



UNIONE EUROPEA  
Fondo Sociale Europeo  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## **Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR**

Progetti di Ricerca Industriale e Sviluppo Sperimentale nelle 12 Aree di Specializzazione individuate dal PNR 2015-2020

---

# **Definizione di criteri per l'Automazione Evoluta per Unità Periferiche di Cabina Secondaria nella rete di E-DISTRIBUZIONE**

*Rapporto Tecnico di Ricerca Industriale D6.3a*



<b>Avviso</b>	Avviso 1735 del 13.07.2017 MIUR
<b>Codice progetto</b>	ARS01_01259
<b>Nome del progetto</b>	Community Energy Storage Gestione Aggregata di Sistemi di Accumulo dell'Energia in Power Cloud
<b>Acronimo</b>	ComESto
<b>Documento</b>	D6.3a
<b>Tipologia</b>	Rapporto Tecnico
<b>Data di Rilascio</b>	31/07/2020
<b>Obiettivo Realizzativo</b>	OR6
<b>Attività Realizzativa</b>	A6.3
<b>Soggetti Beneficiari Proponenti</b>	E-DISTRIBUZIONE
<b>Elaborato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)</b>	Carla Marino, Stefano Riva – E-DISTRIBUZIONE
<b>Verificato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)</b>	Gianluca Sapienza, Claudio Alberti, Francesco Dura – E-DISTRIBUZIONE
<b>Approvato (Nome, Cognome – Soggetto Beneficiario)</b>	Membri del PEB



## Indice

---

1.EXECUTIVE SUMMARY.....	6
2.STATO DELL'ARTE.....	7
3.EVOLUZIONE DELLE TECNICHE DI SELEZIONE DEL GUASTO .....	10
4.SOLUZIONE INTEGRATA CON I SISTEMI SCADA E ADMS.....	13
5.CONFRONTO TRA LE SOLUZIONI PROPOSTE E CONCLUSIONI .....	14

## Indice delle figure

---

Figura 1 - Guasto su linea con FSL. ....	8
Figura 2 - Selezione del guasto su linea con FSL. ....	8
Figura 3 - Guasto su linea in SFS. ....	9
Figura 4 - Selezione del guasto su linea con SFS. ....	9
Figura 5 – Contro-alimentazione della porzione di rete sana su linea in SFS. ....	9
Figura 6 - Guasto su linea in DBR. ....	11
Figura 7 - Selezione del guasto su linea in DBR. ....	11
Figura 8 – Contro-alimentazione della porzione di rete sana su linea in DBR. ....	12
Figura 9 - Guasto su linea in DSR. ....	13
Figura 10 - Selezione del guasto su linea in DSR. ....	13
Figura 11 - Valutazione del migliore organo di manovra contro-alimentante. ....	14
Figura 12 – Contro-alimentazione della porzione di rete sana su linea in DSR. ....	14

## Abbreviazioni ed acronimi

Abbreviazione/Acronimo	Testo Esteso
ADMS	Advanced Distribution Management System
CP	Cabina Primaria
CS	Cabina Secondaria
DBR	Dynamic Border Recovery
DSR	Dynamic Supply Restoration
FER	Fonti Energetiche Rinnovabili
FNC	Funzione Neutro Compensato
FO	Fibra Ottica
FRG	Funzione Rilevazione di Guasto
FSL	Funzione Selettività Logica
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
ICS	Interruttore di Cabina Secondaria
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IMS	Interruttore di Manovra Sezionatore
IP	Internet Protocol address
LTE	Long Term Evolution/Comunicazione wireless a banda larga
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
MT	Media Tensione
OdM	Organo di Manovra
RGDAT	Rilevatore di Guasto Direzionale e Assenza Tensione
RGDM	Rilevatore di Guasto Direzionale e Misure
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
SFS	Smart Fault Selection
UP	Unità Periferica

## 1. EXECUTIVE SUMMARY

Il presente documento, deliverable del progetto ComESTo, descrive i risultati relativi alle attività svolte nell'ambito dell'attività **6.3 "Tecnologie per l'automazione evoluta della rete di distribuzione"**, dell'Obiettivo Realizzativo 6 (OR6).

