



**Proposta metodologica per la definizione
dell'indicatore di resilienza per la Rete di
Trasmissione Nazionale**

Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	4
3. INDICATORE DI RESILIENZA	5
4. RESILIENZA DEL SISTEMA ELETTRICO	7
4.1 Calcolo del tempo di ritorno di una linea	9
4.2 Matrice carichi/guasti.....	9
4.2.1 Mappa dei carichi RSE	10
4.2.2 Guasti delle linee per neve/ghiaccio	10
4.2.3 Calcolo della matrice	11
4.3 Lunghezza equivalente di una linea.....	12
4.3.1 Coefficiente di estensione di una perturbazione	12
4.3.2 Coefficiente di lunghezza equivalente di una linea	13
4.4 tempo di ritorno Equivalente di una Cabina Primaria.....	13
4.4.1 Coefficiente topologico di rete (K_{top})	14
5. CONCLUSIONI	14

1. PREMESSA

Gli eventi meteorologici estremi degli ultimi anni ed in particolare la variabilità di frequenza ed estensione degli stessi rende necessaria una pianificazione della rete in grado di cogliere questi cambiamenti. Per tener conto di tale fenomenologia nel corso dell'ultimo anno sono state sviluppate su mandato dell'AEEGSI una serie di attività volte ad analizzare azioni per incrementare la resilienza della rete.

Il presente documento illustra una proposta metodologica per la definizione dell'indicatore di Resilienza utilizzato nella metodologia Analisi Costi Benefici, di cui alla delibera 627/16 del 4 Novembre 2016 [15], che possa cogliere il beneficio di un intervento di sviluppo in termini di incremento della Resilienza del sistema elettrico rispetto ad eventi climatici estremi.

Con Determina 2/2017 DIEU del 7 marzo 2017 [14] sono state approvate le *“Linee Guida per la presentazione dei Piani di lavoro per l'incremento della resilienza del sistema elettrico – Parte Prima”*, contenenti le principali indicazioni per la stesura dei piani di lavoro finalizzati all'adozione di misure regolatorie volte all'incremento della resilienza del sistema elettrico, che Terna e le Imprese distributrici *“devono predisporre e trasmettere all'Autorità entro il 31 marzo 2017”* (rispettivamente ai sensi dell'art. 37 TIQ.TRA e dell'art. 77 del TIQE) [11] [12].

Esse sono principalmente basate sulla documentazione rilasciata l'1 dicembre 2016 alla Direzione Infrastrutture dal Comitato Elettrotecnico Italiano (CEI), candidatosi a individuare possibili indicatori di resilienza nell'ambito del Tavolo di lavoro già istituito per effetto della Determina 6/2016 (Tavolo Resilienza) [13].

Sulla base della documentazione rilasciata dal CEI relativa alla tenuta meccanica delle linee aeree in media tensione e alta tensione a fronte della formazione dei *“manicotti”* di ghiaccio per l'azione combinata delle precipitazioni nevose e del vento, Terna ha consegnato alla AEEGSI il *“Piano di lavoro finalizzato all'adozione di misure regolatorie volte all'incremento della resilienza del sistema elettrico edizione 2017”* nell'ambito del quale Terna si è proposta di integrare l'attuale indicatore di resilienza.

A questo riguardo il presente documento elaborato congiuntamente da Terna e RSE si pone l'obiettivo di integrare la metodologia dell'indicatore Resilienza proiettandosi da un approccio di tipo componentistico ad un approccio sistemico sempre finalizzato a definire criteri e priorità per la realizzazione degli interventi sulla Rete di Trasmissione Nazionale finalizzati ad incrementare la resilienza del sistema elettrico rispetto ad eventi legati a fenomeni di wet-snow.

In particolare la metodologia prevede l'adozione di un indicatore che renda conto dell'effettivo comportamento delle singole linee, attraverso l'introduzione del tasso di guasto (rilevato) di queste, a fronte degli eventi meteorologici che comportino la formazione di manicotti di neve o ghiaccio. In questo modo si possono tenere in considerazione le peculiarità di ciascuna linea, quali lo stato delle strutture e dei componenti e le condizioni di intensificazione locale dell'evento meteorologico in ragione di specifiche situazioni topografiche (come nel caso di una linea in condizione di versante) [17] [18].

