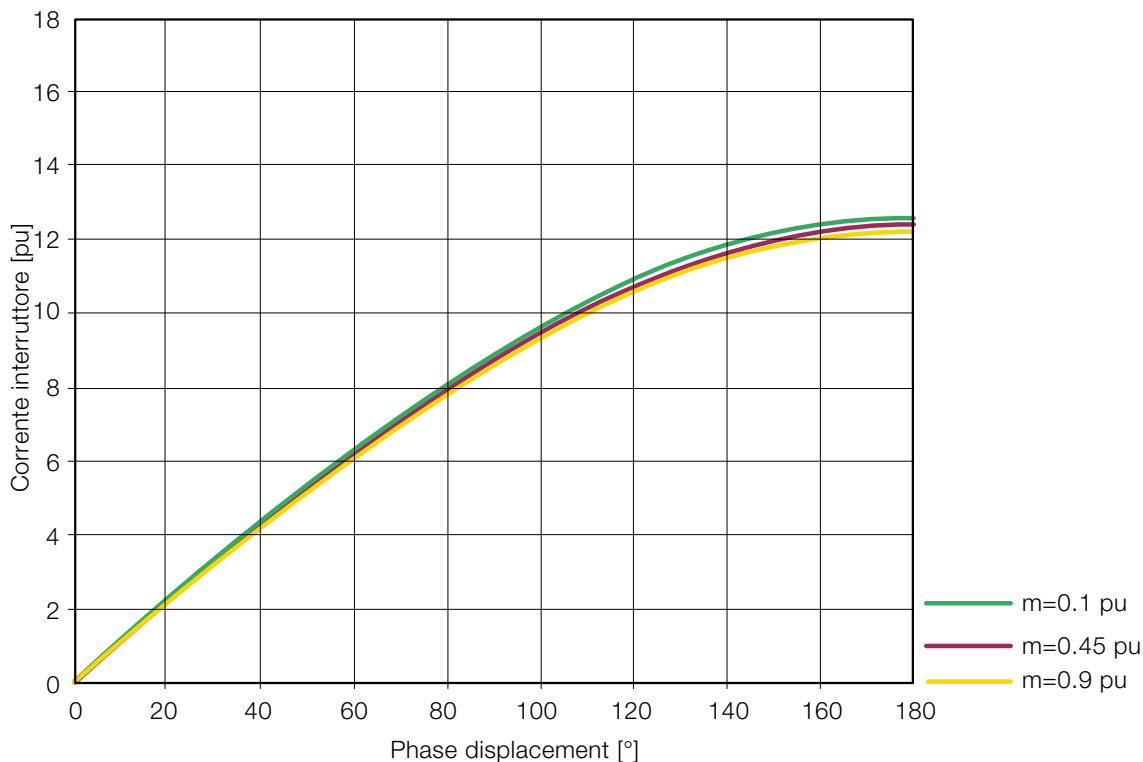
Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Sensibilità in relazione al carico

La Figura 24 mostra la curva della corrente transitoria durante la fase di richiusura con riferimento ai diversi carichi della microgrid, in base a valori unitari della taglia del generatore della microgrid.