In generale, gli obiettivi del progetto ComESTo mirano a definire linee di ricerca ed individuare spazi applicativi per sviluppare soluzioni tecnologiche e sistemiche innovative ed a valore aggiunto per la "smartizzazione" di DC nanogrid asservite all'alimentazione di utenze civili (Consumer/Prosumer) e per l'integrazione di generazione da FER e accumulo presso Producer, con l'obiettivo finale di favorire il processo di industrializzazione dei risultati e dei prodotti della ricerca:

- sviluppando nuove metodologie per analisi tecnico-economiche necessarie alla pianificazione della rete elettrica di distribuzione;
- rendendo i clienti connessi alla rete di distribuzione sempre più attivi e sempre più al centro nella gestione dell'energia elettrica.

Con l'evolversi del sistema elettrico ed una sempre più crescente presenza di produzione da fonti rinnovabili e risorse di accumulo, la rete di distribuzione ha subito nel tempo dei cambiamenti tali per cui risulta sempre più necessario attuare delle misure al fine di evitare sovraccarichi, gestire i guasti e ridurre disturbi sulla rete elettrica e quindi sui clienti connessi ad essa. Per far questo, il DSO ha l'obbligo di garantire la continuità del servizio dei clienti connessi, cercando di ridurre al minimo la durata cumulata delle interruzioni dei clienti nonché il numero di clienti soggetti ad interruzione.

In linea con gli obiettivi progettuali, le attività condotte sono state orientate allo studio ed alla validazione di strumenti innovativi per l'applicazione di tecniche di automazione nella gestione delle reti elettriche, quali: l'evoluzione della logica SFS (Smart Fault Selection), con l'obiettivo di incrementare la flessibilità nella selezione "dinamica" del confine di contro-alimentazione a valle del punto di guasto, utilizzando le capacità di inter-comunicazione fra gli apparati nel rispetto dei vincoli elettrici.

I nuovi criteri di automazione qui teorizzati si rivelano necessari al fine di gestire le criticità di rete e ridurre l'impatto che queste hanno sui clienti: per tale motivo occorre anche far sì che il minore numero di clienti possibile subisca nel minore tempo le conseguenze dei guasti che si presentano nella rete di distribuzione. Il distributore mette quindi in pratica delle modalità di esclusione automatica dei guasti, isolando le porzioni di rete colpite da episodi di cortocircuito o guasti di terra.

In particolare, il documento si focalizza sui benefici della logica Smart Fault Selection (di qui in avanti SFS) e di tutte le sue possibili varianti rispetto alle metodologie di automazione tradizionale, utilizzando le capacità di intercomunicazione fra gli apparati nel rispetto dei vincoli elettrici della rete di distribuzione.

## 2. STATO DELL'ARTE

Le logiche di automazione impiegate nell'esercizio della rete di E-distribuzione costituiscono delle funzioni di selezione del guasto, raggruppabili rispettivamente nelle seguenti categorie:

- FRG – Funzione rilevazione di guasto;
- FNC – Funzione neutro compensato;
- Selettività amperometrica.

Queste funzioni di automazione sono basate su logiche di tipo locale in cui vengono integrati dispositivi di protezione (Rilevatori di guasto direzionale e assenza tensione o RGDAT), unità periferiche di cabina secondaria (UP) ed organi di manovra di differente tipologia, ovvero Interruttori di manovra sezionatori (IMS) e Interruttori di cabina secondaria (ICS).

La funzione FRG si basa sui concetti di presenza tensione e di presenza dei segnali di guasto di tipo omopolare o per cortocircuito; la funzione FNC viene impiegata in modo esclusivo sulle reti esercite a neutro compensato, in cui la bobina di Petersen consente di ridurre l'ampiezza della corrente di guasto.

Tali logiche di automazione consentono di isolare la porzione di linea guasta entro una finestra temporale massima di 3 minuti e possono essere praticate mediante l'ausilio di tecnologie tradizionali, come quelle elencate precedentemente.

L'evoluzione dei dispositivi di protezione e di telecontrollo degli impianti di cabina primaria e secondaria fa sì che la tecnologia impiegata si sia man mano evoluta e che sia oggi in grado di effettuare logiche di automazione più veloci, basate sulla comunicazione tra dispositivi (Intelligent Electronic Device o IED) mediante rete LTE e sullo standard di comunicazione IEC 61850, che consente di ridurre i collegamenti filati, favorendo una trasmissione di segnali, comandi e misure di tipo digitale.

