

Università degli Studi di Padova – Dipartimento di Ingegneria Industriale
Corso di Laurea in Ingegneria dell'Energia

LA RESILIENZA NEI SISTEMI ENERGETICI MODERNI: CONCETTI FONDAMENTI E METODI DI VALUTAZIONE

Tutor universitario:

Prof. Sebastian Dambone Sessa

Laureanda: Alice Carampin

Matricola: 2006209

Padova, 13/11/2024



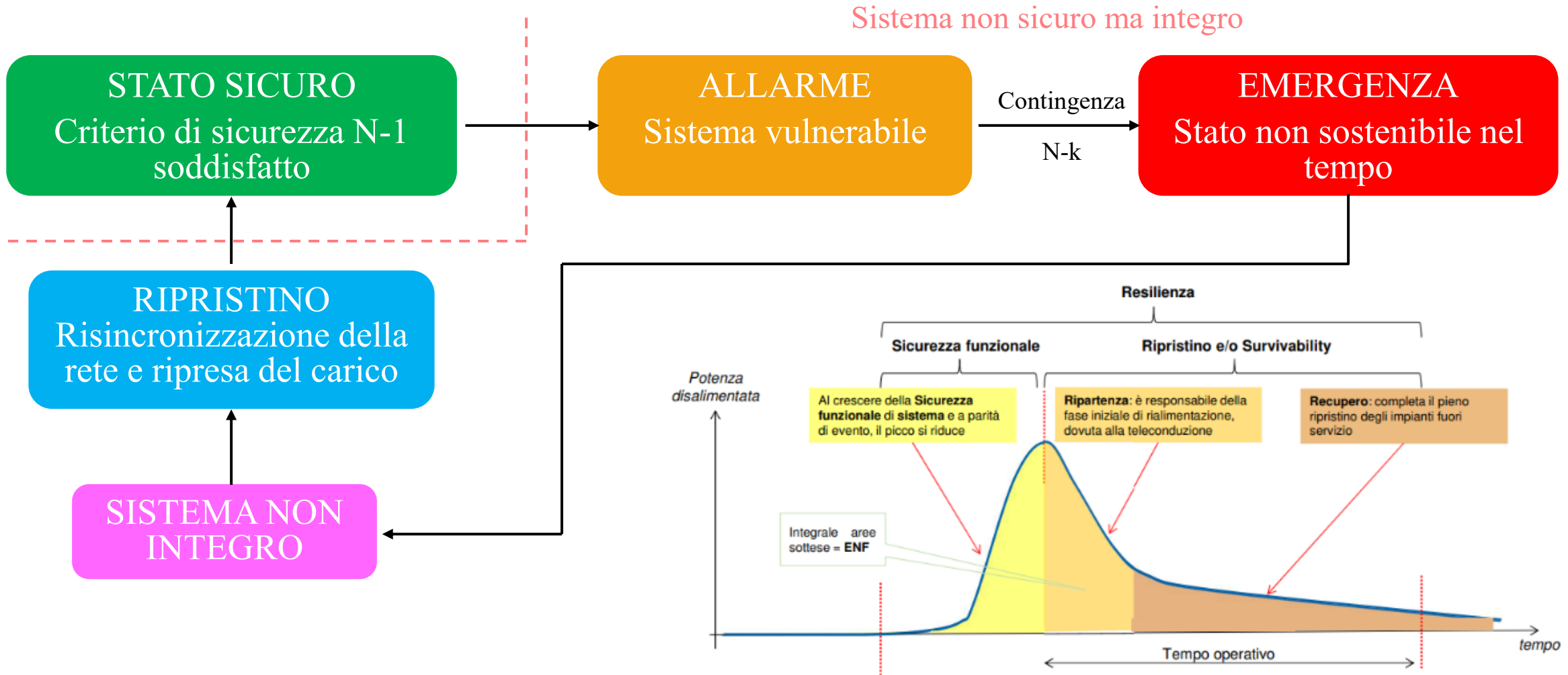
Sistema elettrico:

- Rete interconnessa per il trasferimento di energia su lunghe distanze.
- Sistema e struttura affidabile per gli eventi ad alta frequenza e basso impatto.