La metodologia proposta prevede inoltre, attraverso l'impiego di un avanzato modello numerico di rianalisi meteorologica [7] [8] [9] [10], di tenere in considerazione la reale estensione dei singoli fenomeni meteorologici sul territorio nazionale, aspetto di particolare rilevanza nelle ricadute che detti fenomeni possono avere sulla funzionalità della rete elettrica.

Gli aspetti topologici sono inoltre tenuti in considerazione attraverso un coefficiente che rappresenta il grado di vulnerabilità di una Cabina Primaria rispetto alla tipologia di connessione che la caratterizza.

2. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] P. Dahlgren, T. Landelius, P. Kallberg, S. Gollvik: A high-resolution regional reanalysis for Europe. Part 1: Three-dimensional reanalysis with the regional High-Resolution Limited-Area Model (HIRLAM).
- [2] T. Landelius, P. Dahlgren, S. Gollvik, A. Jansson and E. Olsson: A high-resolution reanalysis for Europe. Part 2: 2D Analysis of surface temperature, precipitation and wind. Royal Meteorological Society. Published: 3 April 2016.
- [3] Bonelli P., Lacavalla M. – “Trend in snow deposition on overhead electric lines: using synoptic data to investigate the relationship black-out risk/climate change. “ Management of Weather and Climate Risk in the Energy Industry. NATO Science for Peace and Security Series – C. Environmental Security- Edited by Troccoli A., January, 2010 (ISSN: 1874-6519).
- [4] Makkonen L. –“Models for the growth of rime, glaze, icicles and wet snow on structures” Philosophical Transactions of the Royal Society (2000) 358, 2913-2939.
- [5] Makkonen L. and B. Wichura, "Simulating wet snow loads on power line cables by a simple model," Cold Regions Science and Technology, Vols. 2-3, no.61, pp. 73-81, 2010.
- [6] Bonelli, P., Lacavalla, M., Marcacci, P., Mariani, G., and Stella, G.: Wet snow hazard for power lines: a forecast and alert system applied in Italy, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, 2419-2431, doi:10.5194/nhess-11-2419-2011, 2011.
- [7] Lacavalla M., Bonelli P., Mariani G., Marcacci P., Stella G.: The WOLF system: forecasting wet-snow loads on power lines in Italy. IWAIS 2011, China.
- [8] Lacavalla M., Marcacci P., Freddo A. - Wet-snow activity research in Italy - IWAIS 2015 Uppsala, Sweden.
- [9] M. Lacavalla, P. Marcacci, C. Chemelli, M. Balordi, R. Bonanno, G. Pirovano - Operational Forecast and Research Activities on Wet snow Accretion in Italy. IWAIS 2017, China.
- [10] Lacavalla M., Marcacci P., Frigerio A.: Forecasting and monitoring wet-snow sleeve on overhead power lines in Italy The RSE response to harmful winter blackouts in Italy – EESMS, Trento 2015, Proceedings IEEE.
- [11] AEEGSI, Deliberazione 646/2015/R/eel recante “Testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell’energia elettrica, per il periodo di regolazione 2016-2023” e relativo Allegato A (TIQE).
- [12] AEEGSI, Deliberazione 653/2015/R/eel recante “Testo integrato della regolazione output-based del servizio di trasmissione dell’energia elettrica, per il periodo di regolazione 2016-2023” e relativo Allegato A (TIQ.TRA).
- [13] AEEGSI, Determina 6/2016 - DIUC recante “Istituzione del tavolo di lavoro sulla qualità del servizio elettrico, ai sensi del punto 3, lettera c) della deliberazione 22 dicembre 2015, 646/2015/R/eel”, AEEGSI
- [14] AEEGSI, Linee Guida per la presentazione dei Piani di lavoro per l’incremento della resilienza del sistema elettrico – Parte Prima.
- [15] AEEGSI, Delibera 627/16/R/eel recante “Disposizioni per la consultazione del Piano decennale di sviluppo della Rete di Trasmissione Nazionale dell’energia elettrica e approvazione di requisiti minimi del Piano per le valutazioni di competenza dell’Autorità”
- [16] CEI EN 50341-1 (2013-10) “Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata - Parte 1: Prescrizioni generali - Specifiche comuni”.
- [17] CEI EN 50341-2-13 (2017-01) “Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in c.a. - Aspetti Normativi Nazionali (NNA) per l'Italia (basati sulla EN 50341-1:2012)”.
- [18] IEC 60826 Ed.4 (2017-02) “Overhead transmission lines – Design criteria”.