Figura 24: Sensibilità in relazione al carico elettrico della microgrid

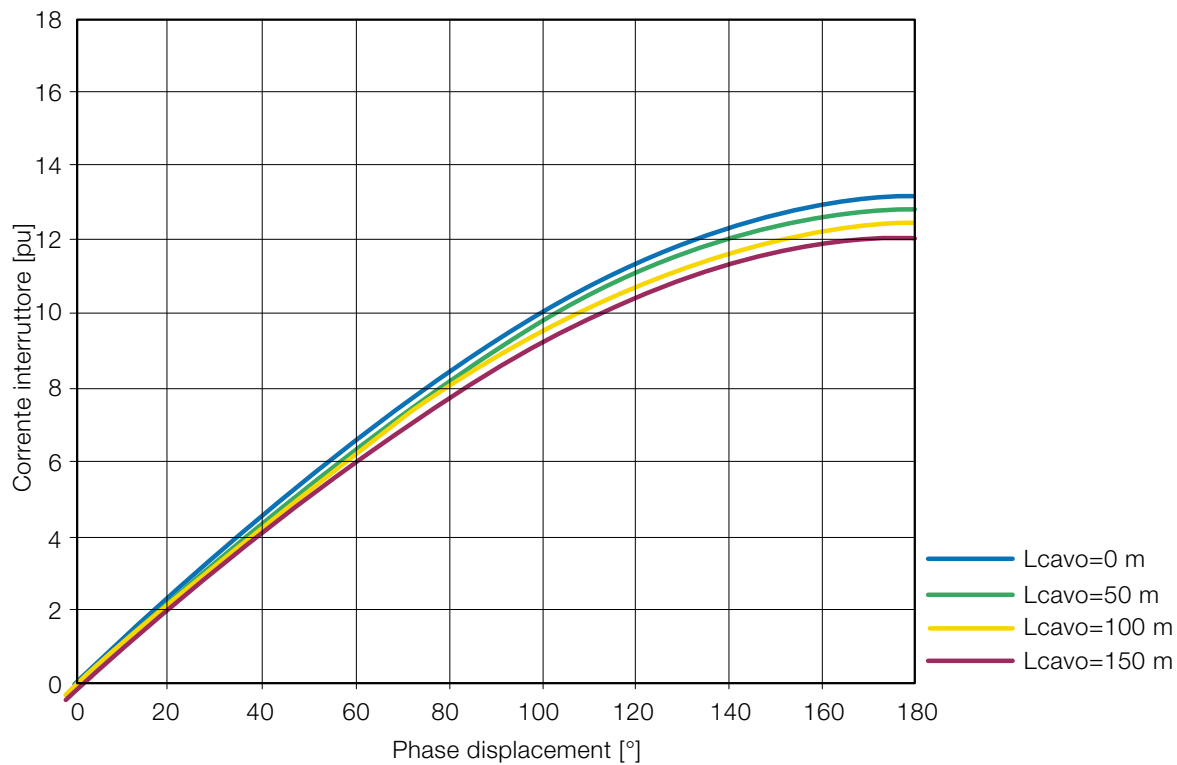


Il transitorio dovuto alla manovra di richiusura è caratterizzato da una dinamica rapida; pertanto, l'impedenza equivalente del generatore è la reattanza subtransitoria del generatore, che è molto piccola se confrontata con l'impedenza del carico collegato in parallelo. In base a tale considerazione, si può supporre che le diverse grandezze dei carichi abbiano probabilmente una minima influenza sul valore di picco della corrente durante il transitorio.

Sensibilità in relazione alla linea di connessione

La Figura 25 illustra la curva della corrente transitoria durante la fase di richiusura con riferimento a diverse lunghezze del cavo di connessione tra l'interruttore d'interfaccia e il generatore della microgrid.

Figura 25: Sensibilità in relazione alla linea di connessione tra l'interruttore d'interfaccia e il generatore della microgrid



La lunghezza della linea di connessione dimostra di non essere un parametro critico per lo spostamento di fase entro 40°, pertanto non influenza il picco della corrente in modo critico.

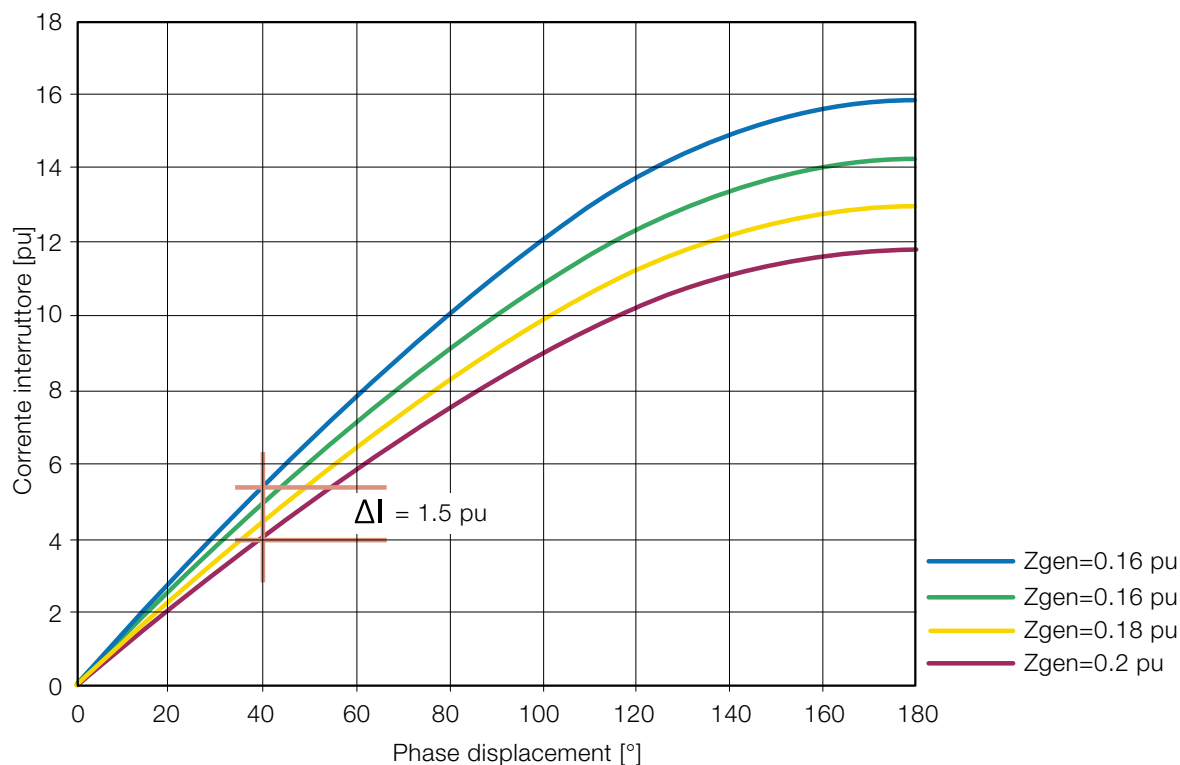
Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Sensibilità in relazione all'impedenza subtransitoria del generatore

La Figura 26 mostra il comportamento della corrente durante la fase di richiusura transitoria con riferimento ai valori di impedenza dinamica del generatore della microgrid.

Figura 26: Sensibilità in relazione al valore di impedenza subtransitoria del generatore della microgrid



La corrente che fluisce nell'interruttore di interfaccia non costituisce un problema in relazione alla taglia dei generatori sincroni data la proporzionalità tra gli elementi della microgrid.

Viceversa, se si considerano diversi valori dell'impedenza subtransitoria, si ottengono valori differenti per la corrente: a 40°, con una differenza di impedenza subtransitoria di 0,06 p.u., si ha una differenza di corrente di 1,5 p.u.