La *resilienza* nei sistemi energetici nasce da esigenze attuali a seguito di danni causati da eventi ad alto impatto e bassa probabilità che compromettono il normale funzionamento del sistema energetico.



Immagine satellitare dell'Italia durante il blackout del 23 Settembre 2003



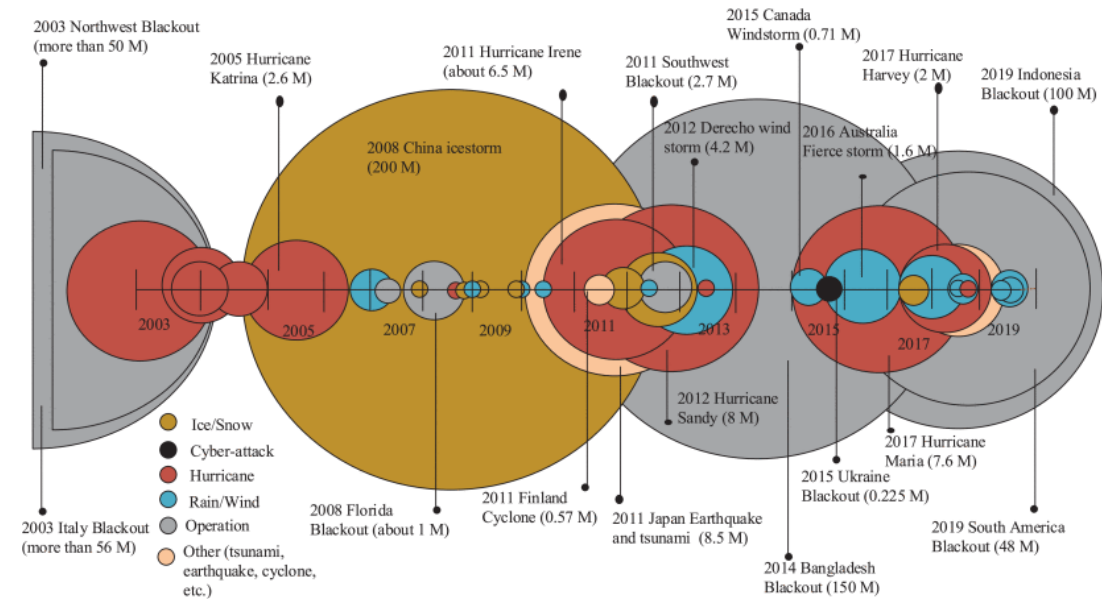
Fasi di evoluzione di una rete con disalimentazione [1]

Fattori che generano eventi severi influenzando il funzionamento del sistema:

- Fattori elettrici
- Fattori naturali
- Fattori umani
- Fattori tecnologici



Guasto linea 380 kV causato da una tromba d'aria, Trezzo d'Adda 2017



Principali eventi estremi mondiali, ad alto impatto, dal 2003 al 2019 che hanno causato blackout [2]