Impiegando quindi dispositivi di protezione digitali come i pannelli di linea di nuova generazione e i Rilevatori di guasto direzionale e misure (RGDM), si è in grado di eseguire tecniche di automazione di rete basate sulla comunicazione tra apparati, in particolare:

- FSL – Funzione selettività logica;
- SFS – Smart Fault Selection.

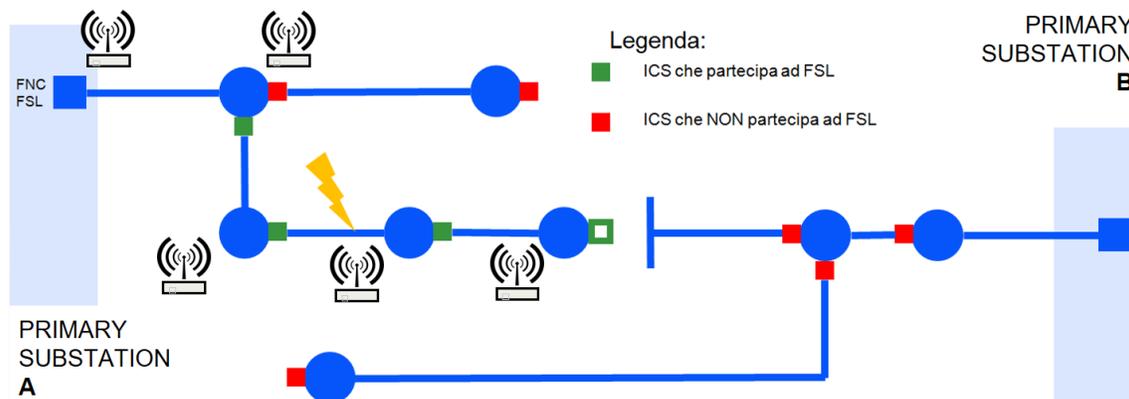


Figura 1 - Guasto su linea con FSL.

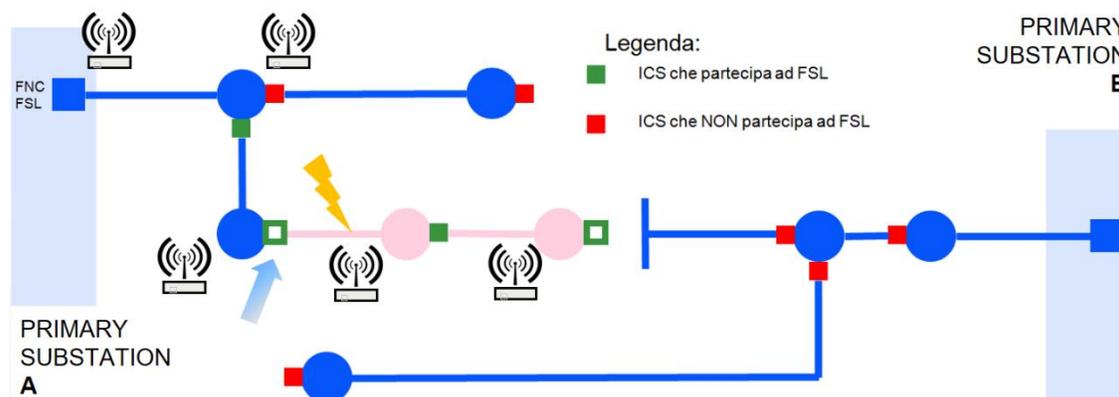


Figura 2 - Selezione del guasto su linea con FSL.

Come illustrato in Figura 1 e Figura 2, la funzione di automazione FSL consente di comandare l'apertura dell'organo di manovra più vicino al guasto, tarando le protezioni con lo stesso tempo di intervento.

La protezione che interviene nella selezione del guasto invia inoltre un segnale di blocco alle protezioni precedenti, mediante messaggio GOOSE su rete LTE.

La funzione SFS funziona col medesimo principio di funzionamento della FSL, con l'aggiunta che il tronco di linea sano a valle del guasto possa essere contro-alimentato della direttrice confinante.

Come illustrato in Figura 3, Figura 4 e Figura 5, alla selezione del guasto si aggiunge un'ulteriore manovra che consiste nella chiusura automatica dell'interruttore di confine; questa procedura consiste nella contro-alimentazione, dalla direttrice confinante, della porzione di rete sana del tronco di linea a valle del guasto.