Per sintetizzare, la grande differenza di impedenza tra i generatori sincroni, l'impedenza di linea e i parametri di rete consentono di semplificare i dati del cliente necessari per trovare la fase massima ammissibile per la richiusura: l'impedenza del generatore è l'elemento che influenza maggiormente i valori critici per la richiusura.

Ipotesi dell'software applicativo

Tenendo conto delle suddette valutazioni riguardanti la sensibilità, sono stati considerati i seguenti parametri nel software applicativo.

Per il trasformatore di MT/BT predefinito:

An=630 kVA

V1n=20 kV

V2n=400 V

vcc=4%

Per la rete di distribuzione predefinita:

Acc=1000 MVA

V=20 kV

- Il cavo BT predefinito è caratterizzato da una lunghezza di 100 m e da una corrente nominale pari a 1,1 volte la corrente nominale del generatore, con i seguenti valori di resistenza e reattanza per unità di lunghezza:

$r = 0,642 \Omega/\text{km}$

$x = 0,083 \Omega/\text{km}$.

- I convertitori statici sono caratterizzati da due diverse impedenze per il calcolo dei contributi alla corrente di richiusura in funzione di come sono collegati, ad esempio se è presente o meno un trasformatore collegato⁵.
- I convertitori statici sono considerati per l'impedenza equivalente rilevata dall'interruttore durante la manovra di richiusura. Il software applicativo rileva infatti il valore inferiore di impedenza della microgrid e lo divide per il numero di generatori collegati in parallelo. Il calcolo della corrente che fluisce nell'interruttore durante il transitorio di richiusura è quindi conservativo. D'altro canto, per analizzare il valore di corrente riguardante i generatori, si suppone che i convertitori statici vengano scollegati dopo la transizione dinamica stressante per la sensibilità della loro protezione integrata. Sulla base di tale considerazione, ipotizzando di impostare la corrente massima sull'interruttore di interfaccia ad un valore identico a quello dei generatori, in modo che non intervenga la protezione dei generatori durante la riconnessione della microgrid, devono essere verificate le seguenti condizioni:

- se sono presenti due generatori nella microgrid

$$\begin{cases} k_{gen} I_{n_a} \geq \frac{1}{2} k_{int} (I_{n_a} + I_{n_b}) \\ k_{gen} I_{n_b} \geq \frac{1}{2} k_{int} (I_{n_a} + I_{n_b}) \end{cases}$$

- se sono presenti tre generatori nella microgrid

$$\begin{cases} k_{gen} I_{n_a} \geq \frac{1}{3} k_{int} (I_{n_a} + I_{n_b} + I_{n_c}) \\ k_{gen} I_{n_b} \geq \frac{1}{3} k_{int} (I_{n_a} + I_{n_b} + I_{n_c}) \\ k_{gen} I_{n_c} \geq \frac{1}{3} k_{int} (I_{n_a} + I_{n_b} + I_{n_c}) \end{cases}$$

dove k_{gen} è il livello di corrente massima ammissibile rispetto a quello nominale per evitare l'intervento della protezione del generatore (protezione selettiva da cortocircuito), mentre k_{int} è identico a k_{in} , che è la corrente massima ammissibile di richiusura dell'interruttore.

⁵ Si suppone che i convertitori statici, se presenti, vengano collegati alla microgrid tramite un trasformatore, come scelta predefinita. Questo parametro può essere impostato durante la fase di messa in servizio "Plant Configuration", tenendo conto di tutti i convertitori statici connessi con o senza un trasformatore.

Emax 2

Sincronismo e Richiusura

La Tabella 3 illustra un esempio delle possibili taglie di gruppi elettrogeni che rispettano i vincoli di cui sopra.

Tabella 3: esempio di taglie dei generatori secondo il software applicativo

Coefficiente di protezione [generatore/interruttore]		Potenza nominale generatori [generatore A, B, C]		Corrente nominale generatori [generatore A, B, C]		Corrente nominale interruttore, corrente massima interruttore		Corrente massima per protezione generatore		Corrente massima effettiva nei generatori	
K_{gen}	3	AnA [kVA]	400	InA [A]	600	$InCB$ [A]	1800	$InAmax$ [A]	1800	$InAmax$ [A]	1800
K_{int}	2	AnB [kVA]	810	InB [A]	600	$ImaxCB$ [A]	1800	$InBmax$ [A]	3600	$InBmax$ [A]	1800
K_{gen}	3	AnA [kVA]	400	InA [A]	600	$InCB$ [A]	2600	$InAmax$ [A]		$InAmax$ [A]	1733,3
K_{int}	2	AnB [kVA]	810	InB [A]	1200	$ImaxCB$ [A]	5200	$InBmax$ [A]		$InBmax$ [A]	1733,3
		AnC [kVA]	545	InC [A]	800			$InCmax$ [A]		$InCmax$ [A]	1733,3

- Il software applicativo analizza il valore di picco della corrente transitoria, sebbene le protezioni del generatore intervengano generalmente in modo ritardato per questioni di selettività. Questo approccio si dimostra conservativo poiché il picco calcolato decresce probabilmente ad una velocità direttamente proporzionale alla dinamica del sistema stesso. Ne consegue che il valore di picco della corrente di richiusura risulta inferiore a quello critico, poiché non decresce per l'intero periodo considerato.
- Il ritardo definito tra il comando di richiusura e la richiusura effettiva è di 100 ms, un valore conservativo per interruttori meccanici. Ciò significa che la condizione di sincronismo impostata deve durare almeno per l'intervallo di tempo definito.

La Tabella 4 sintetizza tutti i parametri richiesti dal software applicativo e i valori predefiniti.

