



La qualità del servizio elettrico

26/10/2016 Ing. Lorenzo Marinelli Responsabile Conduzione e Monitoraggio Rete Puglia e Basilicata

- Qualità del servizio elettrico: riferimenti normativi
- Interruzioni di alimentazione, sovratensioni e buchi di tensione
- Interventi di mitigazione a carico distributore

Documentazione di riferimento

Standard, Delibere e Norme

e-distribuzione

Di seguito si indicano le normative di riferimento, nella quale si inserisce la deliberazione dell’Autorità per l’Energia Elettrica e il Gas e il Sistema Idrico (AEEGSI) n° 646 del 22 dicembre 2015 “Testo integrato della regolazione output - based dei servizi di distribuzione e misura dell’energia elettrica, per il periodo di regolazione 2016-2023”



- CEI EN 50160
- CEI EN 61000-4-11
- CEI EN 61000-4-30
- CEI EN 61000-4-34
- **ARG/elt 646/15**



Autorità per l'energia elettrica il gas
e il sistema idrico

La qualità della tensione

Definizione e Caratteristiche

Nella Norma CEI EN 50160, i parametri caratterizzanti la tensione, vengono distinti in due categorie

Fenomeni continui

1. Frequenza: valore medio in 10 s compreso fra 49,5 Hz e 50,5 Hz per il 99,5% di un anno e comunque compreso fra 47 Hz e 52 Hz
2. Variazioni della tensione: valore medio in 10 min compreso fra +/- 10% della tensione nominale nel 99% dei campioni annuali; +/- 15 % nel 100% dei campioni
3. Variazioni rapide della tensione: causate da variazioni di carico o manovre di rete
4. Severità del flicker: P_{ft} inferiore o uguale a 1 per il 95 % del tempo
5. Squilibrio della tensione: 95% dei valori mediati su 10 min della componente a sequenza inversa deve essere compreso entro il 2% della componente a sequenza diretta
6. Armoniche

Eventi di tensione

1. Interruzioni
2. Buchi di tensione
3. Sovratensioni

La qualità della tensione

Definizione e Caratteristiche

La deliberazione AEEGSI 646/2015 “Testo integrato della regolazione output-Based dei Servizi di Distribuzione e Misura dell’Energia Elettrica” classifica le:

1. **Interruzioni** (tensione ai terminali di fornitura è inferiore al 5% della tensione di riferimento su tutte le fasi) in funzione della loro durata in:
 - Transitorie: se di durata non superiore ad 1 s
 - Brevi: se di durata superiore ad 1 s e non superiore a 3 minuti
 - Lunghe: se di durata superiore a 3 minuti
2. Il **Buco di tensione** è la riduzione temporanea della tensione al di sotto del 90% della tensione dichiarata per un periodo superiore o uguale a 10 millisecondi e non superiore a 1 minuto, ove non sussistano le condizioni di interruzione (norma CEI EN 50160)
3. La **Sovratensione** è l’aumento temporaneo della tensione efficace al di sopra del 110% della tensione di riferimento per un tempo superiore o uguale a 10 millisecondi

La qualità della tensione

Parametri di misurazione interruzioni

e-distribuzione

Utenti BT

- Durata interruzioni lunghe (DIL): è la durata complessiva annua delle interruzioni senza preavviso lunghe per utente BT
- Numero interruzioni lunghe e brevi (NILB): è il numero complessivo annuo delle interruzioni senza preavviso lunghe e brevi per utente BT

Valori obiettivo: 28, 45, 68 utenze per durata; 1.2, 2.25, 4.30 interruzione/utente per il numero

Utenti MT

Numero di interruzioni lunghe più breve senza preavviso, escluse causa di forza maggiore, causate dal medesimo utente; il superamento di valori di soglia dà diritto all'erogazione di indennizzi automatici:

- a) ambiti territoriali ad alta concentrazione: 6 interruzioni senza preavviso lunghe più brevi all'anno;
- b) ambiti territoriali a media concentrazione: 9 interruzioni senza preavviso lunghe più brevi all'anno;
- c) ambiti territoriali a bassa concentrazione: 10 interruzioni senza preavviso lunghe più brevi all'anno.

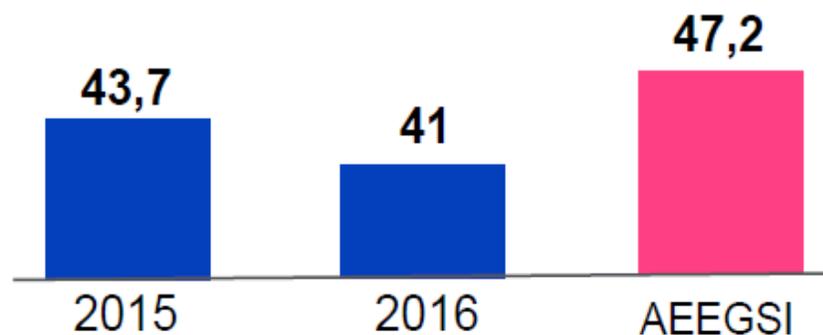
L'indennizzo viene erogato solo ai clienti adeguati

La qualità della tensione

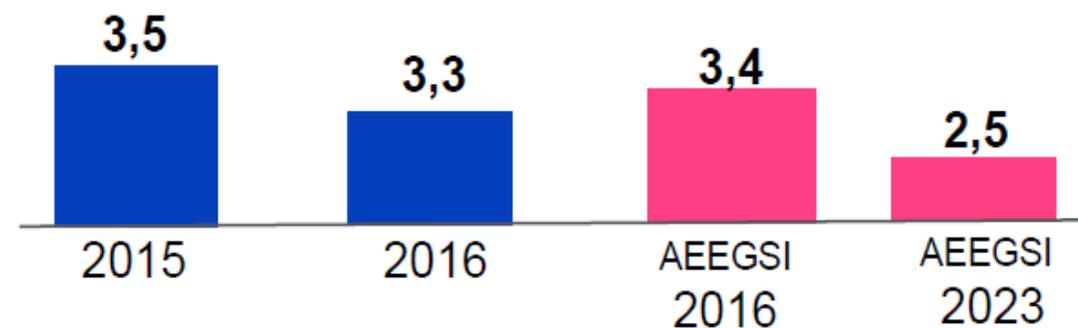
Durata e numero interruzioni medie per cliente BT e-distribuzione

e-distribuzione

Durata (minuti)



Numero



La qualità della tensione

e-distribuzione

Numero interruzioni medie per cliente MT e-distribuzione

Utenti MT: indici di continuità

	2016			2015			Variazione % 2016 vs 2015
	Clienti Attivi	Fuori Soglia	%	Clienti Attivi	Fuori Soglia	%	
Puglia e Basilicata	7.001	1.316	18,80%	6.964	1.818	26,11%	- 28,00%

Utenti MT: adeguatezza DG+SPG

	2016			2015			Variazione % 2016 vs 2015
	Clienti Attivi	Clienti non Adeguati	%	Clienti Attivi	Clienti non Adeguati	%	
Puglia e Basilicata	7.001	2.512	35,88%	6.964	2.562	36,79%	- 2,47%

La qualità della tensione

Sovratensioni e impianti di generazione

e-distribuzione

Il contesto: passaggio da rete "passiva" a rete "attiva"

	Rete BT						Rete MT					
	Prod. Puri		Clienti Prod.		TOTALE		Prod. Puri		Clienti Prod.		TOTALE	
	N. Imp.	MW	N. Imp.	MW	N. Imp.	MW	N. Imp.	MW	N. Imp.	MW	N. Imp.	MW
<u>Puglia e Basilicata</u>	4.666	138	44.627	413	49.293	550	2.074	2.140	957	511	3.031	2.651
Totale e-distribuzione	72.757	1.572	564.187	5.168	636.944	6.740	10.744	11.341	13.383	7.727	24.127	19.068

	Potenza per Fonte					
	Eolica	Fotov.	Idraul.	Termica	Altro	TOT
	MW	MW	MW	MW	MW	MW
<u>Puglia e Basilicata</u>	306	2.741	15	130	10	3.201
Totale e-distribuzione	910	17.459	2.544	4.764	130	25.807