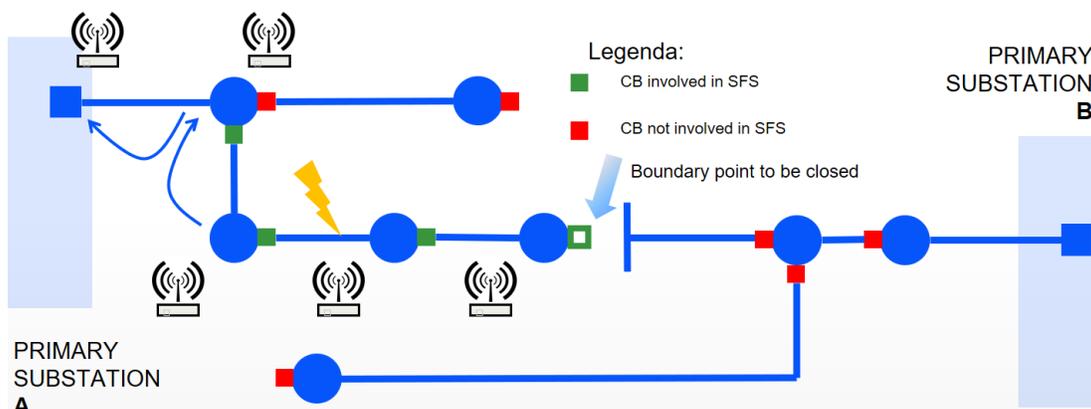


Figura 3 - Guasto su linea in SFS.

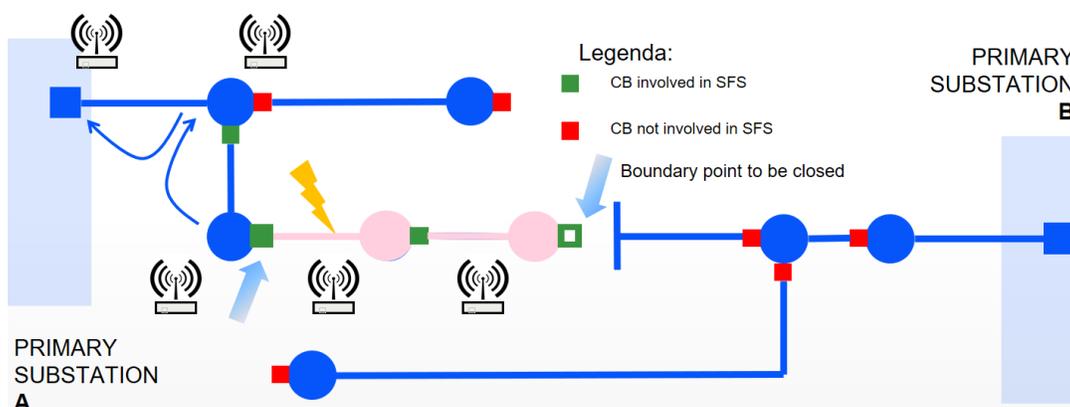


Figura 4 - Selezione del guasto su linea con SFS.

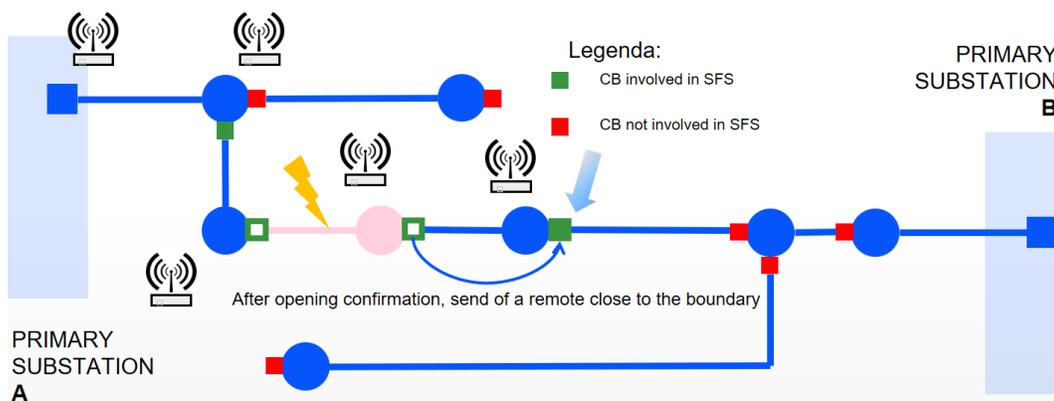


Figura 5 – Contro-alimentazione della porzione di rete sana su linea in SFS.