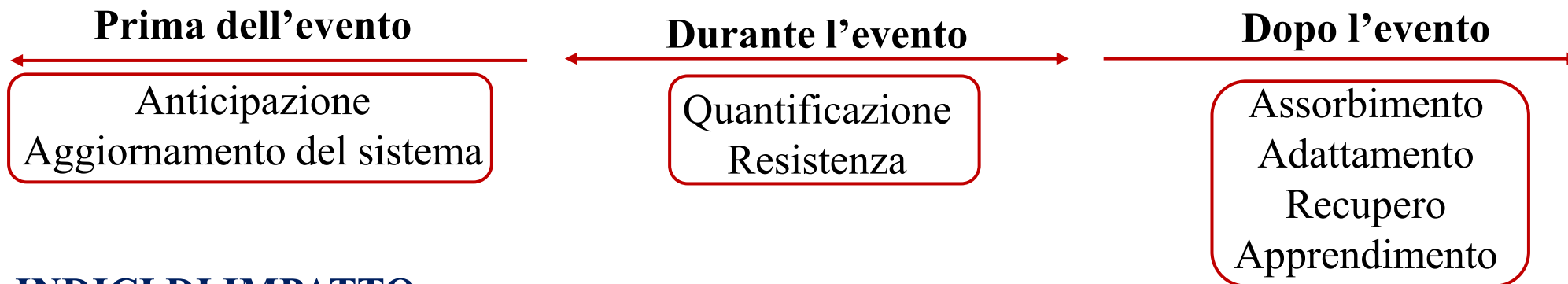
Impatti causati da disastri ambientali:

- Analisi analitica della probabilità di avvenimento
- Analisi di guasto e danno



**Fase di
anticipazione**

Fasi e caratteristiche di un sistema resiliente:

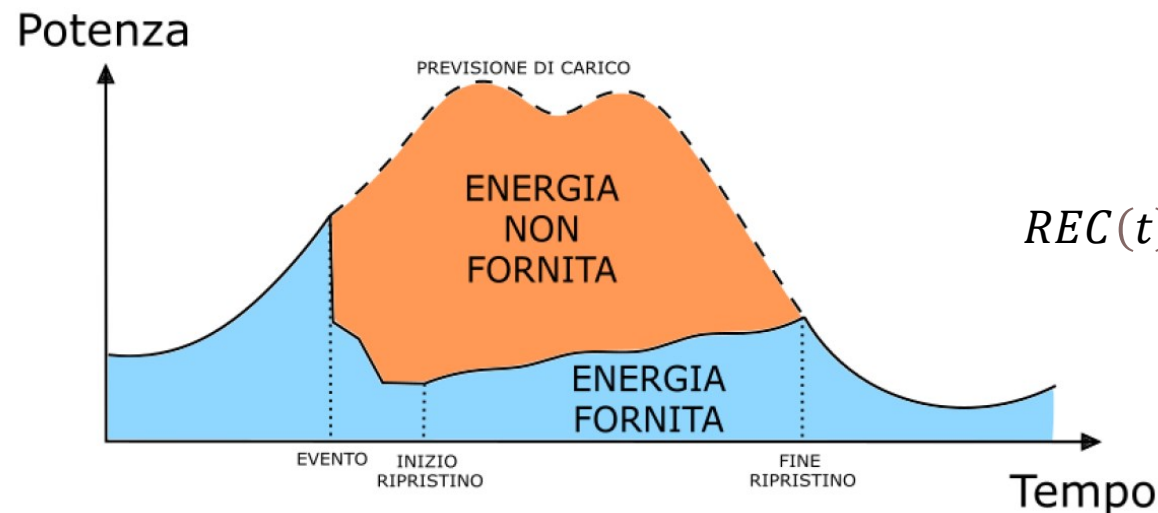


INDICI DI IMPATTO

$$SAIFI = \frac{\sum_i \lambda_i N_i}{N_t}$$

$$SAIDI = \frac{\sum_i U_i N_i}{N_T}$$

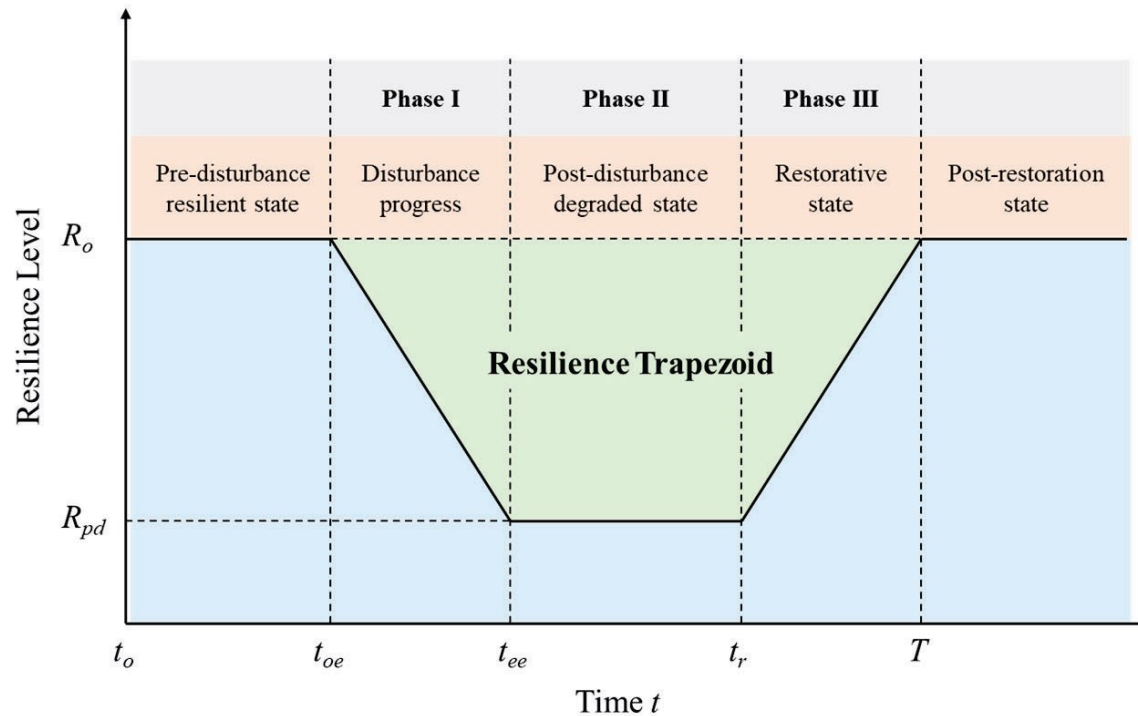
$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI}$$



$$REC(t) = \frac{\Delta_{\text{carico rialimentato}}}{\text{Carico perso massimo}}$$

Diagramma di carico e valutazione dell'energia non fornita a seguito di una contingenza [3]

Scomposizione della curva di valutazione della resilienza in vari processi illustrando il comportamento resiliente di un sistema durante un evento critico.



Trapezio di resilienza per la resilienza del sistema energetico associato ad un evento [4]

Pre interruzione ed anticipazione

Stato normale di funzionamento.
Pianificazione di strategie di risposta e resistenza agli eventi

Post interruzione

Fasi di resistenza, assorbimento e recupero

Post recupero

Ripristino delle prestazioni del sistema resiliente

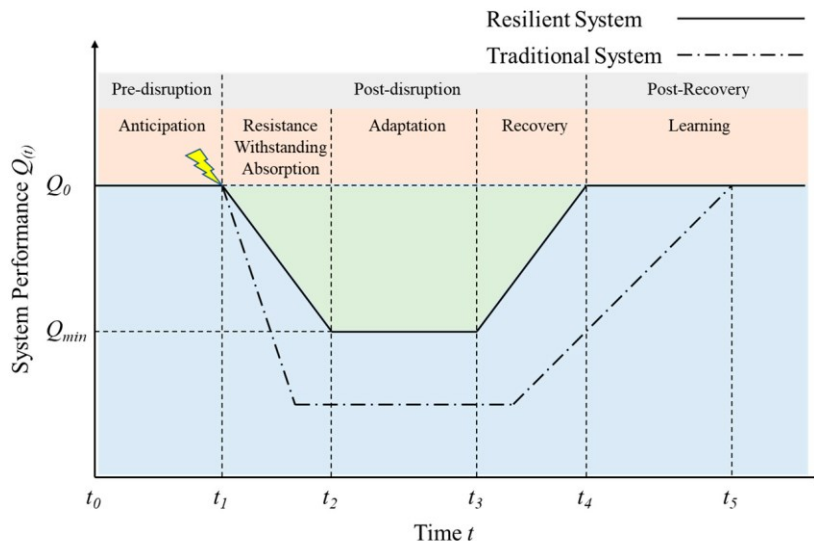
VALUTAZIONE PRE EVENTO

Indice di resilienza:

$$I_{Re_{event}} = \frac{1}{I_{RD_{event}}} = \frac{1}{D_{event} \cdot P_{event}}$$

Numero di priorità del rischio:

$$RPN = [P \times S \times D]_{M \times N}$$



Curva di valutazione della resilienza con caratteristiche associate

VALUTAZIONE POST EVENTO

Perdita di carico:

$$Perdita = \int_{T_1}^{T_4} \left[\frac{Q_0 - Q(t)}{Q(t)} \right] dt$$

Coefficiente di resilienza:

$$\gamma = \left| \frac{t_2 - t_1}{t_4 - t_2} \right|$$

Resilienza:

$$R' = \frac{\gamma}{Perdite}$$

Tempo di ripristino dell'infrastruttura:

$$T_{RES} = T_{RES,MAX} + \frac{T_{RES,MIN} - T_{RES,MAX}}{N_{linee} - 1} \times (N_{sq} - 1)$$

CENTRALI ELETTRICHE

Non Black Start (NBS)

Black Start (BS)

Generic Restore Milestones: strategia di ripristino in base alla combinazioni tra caratteristiche del sistema, fondi di energia e vincoli.

- Modulo Black Start – Non black Start building block (GRM 1)
- Stabilire la rete di trasmissione (GRM 2)
- Modulo isola elettrica (GRM 3)
- Sincronizzazione delle isole elettriche (GRM 4)
- Serve il carico nell'area (GRM 5)
- Connessione con i sistemi vicini (GRM 6)

TRE FASI PRINCIPALI DI RIPRISTINO:

1. Avvio dei generatori e ripristino del sistema di alimentazione.
2. Energizzazione delle linee di trasmissione e dello scheletro della rete.
3. Ripristino del carico.

PIANIFICAZIONE E PREPARAZIONE

Misure di prevenzione
Sistema di monitoraggio
Piano di emergenza
Addestramento del personale

AGGIORNAMENTO DELLE INFRASTRUTTURE

Sostituzione attrezzature
obsolete
Potenziamento linee di
trasmissione
Materiali più resistenti
Costruzioni idonee alle aree
considerate

RISORSE ENERGETICHE DISTRIBUITE

Gruppo elettrogeni
Generatori distribuiti
Microturbine
Celle a combustibile
Sistemi di stoccaggio



Utilizzo dei droni con sensori di campo elettrico per il monitoraggio di tralicci e isolatori



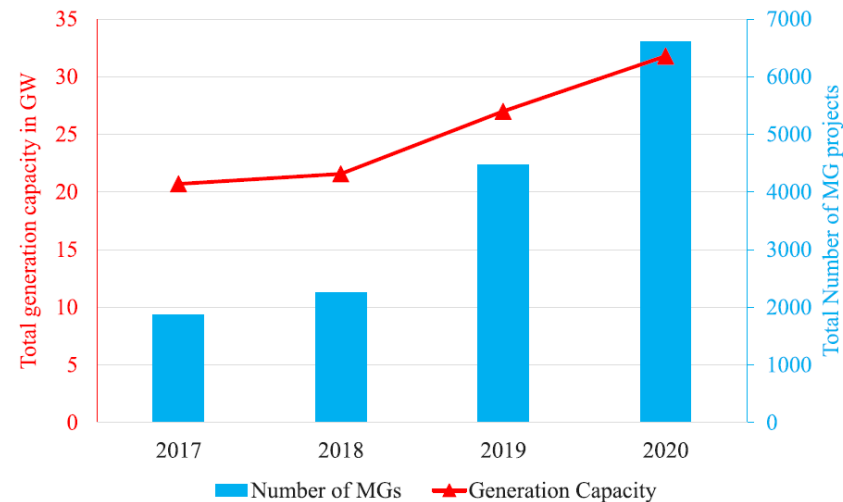
Sottostazione elevata progettata per ridurre il danno provocato da inondazione