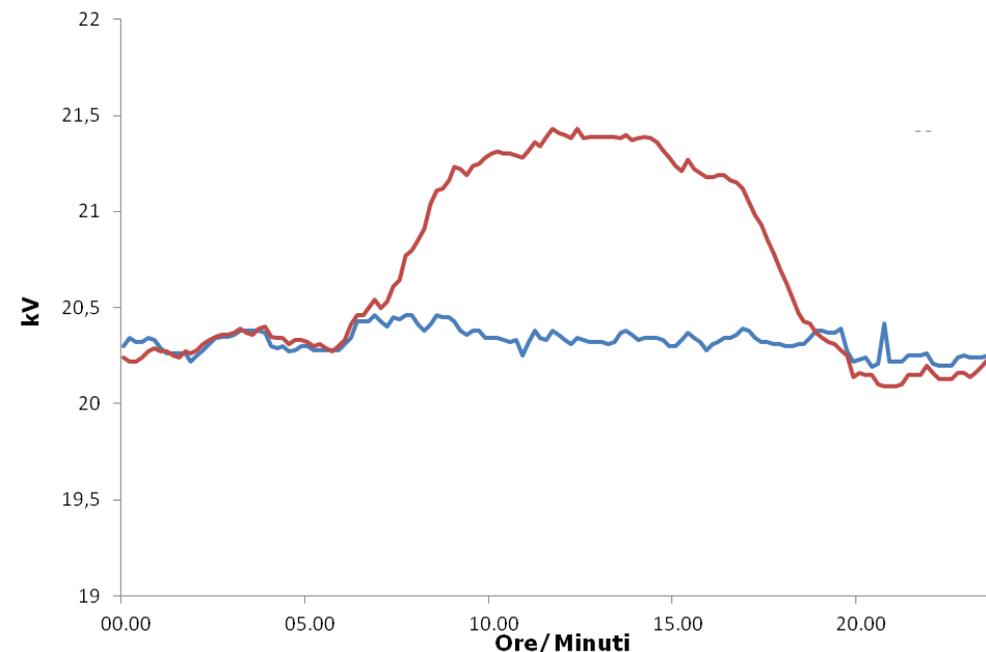
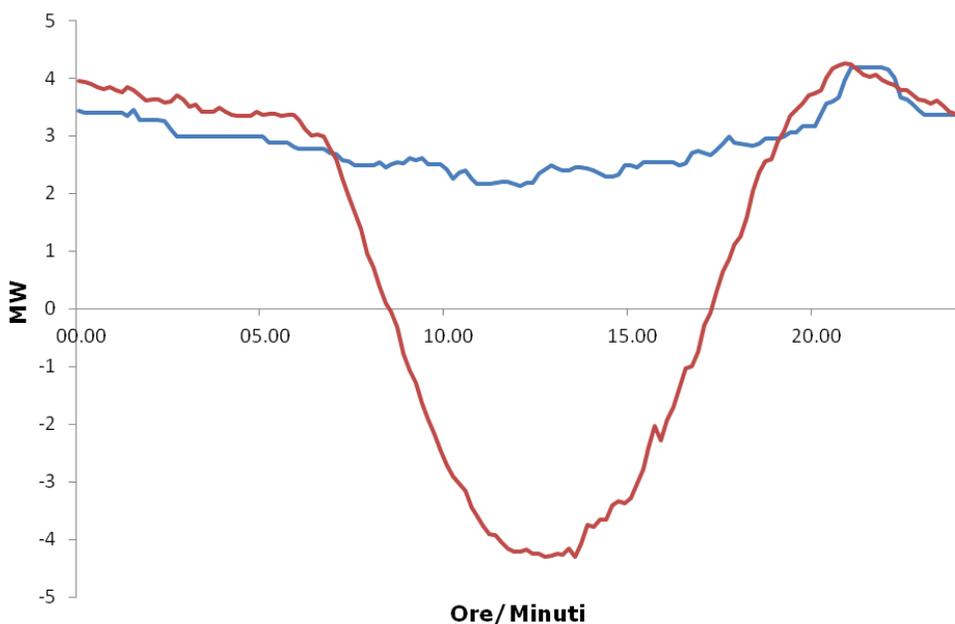
La qualità della tensione

Sovratensioni e impianti di generazione

Il contesto: passaggio da rete "passiva" a rete "attiva"

L'attivazione di impianti di produzione ha modificato drasticamente i profili di assorbimento per le linee rurali e il diagramma di carico dei trasformatori in CP causando spesso inversione del flusso di potenza.

La generazione diffusa rende inoltre problematica la regolazione di tensione in rete.



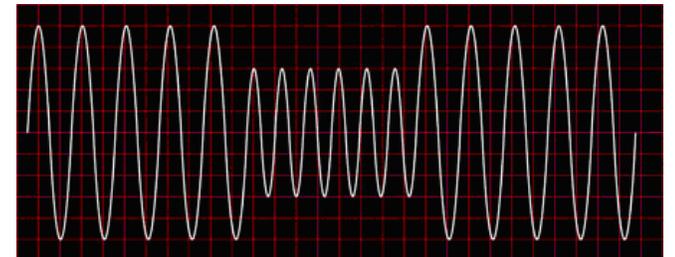
Buco di Tensione

Definizione e Caratteristiche

Buco di tensione → Abbassamento repentino della tensione di rete (tra il 90% e il 5% del valore nominale), seguito dal ripristino della tensione stessa (durata convenzionale compresa tra 10 ms e 60 s). Sono prodotti principalmente da:

- Guasti** (sia sulla linea di alimentazione del cliente che sulle linee limitrofe metallicamente connesse alla linea in esame), seguiti da manovre di richiusura automatica rapida o lenta
- Guasti** su impianti del cliente
- Guasti** sulla Rete Trasmissione Nazionale
- Correnti d'inserzione di trasformatori e condensatori**
- Forti correnti di spunto dei motori**

e-distribuzione



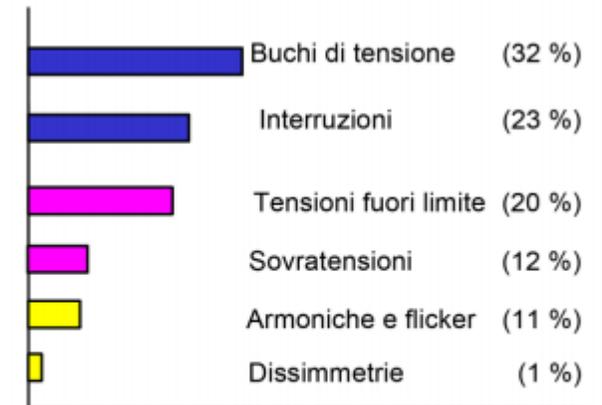
Buco di Tensione

Definizione e Caratteristiche

I buchi di tensione sono la causa più frequente di problemi connessi alla qualità della fornitura e possono comportare:

- Interventi intempestivi dei relè di minima tensione
- Irregolarità nel funzionamento dei carichi elettrici rotanti
- Malfunzionamenti di apparati elettronici digitali e di dispositivi elettronici di potenza
- Spegnimento di lampade a scarica con ritardo di riaccensione ecc.

e-distribuzione



Statistiche di lamentele utenti

Le conseguenze dei buchi di tensione sono molto variabili a seconda della tipologia e del livello di immunità delle singole apparecchiature connesse

Buco di Tensione

Classificazione

Gli standard EN 61000-4-11 e EN 61000-4-34 definiscono i metodi ed i livelli di prova per gli apparati e dispositivi connessi alla rete elettrica, rispettivamente in classe 2 e 3, in grado di superare alcune tipologie di buchi di tensione

Tensione residua u [%]	Durata t [ms]				
	$10 \leq t \leq 200$	$200 < t \leq 500$	$500 < t \leq 1000$	$1000 < t \leq 5000$	$5000 < t \leq 60000$
$90 > u \geq 80$	CELLAA1	CELLAA2	CELLAA3	CELLAA4	CELLAA5
$80 > u \geq 70$	CELLAB1	CELLAB2	CELLAB3	CELLAB4	CELLAB5
$70 > u \geq 40$	CELLAC1	CELLAC2	CELLAC3	CELLAC4	CELLAC5
$40 > u \geq 5$	CELLAD1	CELLAD2	CELLAD3	CELLAD4	CELLAD5
$5 > u$	CELLAX1	CELLAX2	CELLAX3	CELLAX4	CELLAX5

CLASSE 2 (immunità per i buchi delle celle A1, A2, B1, B2)

CLASSE 3 (immunità per i buchi delle celle A1, A2, A3, A4, B1, B2 e C1)

INTERRUZIONI DI ALIMENTAZIONE

Buchi di tensione

Adempimenti Regolatori a cura del distributore

e-distribuzione

Articolo 65 del 646/15

Monitoraggio e registrazione degli indicatori di qualità della tensione in reti MT

65.1 Per ogni apparecchiatura di misura della qualità della tensione **l'impresa distributrice registra i buchi di tensione** a decorrere dalla data di messa in servizio, secondo la seguente classificazione:

a) relativamente a ciascun buco di tensione registrato alla semisbarra MT di cabina primaria:

- i. numero progressivo dell'evento;
- ii. indicazione delle tensioni interessate dall'evento;
- iii. istante di inizio (data, ora, minuto, secondo e almeno centesimi di secondo);
- iv. durata del buco di tensione, espressa almeno con precisione di centesimi di secondo;
- v. tensione residua (in percentuale della tensione nominale);
- vi. **origine del buco di tensione.**

b) relativamente ad informazioni di sintesi minime relative ai buchi di tensione registrati sulle semisbarra MT di cabina primaria, separatamente per origine dei buchi di tensione:

- i. **tabella di sintesi dei buchi di tensione** registrati nel formato descritto dalla norma CEI EN 50160 con evidenza, anche cromatica, delle soglie di immunità classe 2 e classe 3 di cui alle norme CEI EN 61000-4-11 e CEI EN 61000-4-34;
- ii. numero totale di buchi di tensione più severi rispetto alla soglia di immunità **classe 2** suddetta;
- iii. numero totale di buchi di tensione più severi rispetto alla soglia di immunità **classe 3** suddetta.