La comunicazione avviene tra i dispositivi di protezione disposti lungo la direttrice in MT utilizzando il protocollo IEC61850 in particolare la mappatura GOOSE.

Gli RGDM pubblicano i messaggi di GOOSE:

- Blind (messaggio di blocco degli RGDM precedenti);
- Remote Trip (messaggio di comando apertura dell'OdM successivo);
- Remote Close (messaggio di comando chiusura dell'OdM di confine).

Il protocollo IEC61850 è uno standard per la progettazione dei sistemi di automazioni per le sottostazioni elettriche, in questo caso viene utilizzato in "wide area" su rete wireless o fibra ottica.

### 3. EVOLUZIONE DELLE TECNICHE DI SELEZIONE DEL GUASTO

L'automazione di rete ha dunque subito varie evoluzioni, le cui applicazioni sono sovente state utilizzate nel corso di vari progetti sperimentali, tra i quali il progetto Puglia Active Network nell'ambito del NER300.

Queste modalità di esclusione dei guasti permettono di:

- Isolare un guasto in un tempo minore rispetto alle tecniche di automazione con logica locale;
- Ridurre la durata cumulata delle interruzioni;
- Ridurre il numero di interruzioni, rappresentato dal numero di clienti interrotti;
- Garantire una migliore continuità del servizio ad un più elevato numero di clienti connessi alla rete di distribuzione.

Questo tipo di scenario favorisce quindi una migliore continuità del servizio, permettendo al DSO di gestire queste criticità di rete, minimizzando i costi e migliorando quindi anche il servizio offerto ai clienti con capacità di generazione distribuita da fonti rinnovabili.

In virtù di questo, una modalità di automazione evoluta consente di svolgere una più attenta pianificazione di rete, individuando strategicamente gli impianti coinvolti nell'automazione e l'infrastruttura che essa comporta.

Come illustrato nel paragrafo precedente, la versione più evoluta di automazione, in ottica smart grids, fa sì che sia possibile anche la ri-alimentazione dei clienti inclusi nelle porzioni di rete sane a valle dei tronchi guasti, mediante la chiusura automatica degli interruttori di confine in prossimità di altre linee.

In una rete esercita con la SFS, la velocità di selezione del tronco guasto e di contro-alimentazione della porzione sana di rete è la maggiore possibile (<1s).

L'infrastruttura della rete di comunicazione da implementare in questo tipo di automazione è però complessa e costosa: come risultato si ha la necessità di una garanzia della banda ed inoltre questa soluzione presenta l'inconveniente della latenza di rete.

Inoltre, la configurazione degli apparati di rete è complessa e necessita di un consistente intervento umano per la gestione delle modifiche della configurazione della topologia di rete.

Una tipologia di automazione alternativa alla SFS è rappresentata dall'automazione DBR, Dynamic Border Recovery.

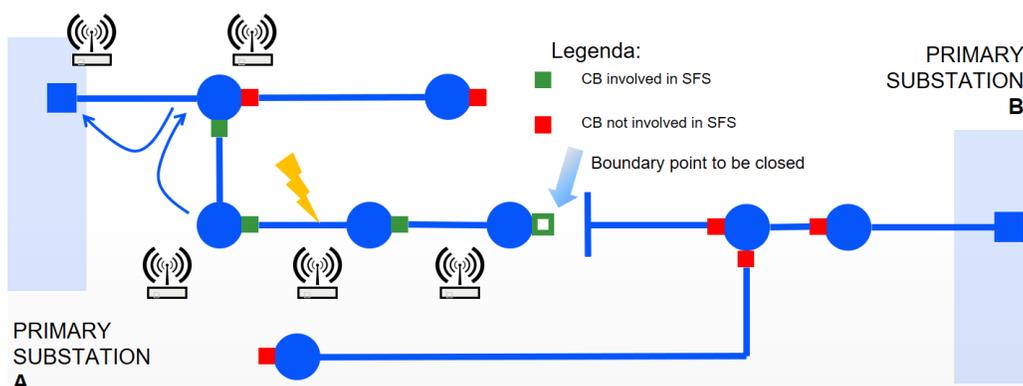


Figura 6 - Guasto su linea in DBR.