3. INDICATORE DI RESILIENZA

Le Linee guida, pubblicate dall'AEEGSI in data 7 Marzo 2017, definiscono in maniera innovativa l'indicatore di Resilienza (IRE) e introducono il primo punto di riferimento in letteratura.

L'analisi della resilienza è basata su un indice di rischio (IRI) di disalimentazione degli Utenti di una rete elettrica, definito come il prodotto della probabilità che l'evento produca un disservizio e dell'entità del danno (disalimentazione) prodotto dal disservizio stesso.

Tale probabilità di accadimento dell'evento di disservizio di una Cabina che alimenta l'utenza è definita in funzione del tempo di ritorno (TR) del disservizio delle linee che alimentano direttamente o indirettamente la Cabina Primaria (o Cabina). A sua volta il tempo di ritorno dei guasti di linea è funzione del tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi meteo successivi di entità uguale o superiore ad un valore di intensità minima definita (CEI EN 50341-2-13) [17] che porta al disservizio della linea stessa. Il tempo di ritorno dell'evento di disalimentazione di una CP si identifica con il tempo di ritorno di quella linea il cui fuori servizio determina un disservizio delle utenze sottese alla medesima CP.

La valutazione del tempo di ritorno dell'evento di disalimentazione di una Cabina dipende da:

- valore del tempo di ritorno delle linee direttamente connesse alla Cabina Primaria stessa;
- magliatura della porzione di rete cui la Cabina è connessa.

Di seguito si riportano due esempi (Figura 1, Figura 2) per il calcolo del tempo di ritorno di una CP, sulla base di due differenti magliature di rete all'interno di un'ipotetica isola di carico investita da un evento meteorologico avverso di nevicata.