Tabella 4: elenco di parametri richiesti per il software applicativo

Parametri richiesti	Valore predefinito
Il valore ΔV massimo è la differenza di tensione massima ammissibile ai sensi della normativa locale tra la rete principale e la microgrid nell'istante di richiusura.	$\Delta V=10\%$
La frequenza nominale è la frequenza nominale della rete di distribuzione.	$f=50$ Hz
Il valore Δf massimo è la differenza di frequenza massima ammissibile ai sensi della normativa locale tra la rete principale e la microgrid nell'istante di richiusura.	$\Delta f=0,5\%$
La corrente efficace massima ammissibile per la richiusura dell'interruttore, I_{max} , è definita come multiplo della corrente nominale dell'interruttore; tale fattore di scaling è definito come $k_{ln}=I_{max}/I_n$	$k_{ln}=2$
Lunghezza del cavo di connessione BT	$l=100$ m
Numero di generatori in parallelo	Numero di generatori attivi = 1
Numero di convertitori statici in parallelo	Numero di convertitori statici = 0
Tensione nominale del generatore [V]	Tensione nominale del generatore = 400 V
Potenza apparente del generatore [kVA]	Potenza apparente del generatore = 175 kVA
Impedenza subtransitoria del generatore [Ω]	Valore per i generatori ABB oppure impostato dall'utente nella finestra "Specialist Parameters"

Lo scopo principale del software per la messa in servizio del modulo Ekip Synchrocheck è fornire indicazioni qualitative sulla fase critica per la richiusura della microgrid. Tuttavia non può sostituire il normale studio di ingegnerizzazione, soprattutto in presenza di sistemi complessi.

Esempi di applicazione

I seguenti esempi di applicazione riguardano diverse configurazioni della microgrid secondo il software applicativo.

Tabella 5: esempio 1

Dati inseriti nel software	Dati prodotti dal software
$\Delta V_{\max}$ per definizione standard = 10%	$\Delta V_{\max}$ per richiusura di Emax 2 = 10%
$\Delta f_{\max}$ per definizione standard = 0,5%	$\Delta f_{\max}$ per richiusura di Emax 2 = 0,4%
f=50 Hz	Tempo massimo di richiusura = 100 ms
kint=2	Fase critica per richiusura = 19,7°
Lunghezza linea di connessione = 100 m	Fase critica del controllo sincronismo per richiusura = 19°
Generatori attivi nella microgrid = 1	
Convertitori statici nella microgrid = 0	
Tensione nominale generatore sincrono = 400 V	
Potenza apparente generatore sincrono = 175 kVA	
Reattanza subtransitoria = 0,2 Ω	

Tabella 6: esempio 2

Dati inseriti nel software	Dati prodotti dal software
$\Delta V_{\max}$ = 10%	$\Delta V_{\max}$ per richiusura = 10%
$\Delta f_{\max}$ = 0,5%	$\Delta f_{\max}$ per richiusura = 0,4%
f=50 Hz	Tempo massimo di richiusura = 100 ms
kint=2	Fase critica per richiusura = 8,5°
Lunghezza cavo di connessione = 100 m	Fase critica del controllo sincronismo per richiusura = 8°
Generatori attivi nella microgrid = 1	
Convertitori statici nella microgrid = 1	
Convertitore statico con trasformatore connesso	
Tensione nominale generatore sincrono = 400 V	
Potenza apparente generatore sincrono = 175 kVA	
Reattanza subtransitoria = 0,2 Ω	

La manovra di richiusura implica la connessione di un generatore a una sbarra in tensione (viva); pertanto occorre definire le seguenti impostazioni in aggiunta a quelle che abilitano il modulo Ekip Synchrocheck (vedere l'allegato A):

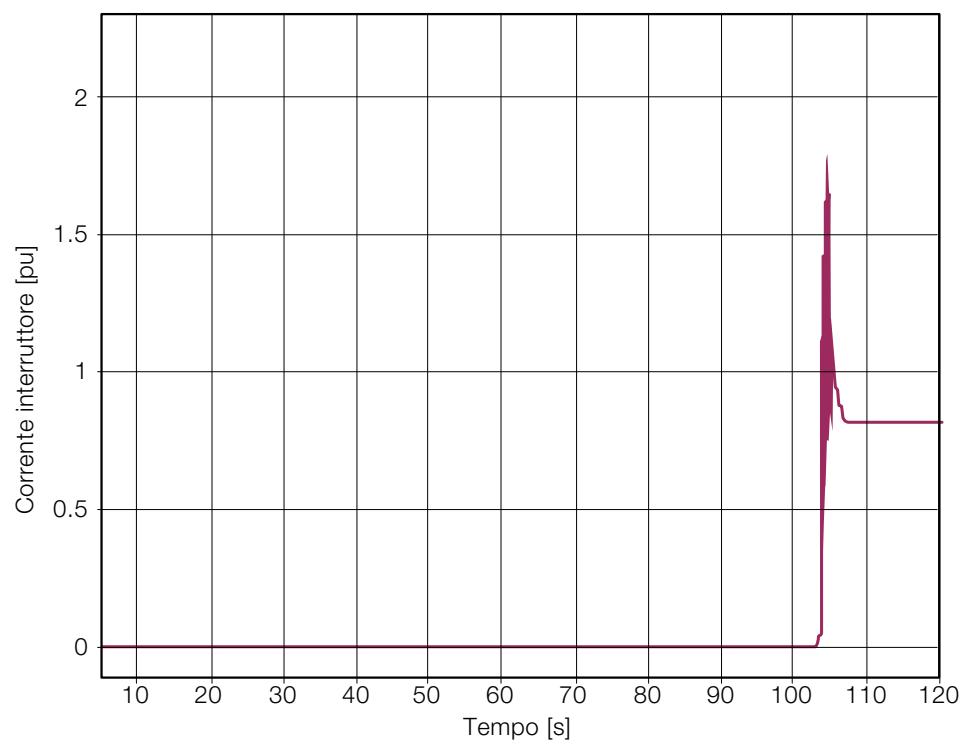
- Selezione della tensione tra le fasi di riferimento
U12. La tensione selezionata viene assunta come riferimento per il controllo del sincronismo.
- Tensione primaria TV [V]
in base alla tensione di rete indicata nei dati iniziali dovrà essere impostato il valore 400 V
- Tensione secondaria TV [V]
in base alla tensione secondaria del TV selezionato (ad esempio 100 V), dovrà essere impostato il valore 100 V sullo sganciatore.

Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Il risultato è descritto nella Figura 27, che mostra l'andamento dinamico del valore di corrente che fluisce nell'interruttore principale durante la riconnessione della microgrid con le impostazioni di sincronismo summenzionate. Il valore della corrente è espresso come valore unitario della corrente nominale dell'interruttore.

Figura 27: corrente che fluisce nell'interruttore durante la manovra di riconnessione della microgrid



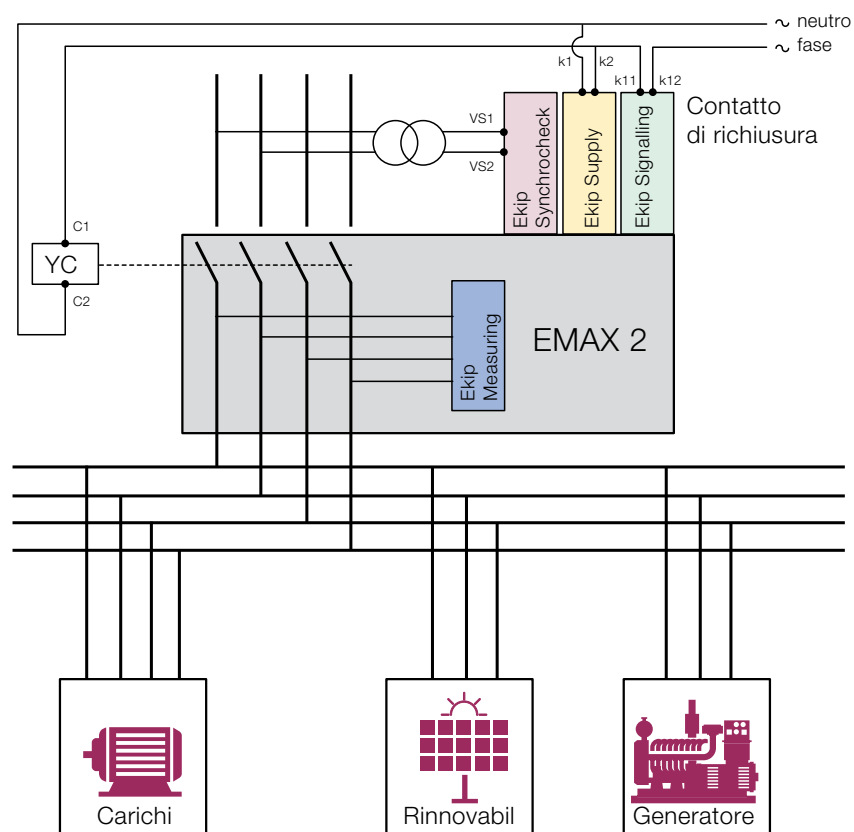
Schema elettrico per la richiusura automatica

La connessione tra il modulo Ekip Synchrocheck e lo sganciatore di protezione è realizzata tramite il modulo Ekip Supply, che alimenta sia lo sganciatore che il modulo Synchrocheck.

Al raggiungimento del sincronismo e della stabilità della rete principale, viene attivato un contatto del modulo Ekip Signalling, normalmente integrato in Emax 2 come mostra la Figura 28. Tale contatto consente la chiusura dell'interruttore direttamente tramite il collegamento con la bobina di chiusura YC (a 220 V AC⁶).

⁶ Per altre tensioni di alimentazione si raccomanda un'unità di alimentazione ausiliaria.

Figura 28: esempio di schema elettrico per la richiusura automatica della microgrid



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Distinta component

La funzione automatica Sincronismo e Richiusura è disponibile nella gamma di interruttori Emax 2 con gli accessori elencati nella Tabella 7.

Tabella 7: distinta componenti per la funzione Sincronismo e Richiusura

Descrizione	Prodotto	Codici per l'ordinazione	Note ⁷
Sganciatore	Piattaforma dello sganciatore Ekip Touch + Ekip Measuring Pro	Integrato nell'interruttore Emax 2	In alternativa, sganciatori Ekip Hi Touch, Ekip G Touch, Ekip G Hi Touch
Alimentazione	Ekip Supply 110-240 V AC/DC	Ekip Supply 110-240 V AC/DC 1SDA074172R1	In alternativa, modulo Ekip Supply 24-48 V DC (1SDA074173R1)
Contatti I/O	Ekip Signalling 4k + Ekip Signalling 2K-1	1SDA074170R1 + 1SDA074167R1	In alternativa, Ekip Signalling 10k (1SDA074171R1) + in via opzionale Ekip Link (1SDA074163R1)
Bobina di chiusura	YC E1.2..E6.2 220-240V AC/DC	1SDA073687R1	In alternativa, bobina di chiusura YC con diversa tensione di alimentazione
Modulo di controllo sincronismo	Ekip Synchrocheck	1SDA074183R1	
Licenza software su chiavetta USB	Sincronismo e Richiusura	1SDA082923R1	

⁷ Per i codici per l'ordinazione, vedere 1SDC200023D0204 per IEC e 1SDC200039D0201 per UL.