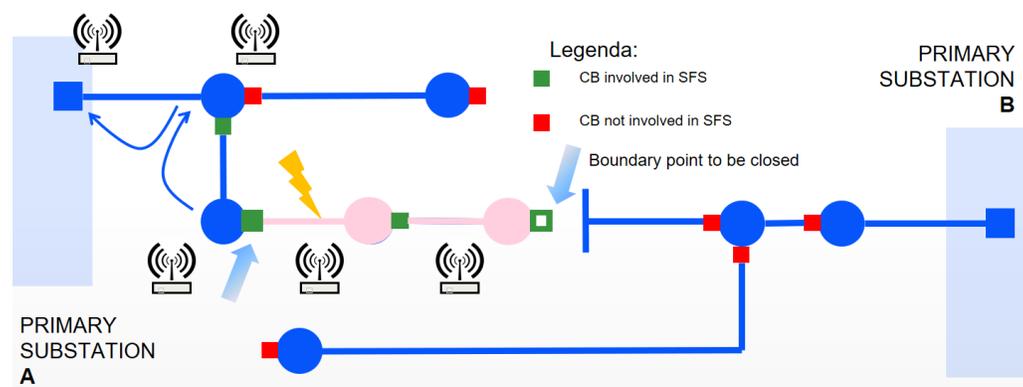


Figura 7 - Selezione del guasto su linea in DBR.

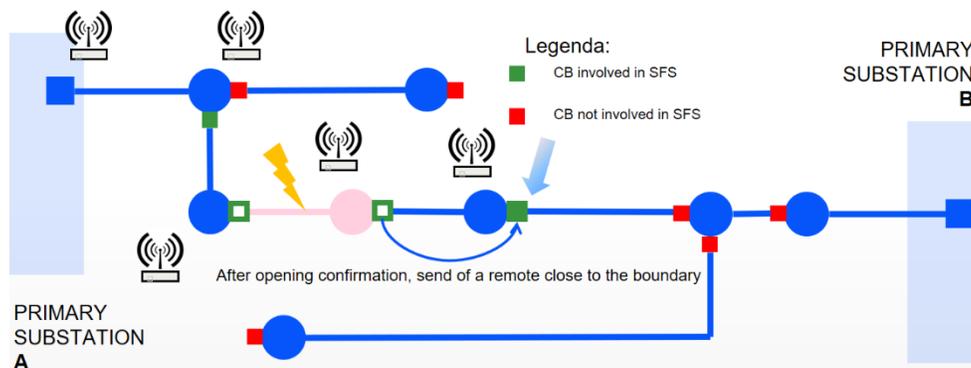


Figura 8 – Contro-alimentazione della porzione di rete sana su linea in DBR.

Da un punto di vista grafico, secondo quanto illustrato in Figura 6, Figura 7 e Figura 8 la selezione del guasto nell'automazione DBR avviene in modo analogo all'automazione SFS.

La differenza tra le due tipologie di automazione è a livello implementativo, difatti la comunicazione non avviene tra RGDM mediante mappatura GOOSE ma sfrutta il protocollo MQTT.

Complessivamente i dispositivi interessati nella DBR sono:

- Protezione di direttrice MT, che monitora l'interruttore MT di CP;
- UP di CS lungo la direttrice, le quali monitorano e gestiscono gli interruttori impiegati nell'automazione;
- UP di confine, che gestisce l'organo di manovra di confine tra due linee MT.

Il protocollo MQTT è stato progettato per le situazioni in cui è richiesto un basso impatto e dove la banda è limitata. Ogni dispositivo (Protezione MT e UP) ha uno e un solo destinatario nella comunicazione.

La velocità di selezione del tronco guasto e di contro-alimentazione della porzione sana di rete in tal caso è inferiore rispetto alla SFS (<5s).

L'infrastruttura della rete di comunicazione standard, in questo caso, prevede una banda e una latenza di rete commerciale, una configurazione degli apparati di rete semplice, con conseguente gestione delle modifiche della configurazione della topologia di rete dinamica.