Buchi di tensione

Pubblicazione dati sul portale e-distribuzione

Articolo 71

Comunicazioni agli utenti

71.1 Con la comunicazione di cui al comma 17.1 ogni impresa distributrice comunica le informazioni di cui al comma 65.1 ai propri utenti MT sottesi a semisbarre MT di cabina primaria in assetto standard della rete di distribuzione con riferimento all'anno precedente.

Le informazioni vengono pubblicate al portale di e-distribuzione, fanno riferimento all'assetto standard rilevato alla data del 31 dicembre.
<http://e-distribuzione.it/it-IT>

Tensione residua u [%]	Durata t [ms]				
	10 ≤ t ≤ 200	200 < t ≤ 500	500 < t ≤ 1000	1000 < t ≤ 5000	5000 < t ≤ 60000
90 > u ≥ 80	SOMMA A1	SOMMA A2	SOMMA A3	SOMMA A4	SOMMA A5
80 > u ≥ 70	SOMMA B1	SOMMA B2	SOMMA B3	SOMMA B4	SOMMA B5
70 > u ≥ 40	SOMMA C1	SOMMA C2	SOMMA C3	SOMMA C4	SOMMA C5
40 > u ≥ 5	SOMMA D1	SOMMA D2	SOMMA D3	SOMMA D4	SOMMA D5
5 > u	SOMMA X1	SOMMA X2	SOMMA X3	SOMMA X4	SOMMA X5

- il numero totale di buchi di tensione più severi rispetto alla soglia di immunità classe 2, pari a XXX
- il numero totale di buchi di tensione più severi rispetto alla soglia di immunità classe 3, pari a YYY

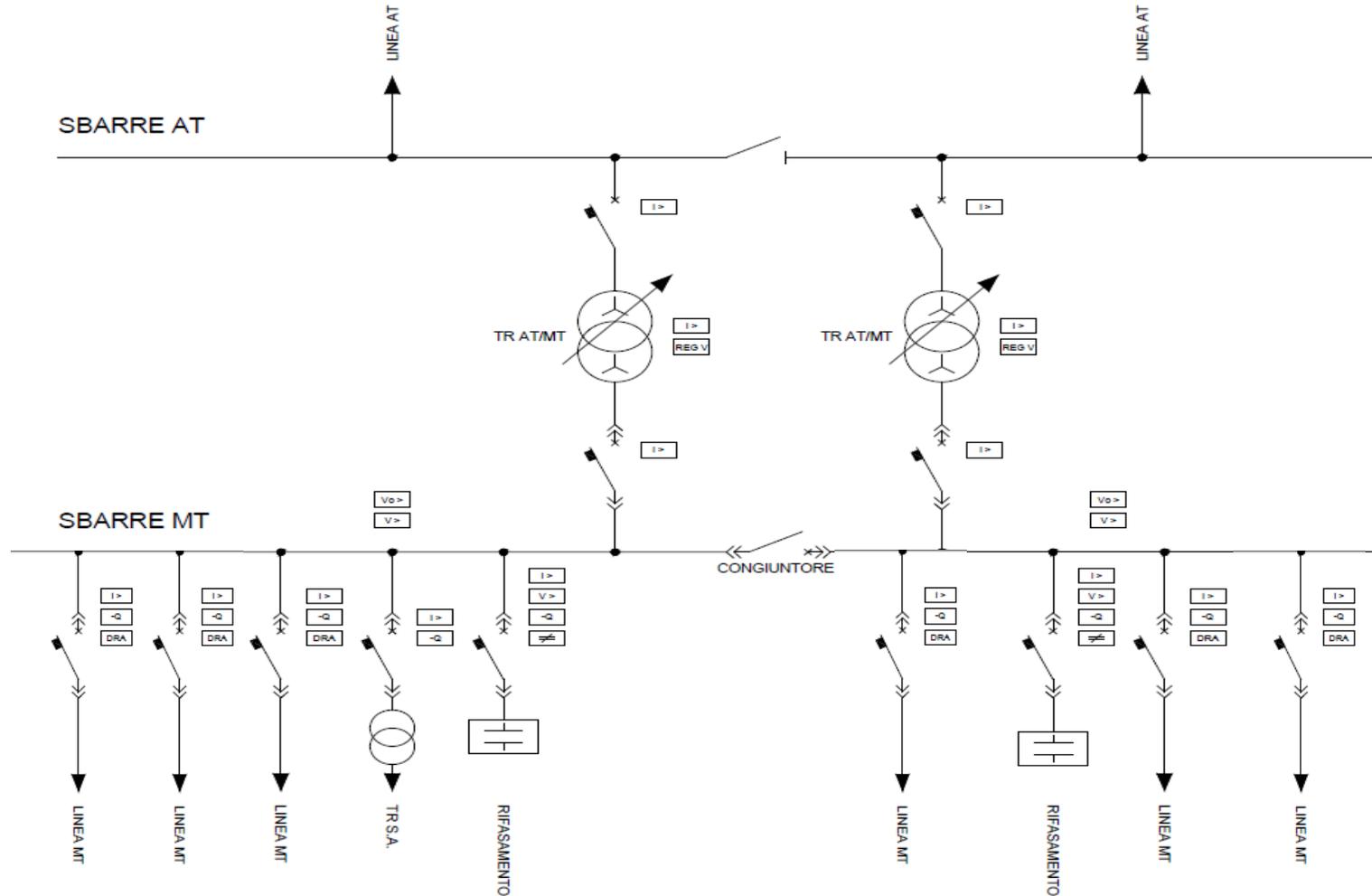
XXX = SOMMA (C1+D1+C2+D2+A3+B3+C3+D3+A4+B4+C4+D4+A5+B5+C5+D5+X1+X2+X3+X4+X5)

YYY = SOMMA (D1+C2+D2+ B3+C3+D3+ B4+C4+D4+A5+B5+C5+D5+X1+X2+X3+X4+X5)

Escludendo gli eventi della classe X che interessano le tre fasi, poiché tali eventi sono considerati interruzioni.