Allegato A – Ekip Synchrocheck

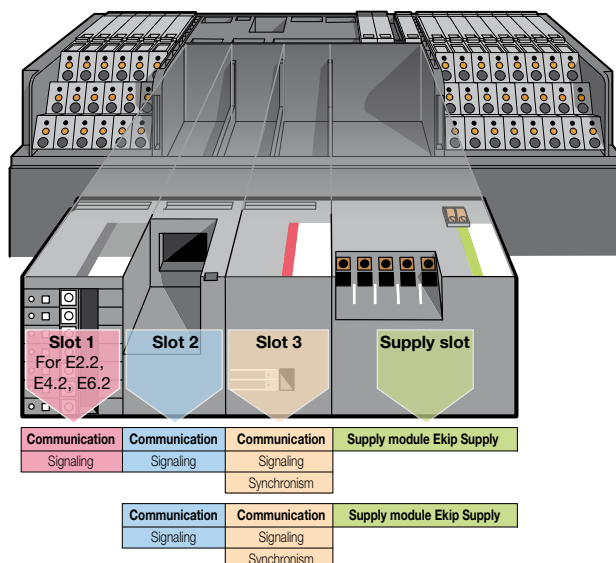
Il modulo Ekip Synchrocheck è posizionato in una cava dell'area accessori di Emax 2, esattamente come gli altri moduli di connettività. Per quanto concerne la funzione Sincronismo e Richiusura, il modulo acquisisce la tensione tra le due fasi della linea per mezzo di un trasformatore di tensione monofase esterno collegato al lato della rete principale e le tre tensioni concatenate per mezzo delle prese di tensione interne di Emax 2 posizionate sul lato della microgrid⁸.

⁸ Per tensioni di microgrid superiori a 690 V, anche sul lato dell'interruttore, occorre prevedere e collegare un trasformatore di tensione trifase e collegato alle prese esterne di Emax 2 sulla scheda principale.

Figura 29: Modulo a cartuccia Ekip Synchrocheck



Figura 30: area accessori di Emax 2



La Tabella 8 elenca tutti i parametri da impostare per la funzione Sincronismo e Richiusura. Come estensione di questa applicazione è possibile configurare la modalità operativa con “sbarra morta” utilizzando i valori descritti nella Tabella 9. La figura 31 mostra il corrispondente schema elettrico.

Tabella 8: parametri necessari per il modulo Ekip Synchrocheck

	Differenza massima ammissibile tra i valori di tensione per consentire la manovra di richiusura
Δf soglia – differenza di frequenza	Intervallo (0,1-1) Hz a incrementi di 0,1 Hz.
	Differenza massima ammissibile tra i valori di frequenza per consentire la manovra di richiusura
$\Delta \phi$ soglia – differenza dell'angolo di fase	Intervallo (3°-50°) a incrementi di 1°.
	Differenza massima ammissibile tra i valori dell'angolo di fase per consentire la manovra di richiusura
Tensione primaria TV [V]	100,115,120,190,208,220,230,240,277,347,380,400,415,440,480,500,550, 600,660,690,910,950,1000,1150 V
	Livello di tensione sugli avvolgimenti primari del TV esterno (lato modulo Synchrocheck).
Tensione secondaria TV [V]	100,110,115,120 V
	Livello di tensione sugli avvolgimenti secondari del TV esterno (lato modulo Ekip Synchrocheck).
Selezione della tensione concatenata di riferimento	V12, V23, V31
	È possibile impostare la tensione di riferimento (lato generatore) in base alla connessione
Tempo minimo auspicabile per la condizione di sincronismo t_{sin} (ms)	Intervallo (0,1-3) s a incrementi di 0,1 s
	Il tempo minimo auspicabile per la condizione di sincronismo definisce i valori disponibili di Δf e $\Delta \phi$ tali che la condizione di sincronismo permanga almeno per il tempo t_{sin} definito.
	t_{sin} può essere calcolato utilizzando la seguente formula: $360^\circ \cdot \Delta f \cdot t \leq 2 \cdot \Delta \phi$. Il software applicativo per la messa in servizio suggerisce già un tempo di 100 ms.

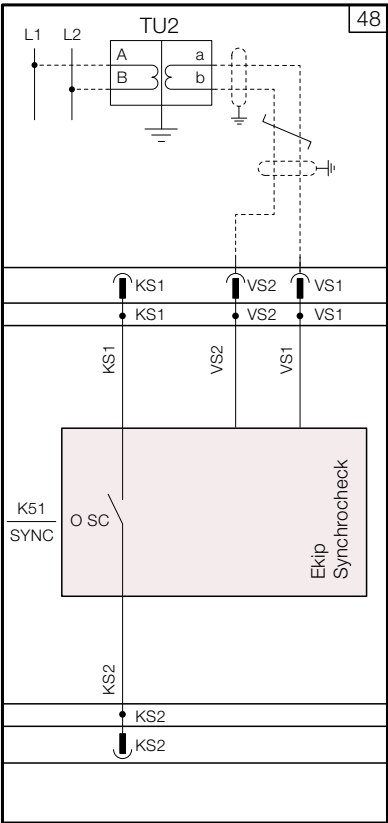
Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Tabella 9: Parametri del modulo Ekip Synchrocheck per la modalità con sbarra morta