Da un punto di vista teorico, tale procedura di configurazione potrebbe essere automatica.

#### 4. SOLUZIONE INTEGRATA CON I SISTEMI SCADA E ADMS

Un'ulteriore evoluzione delle tecniche di automazione è rappresentata dall'automazione DSR, Dynamic Supply Restoration la cui architettura generale prevede:

- Messaggio GOOSE tra RGDM;
- Messaggio IP tra unità periferiche;
- Impiego dei sistemi SCADA e ADMS per la selezione del confine migliore mediante calcoli elettrici.

Questa soluzione quindi, secondo quanto illustrato in Figura 9 e Figura 10, integra gli aspetti salienti delle automazioni SFS e DBR, con l'aggiunta di una fase di valutazione del miglior confine di contro-alimentazione della porzione di rete sana sulla linea in automazione DSR.

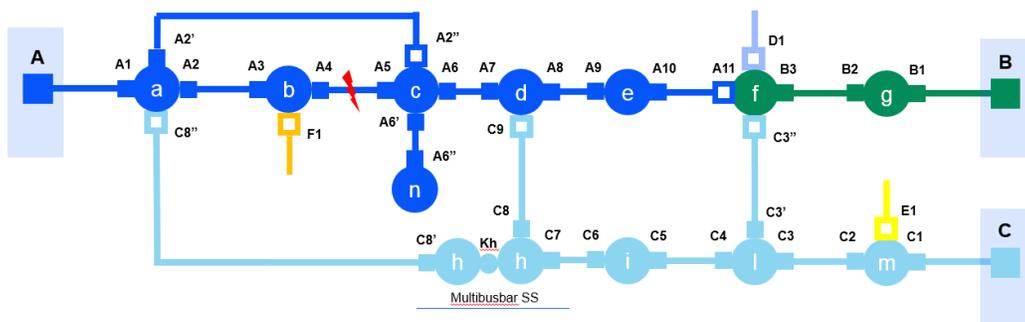


Figura 9 - Guasto su linea in DSR.

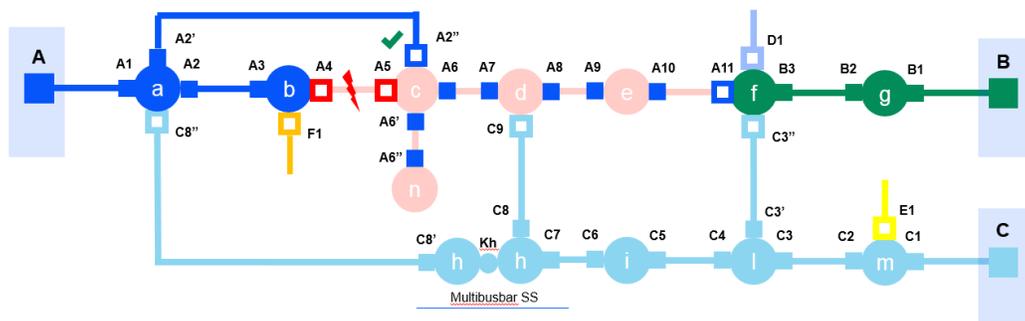


Figura 10 - Selezione del guasto su linea in DSR.

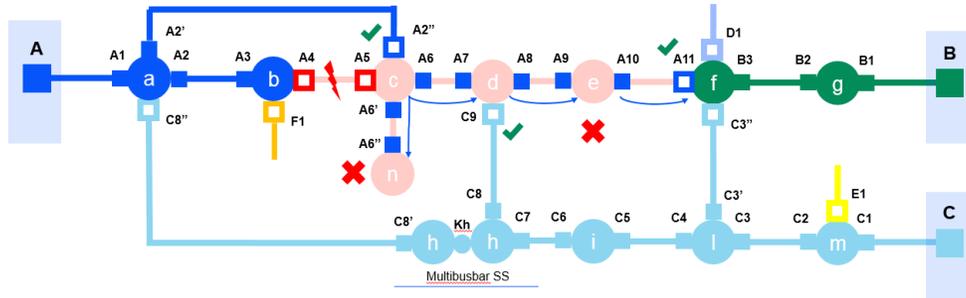


Figura 11 - Valutazione del migliore organo di manovra contro-alimentante.