Buco di Tensione

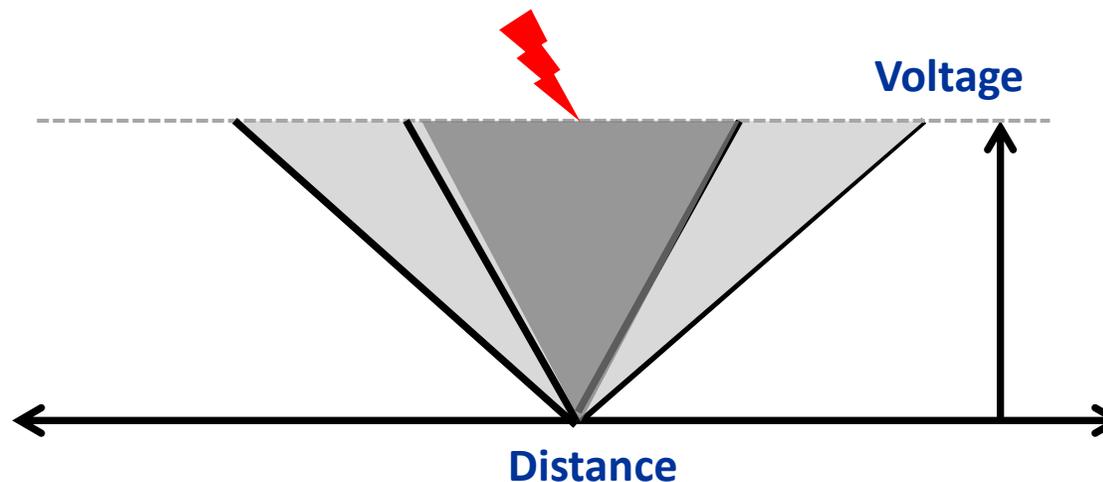
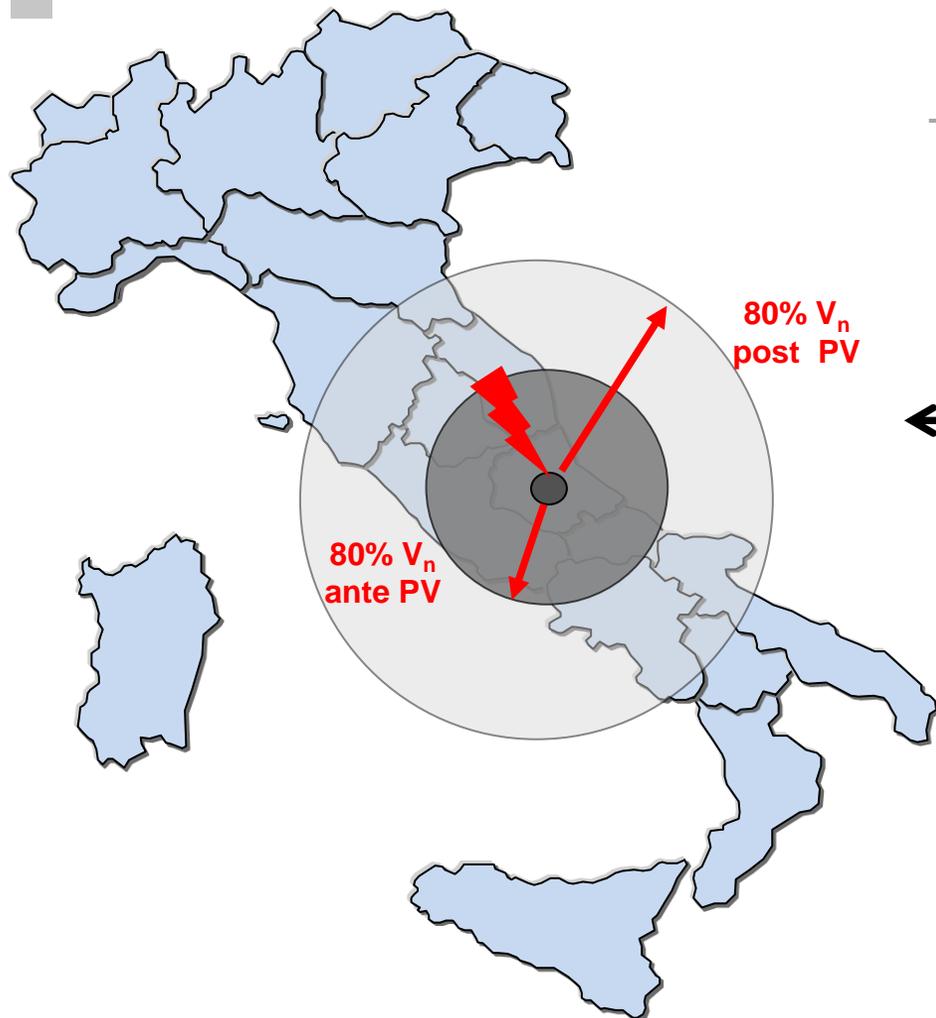
Schema CP – Origine del buco



Il Buco di tensione

Effetto della DER

e-distribuzione



La DER "inverter connected" alimenta un guasto di tipo cortocircuito, con una corrente pari alla corrente nominale (contro $5\div6 * I_n$ di un generatore rotante di tipo sincro).

Ne consegue che il c.d. VOLTAGE SUPPORT è drammaticamente ridotto e l'area interessata dal BdT estremamente ampliata.

Il buco di tensione

Effetto della DER

e-distribuzione

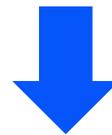
In assenza di adeguato livello di immunità ai BdT, la generazione si disconnetterebbe, andando ad ampliare ulteriormente l'area interessata dal BdT stesso.

Quindi, si genererebbe una reazione a catena originata dalla disconnessione della DER:

Minore VOLTAGE SUPPORT



Maggiore area interessata dal BdT



Disconnessione di ulteriore DER



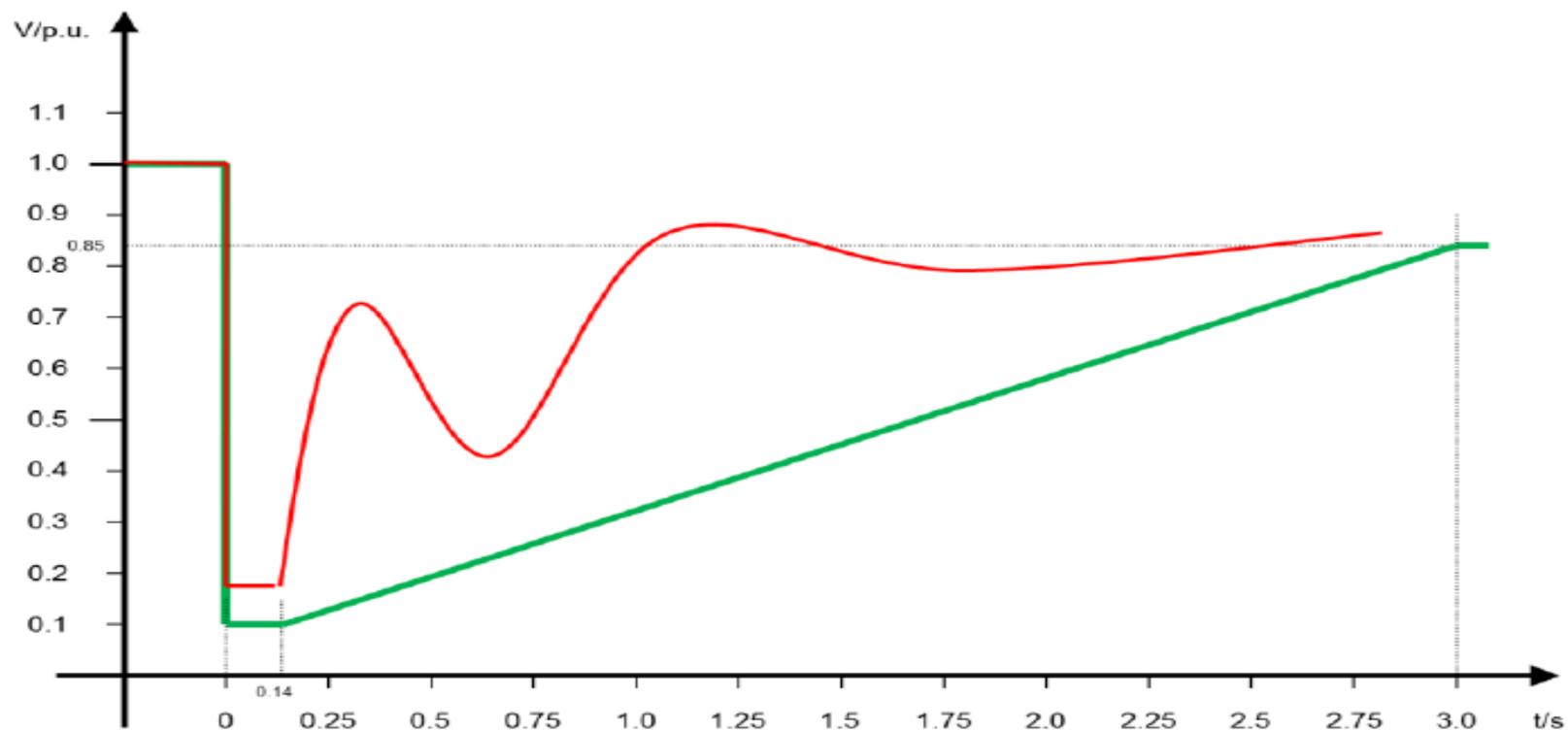
Ulteriore incremento dell'area interessata da BdT

L'immunità agli abbassamenti di tensione è definita LV(F)RT (Low Voltage Fault Ride Through capability).