Modulo Ekip Synchrocheck abilitato	SÌ/NO Abilita il modulo Ekip Synchrocheck
Opzione con sbarra morta	Selezionare la modalità operativa, ad es. “sbarra viva” (selezionare NO) o “sbarra morta” (selezio- nare SÌ)
Tensione soglia in modalità con sbarra viva $V_{in\ tensione}$	Intervallo (0,5-1,1)xVn a incrementi di 0,01xVn. La tensione del sistema nel quale va riconnesso il modulo dovrebbe essere superiore alla tensione di soglia in modalità con sbarra viva. Tale condizione deve essere soddisfatta per t_{rif} .
Tensione soglia in modalità con sbarra morta $V_{in\ tensione}$	Intervallo (0,02-0,2)xVn a incrementi di 0,01xVn. La tensione del sistema nel quale va riconnesso il modulo deve essere inferiore alla tensione di soglia in modalità con sbarra morta. Tale condizione deve essere soddisfatta per t_{rif} .
Tempo di stabilità sbarra t_{rif}	Intervallo (0,1-30) s a incrementi di 0,1 s Tempo durante il quale la tensione di controllo deve permanere sulla sbarra in tensione (tensione soglia con sbarra in tensione $V_{in\ tensione}$) oppure con sbarra morta (tensione di soglia con sbarra morta $V_{fuori\ tensione}$)
Impostazione del sincronismo sul lato sbarra morta	Normale/Inverso Per quanto concerne la modalità con sbarra fuori tensione, selezionare NORMALE se il modulo Ekip Synchrocheck si trova sul lato sbarra morta

Figura 31: schema elettrico del modulo Ekip Synchrocheck



Allegato B - Ekip Signalling

Ekip Signalling è un modulo di contatto programmabile, che può essere fornito già integrato in Emax 2, ad es. Ekip Signalling 2k e Ekip Signalling 4k⁸, oppure fornito a parte come modulo esterno su guida DIN, ad es. Ekip Signalling 10k.

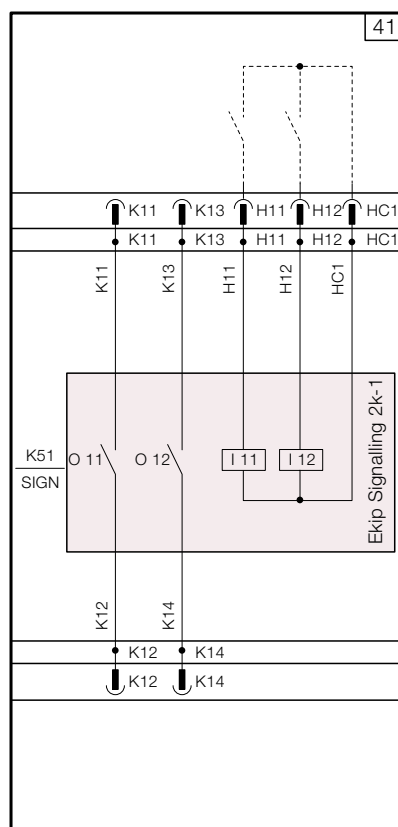
Quest'ultimo viene collegato a Emax 2 tramite Local Bus o Link Bus (vedere l'allegato C).

Per la funzione Sincronismo e Richiusura, sono necessarie almeno 5 uscite per le manovre di sincronizzazione e richiusura¹⁰. Inoltre, è necessario un ingresso per avviare la sincronizzazione.

⁸ Ekip Signalling 4k è disponibile per le taglie E2.2-E6-2.

⁹ Questo contatto di Ekip Signalling mantiene la posizione per almeno 200 ms. Allo scadere di questo tempo e se l'interruttore in parallelo è ancora aperto, il contatto rimane eccitato se sono ancora garantite le condizioni di sincronismo. In caso contrario, se viene meno la condizione di abilitazione del sincronismo, il contatto ritorna in posizione normalmente aperta.