Come illustrato in Figura 11, a valle della selezione del guasto che avviene in modalità analoghe a SFS e DBR, vi è l'individuazione di più punti di confine che possano contro-alimentare la porzione di rete sana.

La valutazione del confine più conveniente può essere svolta integrando i sistemi SCADA e ADMS, che consentirebbero di gestire gli organi di manovra e svolgere i calcoli elettrici di rete in corrispondenza di ciascuna cabina di confine, individuando eventuali violazioni dei vincoli di rete e valutando il maggior numero di clienti rialimentati.

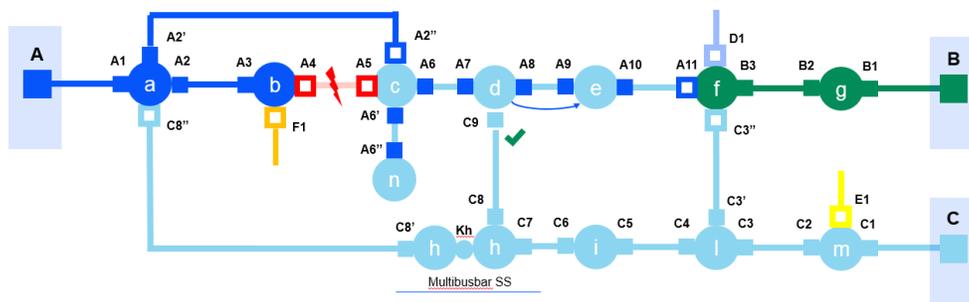


Figura 12 – Contro-alimentazione della porzione di rete sana su linea in DSR.

## 5. CONFRONTO TRA LE SOLUZIONI PROPOSTE E CONCLUSIONI

Le soluzioni finora proposte presentano delle caratteristiche che possono essere sintetizzate nella Tabella 1.

Tabella 1 - Confronto tra le tipologie di automazione presentate.

Tipologia di automazione	SFS	DBR	DSR
Dispositivi impegnati nella comunicazione	DV7203 RGDM UP2020Lite/2020	DV7203 RGDM UP2020Lite/2020	DV7203 RGDM UP2020Lite/2020

Standard e protocolli di comunicazione	IEC 61850	MQTT	IEC 61850 MQTT
Infrastruttura di comunicazione minima	FO/LTE Latenza garantita	LTE 3G Latenza "ordinaria"	FO/LTE Latenza garantita
Confine dinamico	No	Sì	Sì
Individuazione confine migliore mediante sistemi SCADA e ADMS	No	No	Sì
Tempo di contro-alimentazione porzione rete sana	<1s	<5s	<5s

L'automazione SFS presenta alte prestazioni in termini di esclusione del tronco guasto, in contrapposizione ad una infrastruttura di comunicazione costosa e di complessa implementazione, rigidamente connessa alla topologia della rete di distribuzione.

L'automazione DBR, mediante l'impiego della protezione di linea DV7203 e della generazione di UP2020Lite/2020 che supporta una comunicazione tra dispositivi con protocollo MQTT, riduce la velocità di esclusione del tronco guasto favorendo però i cambi di assetto della rete di distribuzione data la facile modalità di configurazione della comunicazione tra dispositivi.

Infine, l'automazione DSR presenta una sommatoria delle funzionalità delle due automazioni illustrate precedentemente, con una comunicazione mediante messaggi GOOSE tra i dispositivi di protezione e mediante protocollo MQTT tra la protezione di cabina primaria e le unità periferiche delle cabine secondarie. La DSR include inoltre la possibilità di impiegare i sistemi SCADA e gli algoritmi di stima dello stato della rete di distribuzione per individuare il confine migliore per la contro-alimentazione del tronco guasto, facendo sì che vengano quindi valutati anche i parametri di rete connessi alla qualità del servizio.

Queste modalità di esclusione dei guasti permettono dunque di isolare solamente i clienti effettivamente colpiti da un guasto, rialimentando invece i clienti inclusi nelle porzioni di rete sane, mediante l'integrazione tra dispositivi e sistemi di telecontrollo, garantendo la continuità del servizio a tutte le tipologie di clienti connessi alla rete di distribuzione e supportando il distributore in scelte strategiche di pianificazione di rete circa il tipo di tecnologia da impiegare nella sua infrastruttura.