Il Buco di tensione

Effetto della DER

e-distribuzione



Fonte: TERNA

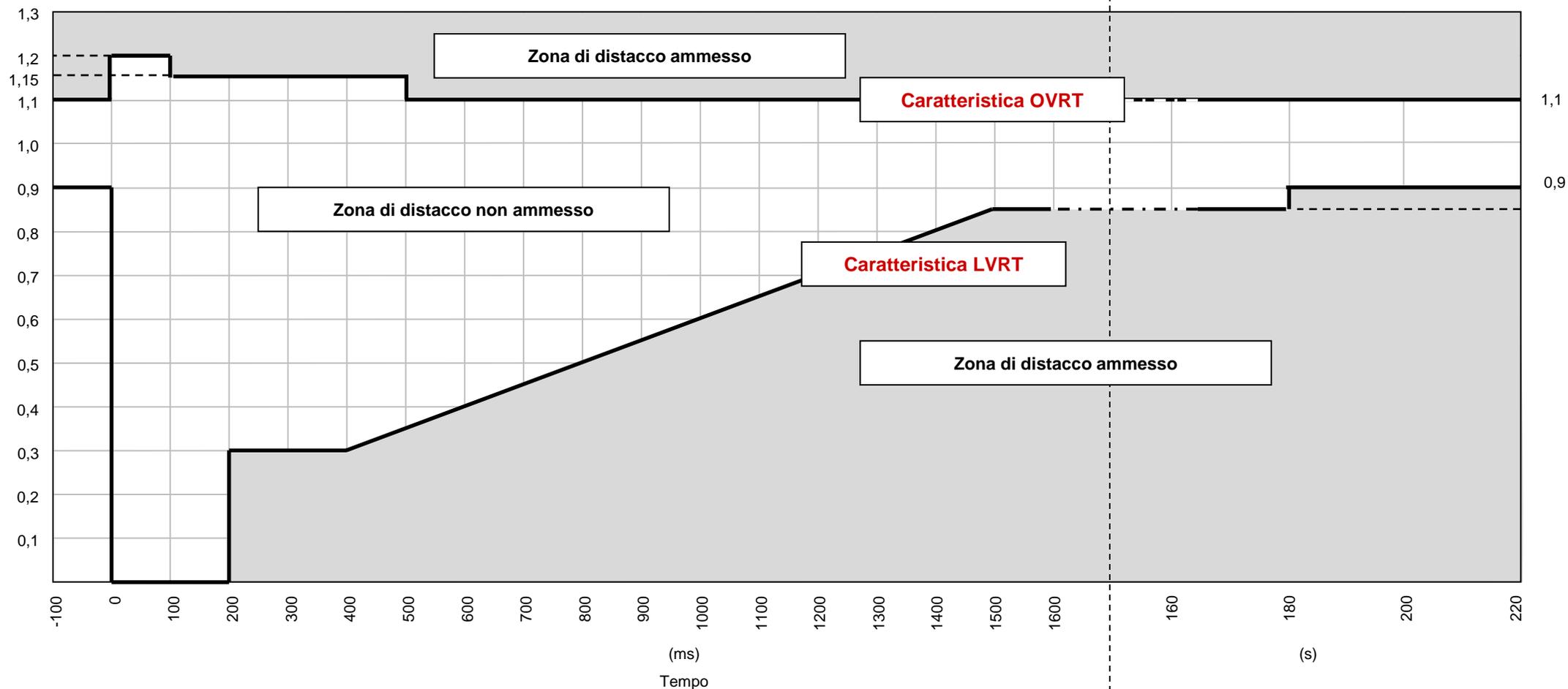
Curva rossa: ripristino tensione a seguito cto cto **Curva verde: Profilo tensione/tempo della curva LVRT**

Per la definizione della migliore forma della LVRT va tenuto conto dell'andamento della recovery voltage dopo il fault clearing.

La LVRT capability è mandatoria in A70 (TERNA) ed in CEI 0-16 e CEI 0-21

Il Buco di tensione

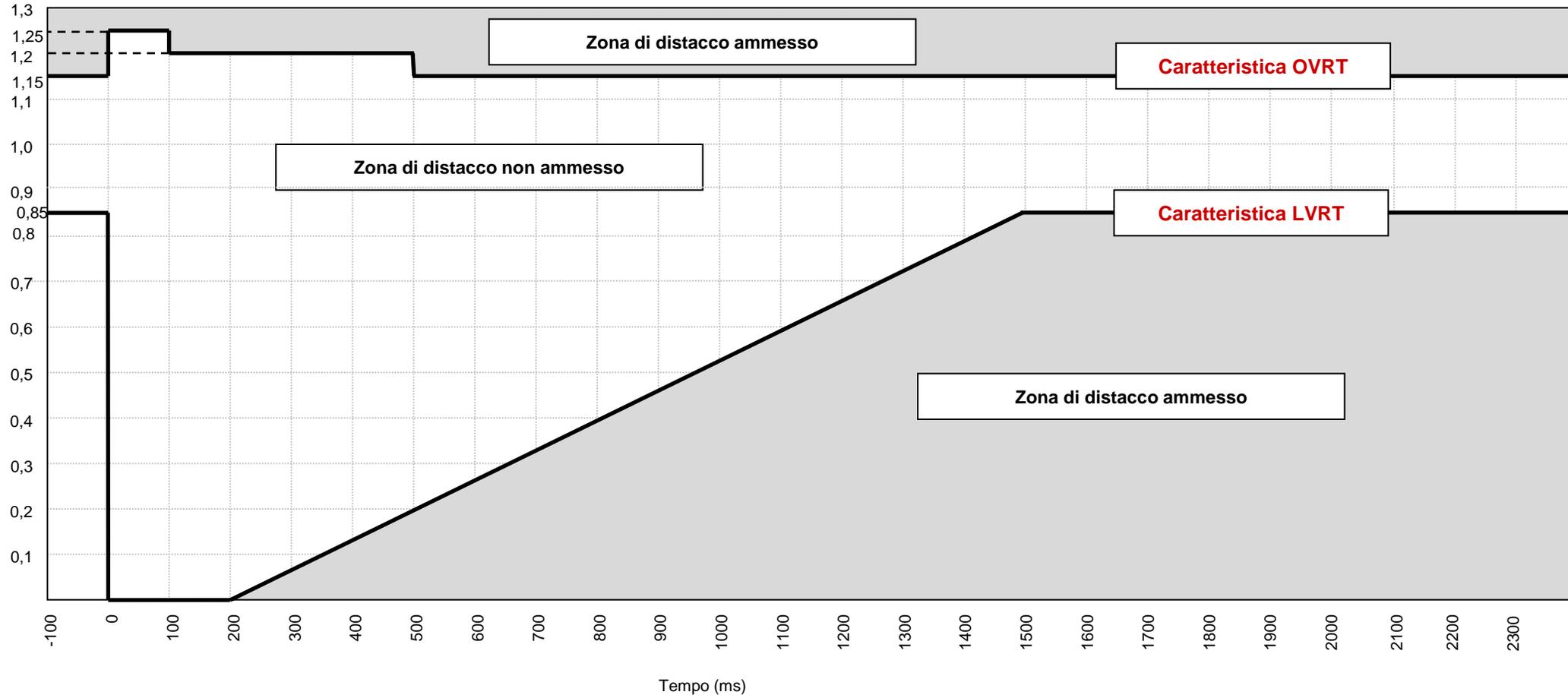
Effetto della DER



Esempio di H-LVRT Capability di una turbina eolica connessa in MT come stabilita dalla CEI 0-16