MICRORETI

→ Uso di gruppi isolati ad autonomi di fonti di energia elettrica che possono essere connessi e disconnessi alla rete principale.

TECNOLOGIE AVANZATE DI RETE INTELLIGENTE

→ Automazione della distribuzione
Monitoraggio da remoto
Sezionatori telecomandati
Contatori intelligenti



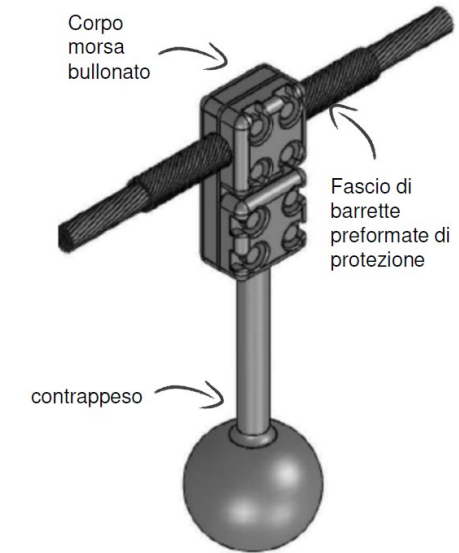
Aumento a livello globale dell'implementazione delle microreti [5]

DISPOSITIVI ANTIRATAZIONALI

Aumentano la rigidità torsionale del conduttore per evitare la formazione del manicotto di neve bagnata.



Manicotti di ghiaccio sui conduttori durante il blackout di Cortina nel 2013

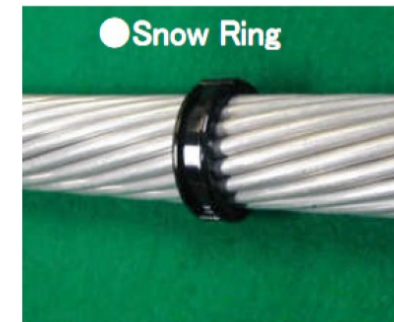
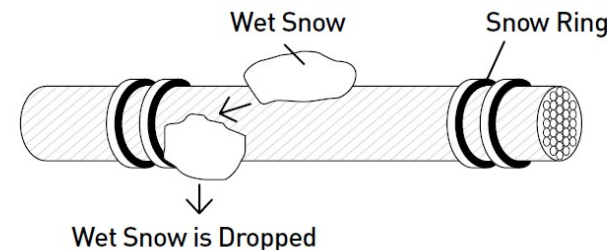


CORRENTE ANTI-ICING

Circolazione di corrente in grado di produrre un effetto Joule mantenendo la temperatura superficiale di 1-2 °C.

SNOW RING

Anelli di plastica avvolti al cavo che evitano l'ammassamento di neve e la conseguente formazione del manicotto.



RIVESTIMENTO CAVI

Uso di vernici e dispositivi ferromagnetici applicati ai conduttori per mantenere la temperatura superficiale del conduttore oltre un certo livello.

FASCIA DI ASSERVIMENTO

Mantenimento di una fascia di distanza minima per evitare caduta di alberi e detriti sulle linee aeree.



*Conduttura elettrica con
fascia di asservimento*



Nuovi approcci alla gestione del sistema di distribuzione di energia



Modellistica di un piano probabilistico, di monitoraggio e di preparazione



Mancanza di standard universali



Continua ricerca ed approfondimento

GRAZIE PER L'ATTENZIONE