Figura 32: schema elettrico del modulo Ekip Signalling 2k



Emax 2

Sincronismo e Richiusura

Figura 33: schema elettrico del modulo Ekip Signalling 4k

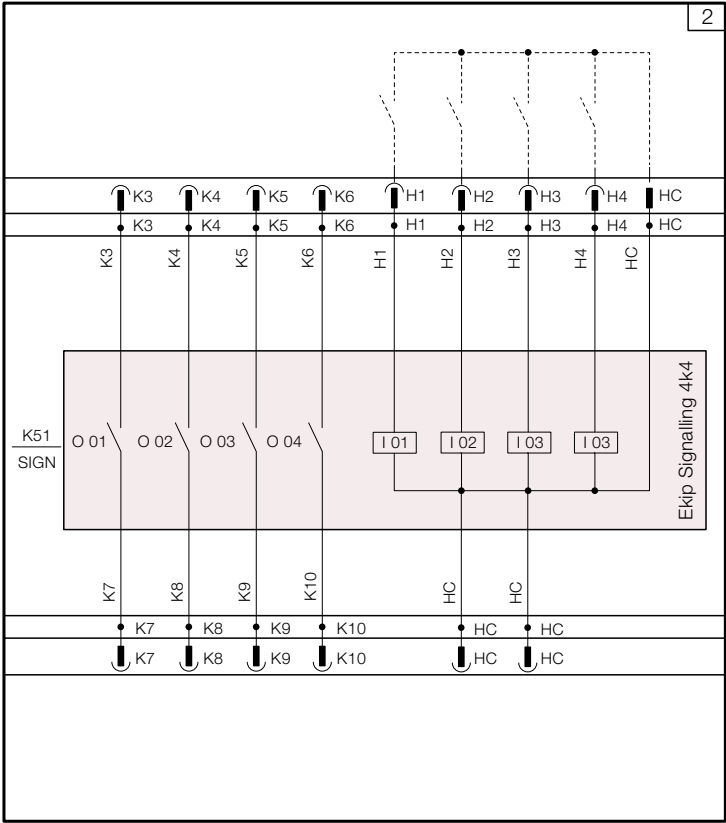
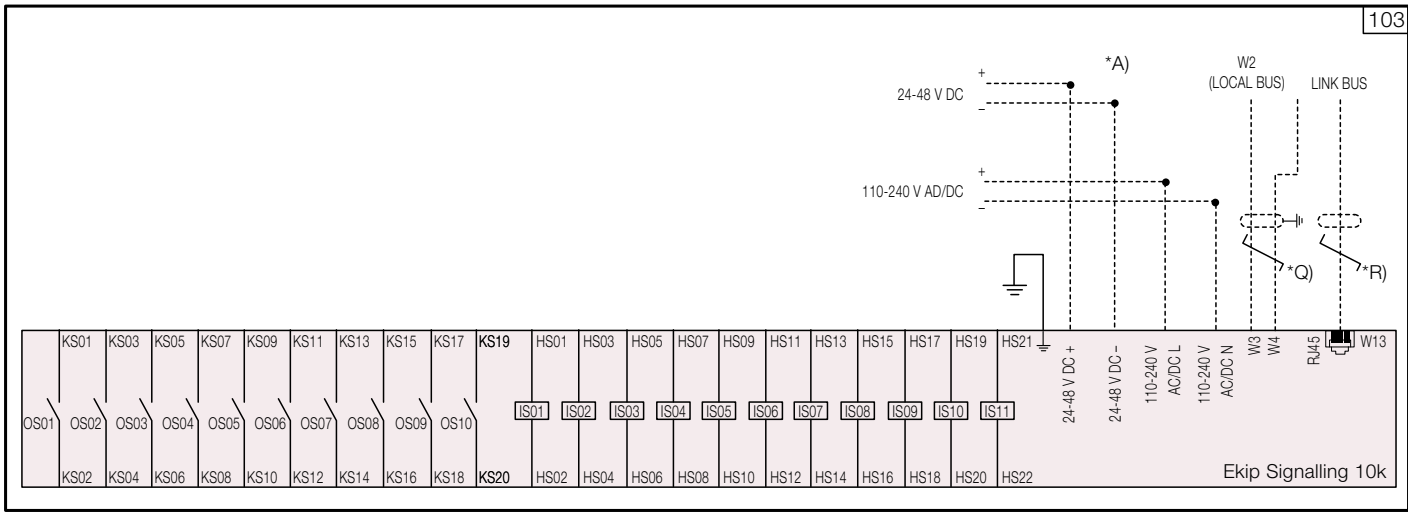


Figura 34: schema elettrico del modulo Ekip Signalling 10k



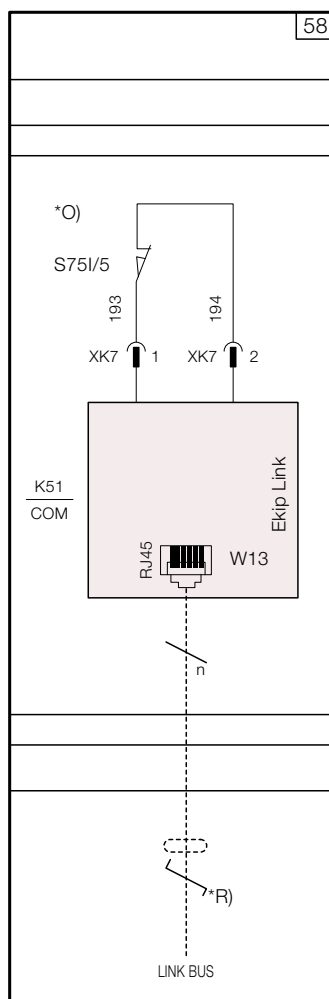
Allegato C - Ekip Link

Ekip Link è il modulo a cartuccia che abilita la rete Ethernet dedicata sulla base del protocollo di comunicazione proprietario. Nella funzione Sincronismo e Richiusura, può essere utilizzato in via opzionale per collegare il modulo su guida DIN Ekip Signalling 10k a Emax 2 nei casi in cui il generatore controllato sia fisicamente distante dall'interruttore principale.

Figura 35: Modulo a cartuccia Ekip Link



Figura 36: schema elettrico del modulo Ekip Link



Contatti

Per maggiori informazioni contattare:

ABB SACE

Una Divisione di ABB S.p.A.

L.V. Breakers

Via Pescaria, 5

24123 Bergamo – Italia

Tel.: +39 035 395 111

Fax: +39 035 395306-433

www.abb.com



Dati e immagini non sono vincolanti. Ci riserviamo il diritto di modificare il contenuto del presente documento senza preavviso sulla base dello sviluppo tecnico dei prodotti.

Copyright 2017 ABB. Tutti i diritti riservati.

1SDC007118G0201 - 02/2017