Il Buco di tensione

Effetto della DER

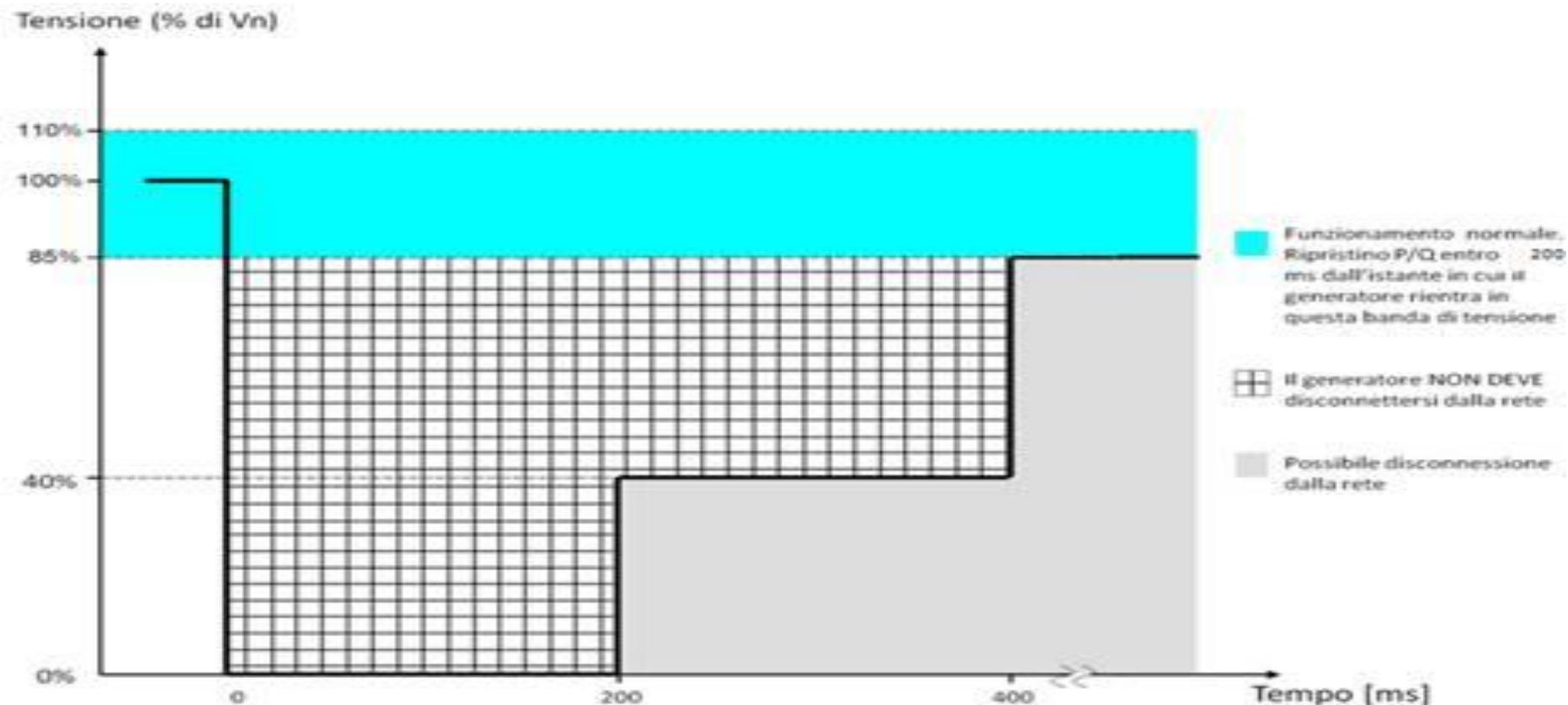


Esempio di H-L VRT Capability di un generatore PV connesso in MT come definito dalla CEI 0-16

Il Buco di tensione

Effetto della DER

e-distribuzione



Esempio di H-L VRT Capability di un generatore PV connesso in BT come definito dalla CEI 0-21

Riduzione **interruzioni** e **eventi di tensione** ad essa correlate

- Interventi **manutentivi** periodici per ridurre la probabilità di guasti alla rete
- Interventi di **telecomando e automazione** per ridurre il numero di clienti interrotti e tempo di interruzione
- Interventi di **potenziamento** della rete di distribuzione

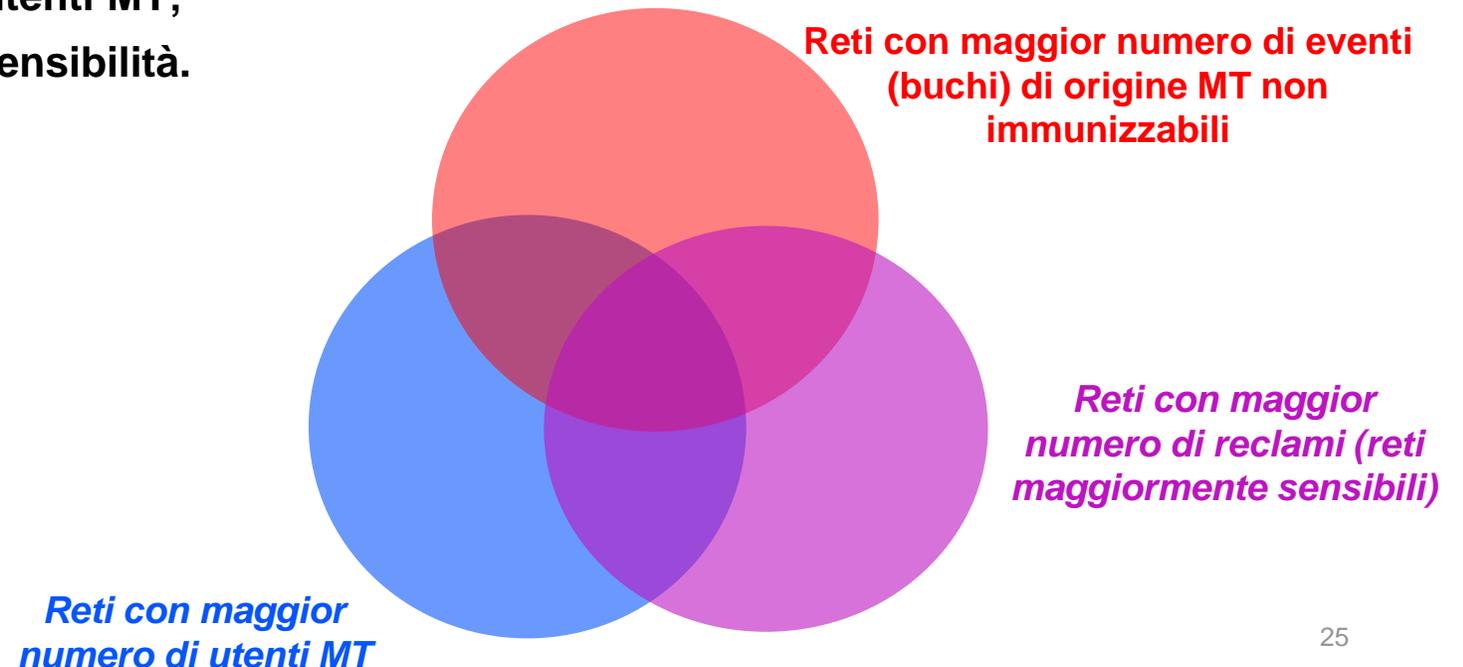
Attività di Analisi sbarre MT

Valutazione delle reti più critiche

e-distribuzione

Individuate le sbarre MT più critiche dal punto di vista della PQ su base progressiva mensile è possibile valutare:

- Reti con maggior numero di buchi di tensione non immunizzabili;**
- Correlare gli eventi di origine MT con eventuali tecniche di automazione implementate sulle direttrici che si attestano sulla sbarra monitorata;**
- Selezionare le reti con maggior numero di utenti MT;**
- Individuare le reti con utenza di maggiore sensibilità.**



Interventi di mitigazione del distributore

Automatica di rete

L'automazione della rete MT è finalizzata a minimizzare il disservizio determinato ai clienti su linea MT affetta da guasto.

Le tecniche di selezione esistenti sono la

- FRG (Funzione a Rilevatori di Guasto)
- FNC (Funzione a Neutro Compensato)
- SFS (Smart Fault Selection)

Le tecniche sono legate a precise scelte di esercizio e, nel caso della FNC, è necessario che il neutro sia stato “compensato”; l'uso di tale tecnica in ogni caso è limitata ai soli guasti monofase.

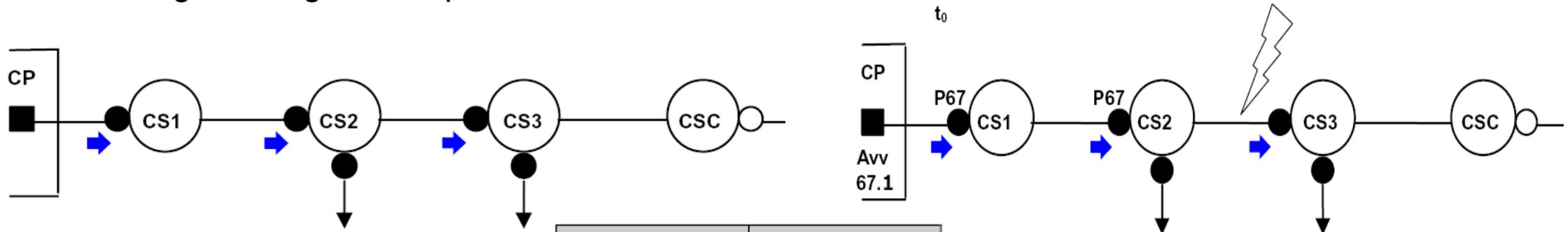
La tecnica SFS costituisce la tecnica più innovativa di automazione correlata alla presenza di un vettore di comunicazione idoneo (fibra ottica, LTE, WiMax).

Interventi di mitigazione del distributore

Automatica di rete: FNC

Tecnica utilizzata solo per guasto a terra con rete a neutro compensato; selettività di tipo cronometrico

1. Apertura degli IMS i cui RGDAT rilevino la presenza del guasto a valle per un tempo prestabilito: **tale tempo di ritardo è programmato in base alla posizione della cabina secondaria sulla linea**, in modo che, tra gli IMS i cui RGDAT vedono il guasto, si apra solo quello più distante dalla CP.
2. L'interruttore di CP, se il guasto non è sul primo tronco, **rimane chiuso** per l'intera durata di selezione e quindi tutta la porzione di linea a monte del tronco guasto **non risente di alcuna interruzione**. Se invece il guasto riguarda il primo tronco, l'interruttore di CP eseguirà il ciclo di richiusura completo fino



Cabina	T1/67S1
CP	20"
CS1	14"
CS2	8"
CS3	2"

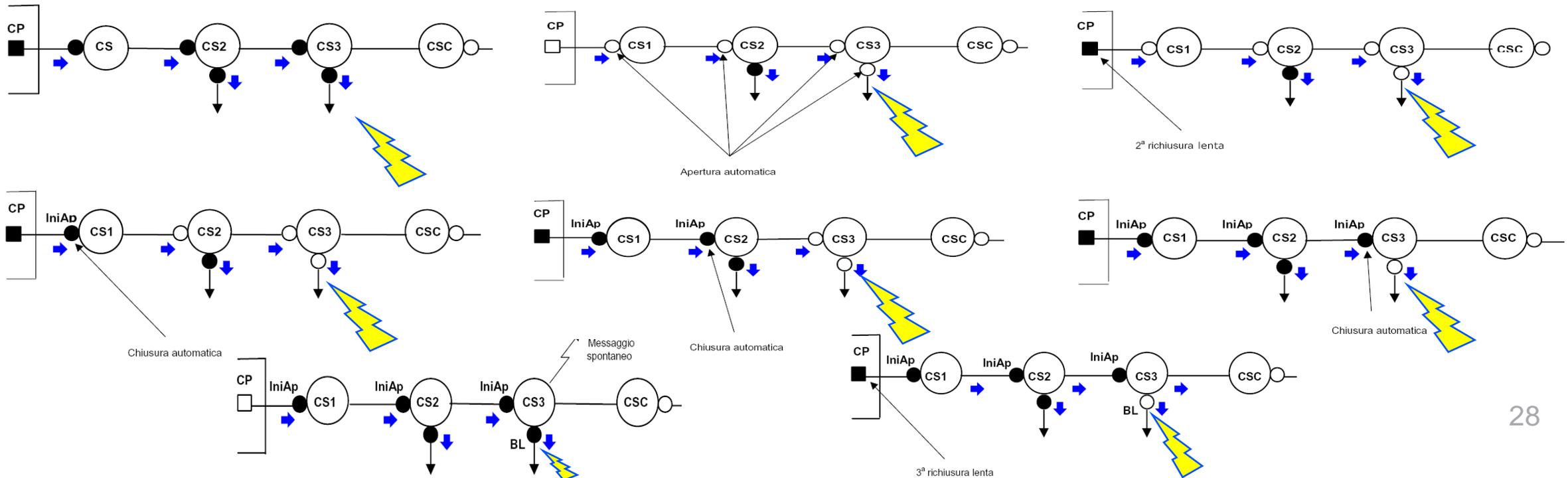
Interventi di mitigazione del distributore

Automatica di rete: FRG

e-distribuzione

Tecnica utilizzata per cto cto e per guasto a terra con rete a neutro isolato

1. Apertura degli IMS di Cabina Secondaria i cui RGDAT abbiano rilevato un guasto polifase o monofase.
2. Chiusura degli IMS precedentemente aperti, quando in Cabina Secondaria si ripresenta la tensione.
3. Riapertura e posizionamento nello stato di "Blocco" dell'IMS qualora questo, chiudendosi, produca lo scatto della linea.



Interventi di mitigazione del distributore

e-distribuzione

Uso di ICS (interruttori di cabina secondaria)

Per poter ridurre il numero dei clienti disalimentati a seguito di **guasto** su rete MT sono stati negli ultimi anni installati **interruttori di cabina secondaria** (ICS).

Un interruttore DY800 può essere installato in una Cabina Secondaria ed essere utilizzato con le funzioni proprie di un Interruttore MT di linea (con richiusura).

Poiché il DY800 non è dotato di una protezione propria, la rilevazione del guasto viene effettuata, come per gli IMS, grazie al rilevatore di guasto **RGDAT** o dai nuovi **RGDM**.

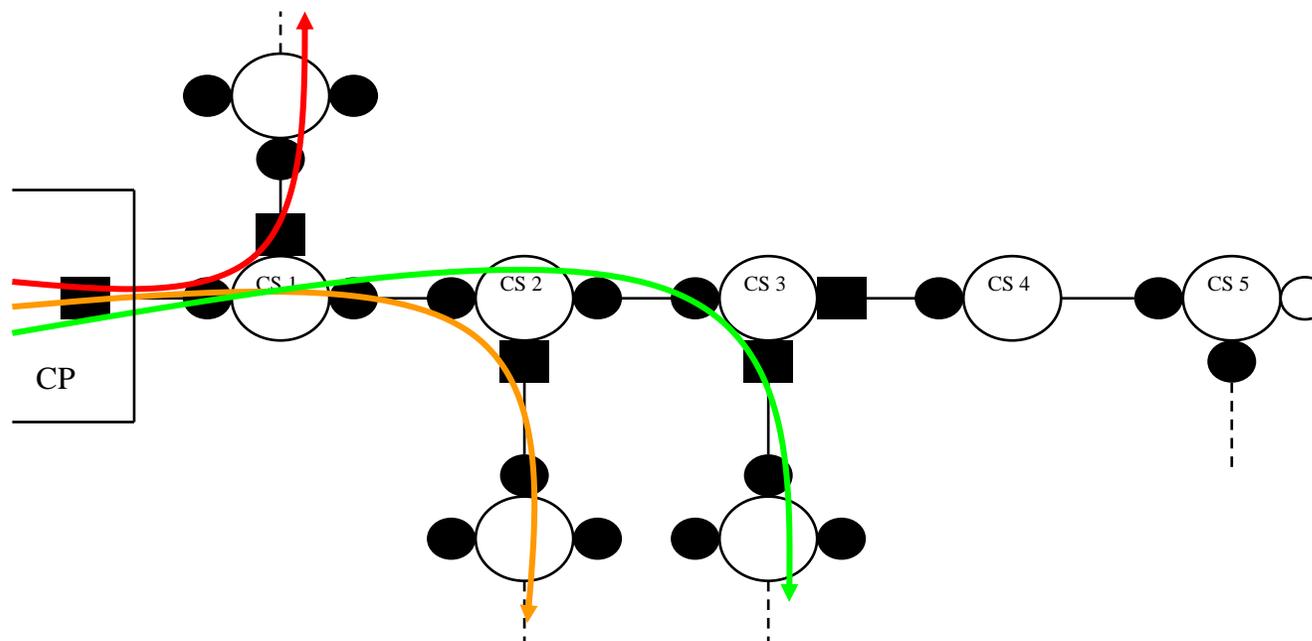
Il tempo massimo di apertura dell'ICS è paragonabile a quello di un interruttore di Cabina primaria (<70ms) e realizza un ciclo di richiusura in tutto e per tutto equivalente a quello di un Interruttore MT di Cabina Primaria.

Interventi di mitigazione del distributore

Uso di ICS (interruttori di cabina secondaria)

In una direttrice MT può essere utilizzato **un solo ICS con richiusura in serie topologica rispetto all'Interruttore MT**, altrimenti non sarebbe possibile assicurare la necessaria selettività con l'interruttore di cabina primaria nel caso di guasti di massima corrente.

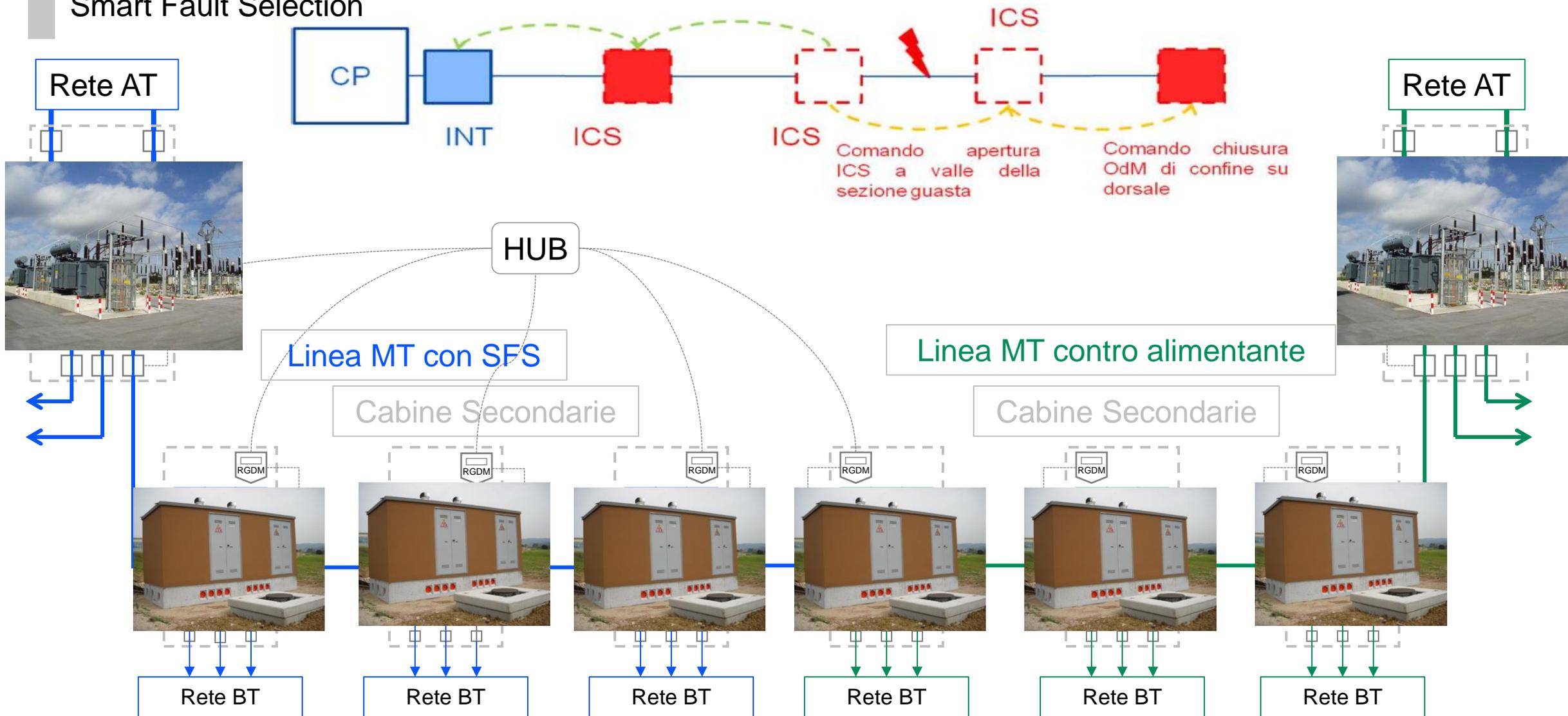
La selettività, infatti, viene di norma realizzata cronometricamente (ovvero impostando tempi diversi di ritardo all'apertura su guasto) in quanto l'RGDAT (utilizzato dal DY800 per la rilevazione del guasto) ha una soglia di corrente fissa (500 A).



Interventi di mitigazione del distributore

Smart Fault Selection

e-distribuzione



Interventi di mitigazione del distributore

TR AT/MT a doppio secondario

e-distribuzione

Obiettivo:

Miglioramento della qualità del servizio e riduzione delle correnti di guasto monofase a terra

Soluzione:

Trasformatore AT/MT con due avvolgimenti secondari di pari potenza e tensione, sostanzialmente indipendenti tra loro

Applicazione:

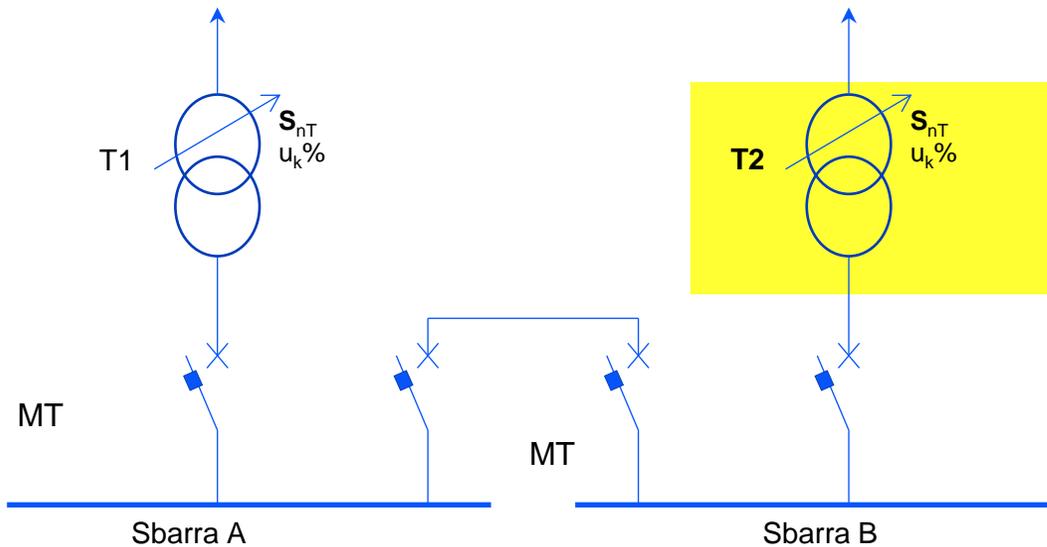
Installazione in Cabine Primarie dove la realizzazione del terzo stallo AT risulta particolarmente difficoltosa per la limitata disponibilità di spazio o per i tempi di attesa necessari per le autorizzazioni



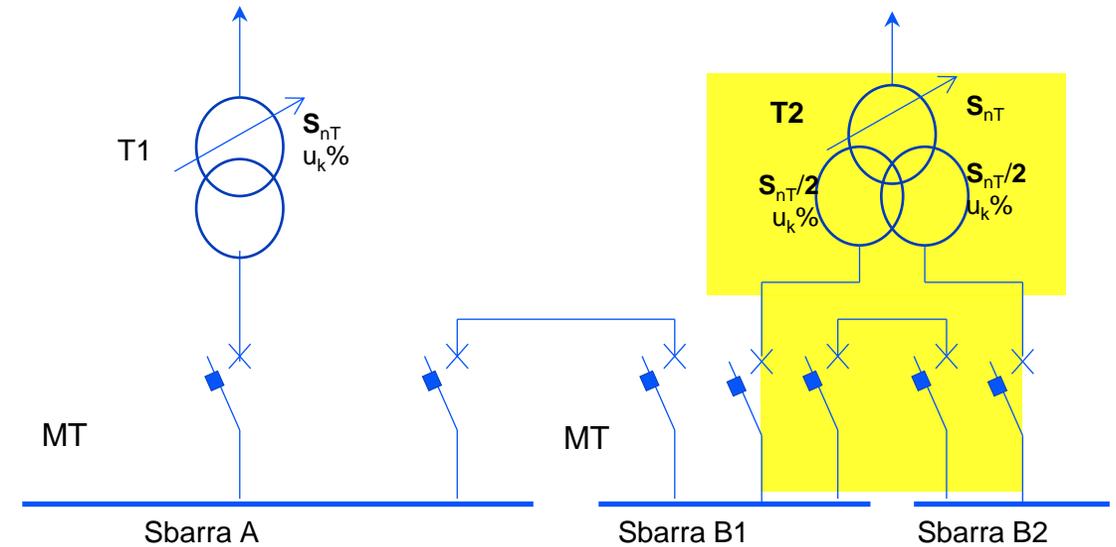
Interventi di mitigazione del distributore

TR AT/MT a doppio secondario

Cabina primaria con due trasformatori a due avvolgimenti



Possibile soluzione con trasformatore a 3 avvolgimenti –
Sostituzione del secondo trasformatore e suddivisione della sbarra corrispondente



Interventi di mitigazione del distributore

TR AT/MT a doppio secondario

e-distribuzione

- I benefici attesi da questa soluzione sono stati validati da simulazioni effettuate mediante il Real Time Digital Simulator (RTDS) installato presso l'Enel Smart Grid Lab di Milano
- Esempio: risultati per trasformatore 40 / 20 / 20 MVA, 150 / 20,8 / 20,8 kV



Profondità buco %Vn	-15	-20	-30	-70	-100
V MT1 [p.u.]	0.85	0.80	0.70	0.30	0.00
DeltaV (pre-buco - post-buco) [p.u.] MT1	0.15	0.20	0.30	0.70	1.00
V MT2 [p.u.]	0.97	0.96	0.95	0.91	0.90
DeltaV (pre-buco - post-buco) [p.u.] MT2	0.03	0.04	0.05	0.09	0.10

Interventi di mitigazione del distributore

Nuove infrastrutture di rete

e-distribuzione

1. Realizzazione nuova sbarra di trasformazione AT/MT in CP esistenti (10 interventi nel biennio 2016/2017)
 - Riduzione della corrente di guasto monofase a terra sulla rete
 - Riduzione del numero di clienti interessati da buchi di tensione
2. Atterramento del neutro in CP esistenti (9 interventi nel biennio 2016/2017) e potenziamento sistema di atterramento già presente (6 impianti primari nel biennio 2016/2017)
 - Autoestinzione dei guasti monofase non permanenti senza scatto della linea MT
3. Realizzazione nuove cabine primarie (6 ultimate, 2 in realizzazione e 2 in progettazione)
 - Riduzione del numero di clienti interessati da buchi di tensione
 - Incremento della riserva di potenza in rete
4. Regolazione evoluta della tensione in cabina primaria mediante rilevazione costante delle grandezze elettriche lungo linea

Grazie

lorenzo.marinelli2@e-distribuzione.com