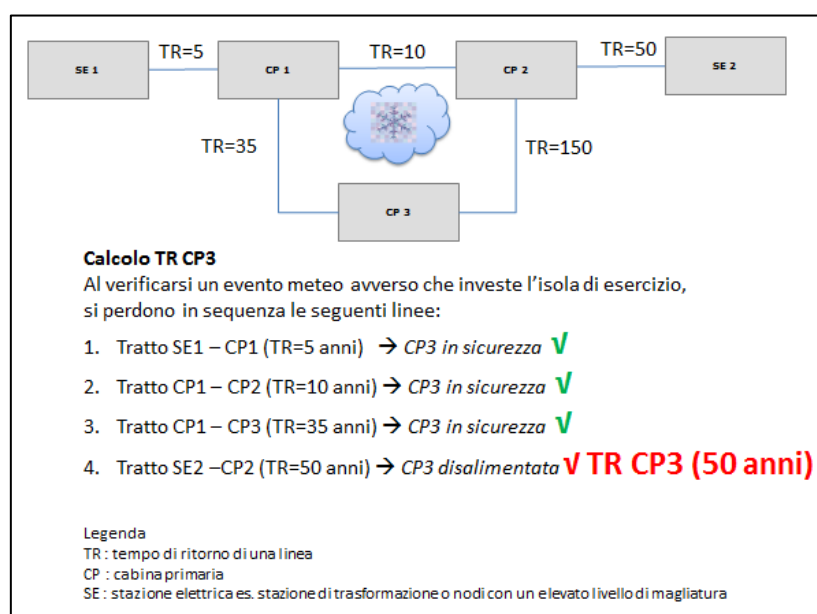


Figura 1 – Esempio di calcolo di tempo di ritorno CP magliata

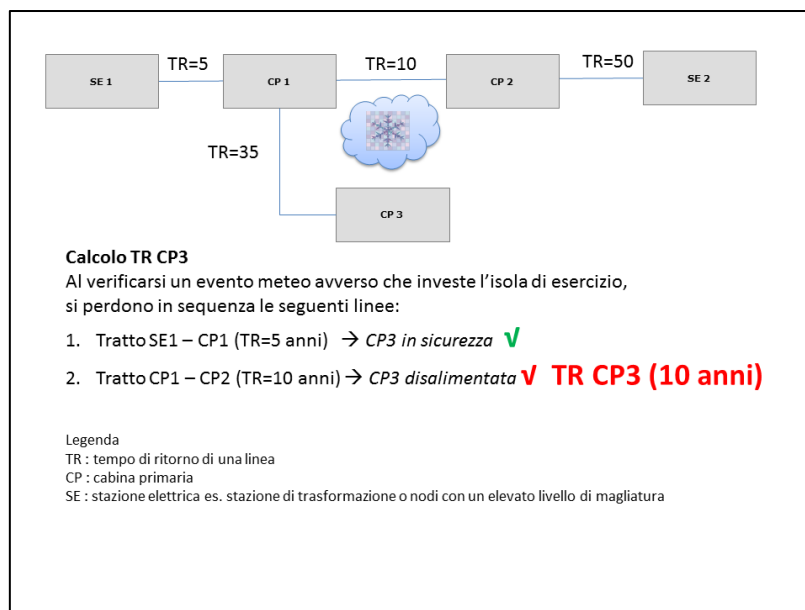


Figura 2 – Esempio di calcolo di tempo di ritorno CP in antenna

La probabilità che la Cabina sia disalimentata è pertanto dovuta al fuori servizio delle linee elettriche direttamente connesse ad essa o di qualunque altra linea, appartenente alla porzione limitrofa di rete (isola elettrica¹), che potrebbe determinare la disalimentazione delle utenze sottese alla Cabina stessa.

Con riferimento alle Linee Guida AEEGSI [14] si definisce:

- Indice di Rischio di una Cabina Primaria (IRI) = NUD/TR

dove:

- la probabilità di disservizio della Cabina è individuata come l'inverso del tempo di ritorno dell'evento TR che comporta il disservizio della stessa Cabina Primaria;
- l'entità del danno è individuata come il numero di Utenti in bassa tensione disalimentati (NUD).

L'indice di resilienza IRE è l'inverso dell'indice di rischio ed è quindi pari a:

- Indice di Resilienza (IRE) = TR/NUD

Tenendo presente che:

- le Imprese distributrici comunicano a Terna il NUD (numero utenti della Distribuzione sottesi alla Cabina) per ciascuna Cabina Primaria.

Il miglioramento dell'indice di rischio (ovvero l'inverso dell'indice di resilienza) è valutato come differenza tra l'indice di rischio in condizioni post-intervento e l'indice di rischio in corrispondenza della situazione ante-intervento con riferimento a ciascuna Cabina Primaria.

¹ **Isola di carico o isola di esercizio:** Porzione di rete ad un determinato livello di tensione, costituita da nodi elettrici e linee che li connettono, compresa tra trasformatori verso altri livelli di tensione.

4. RESILIENZA DEL SISTEMA ELETTRICO

Il frequente ripetersi di eventi meteorologici estremi di neve e ghiaccio che hanno colpito alcune aree del Paese negli ultimi anni rende necessario valutare l'effettiva esposizione delle singole linee della rete di trasmissione a fenomeni quali la formazione di manicotti di ghiaccio e neve.

Anche al fine di pianificare la rete considerando la peculiarità di questi fenomeni, il presente documento mira a definire un indicatore che esprima l'effettiva esposizione al rischio degli impianti della rete, *“alla luce degli effetti degli eventi meteorologici severi e persistenti occorsi negli ultimi 15 anni”*.

La proposta è quella di integrare l'indicatore di resilienza del sistema elettrico rispetto ad eventi estremi, quali fenomeni di formazione neve- ghiaccio, partendo dalla definizione del calcolo del tempo di ritorno di una Cabina Primaria, così come definita nell'ambito del Gruppo di lavoro per la predisposizione di indicatori per la valutazione della resilienza (CEI Comitato 8/28 nell'ambito del Tavolo Tecnico della qualità), ed estendendo l'approccio prevalentemente componentistico del calcolo ad uno di sistema che include anche aspetti legati ad altre variabili come: frequenza di accadimento dei guasti, debolezza intrinseca della topologia di rete, estensione del fenomeno meteorologico.

A questo fine sono stati introdotti una serie di fattori che, nella consapevolezza della possibile sovrapposizione degli effetti², rendono ragione:

- degli effettivi guasti delle singole linee;
- dei più recenti e avanzati modelli di calcolo dei carichi per manicotto di ghiaccio/neve umida sulle linee aeree;
- della estensione spaziale degli eventi meteorologici;
- della lunghezza delle linee elettriche;
- della topologia della rete elettrica.

In Figura 3 è riportata una rappresentazione dei fattori di influenza della resilienza del sistema elettrico (e della loro combinazione ai fini della valutazione del “nuovo indice di resilienza”):

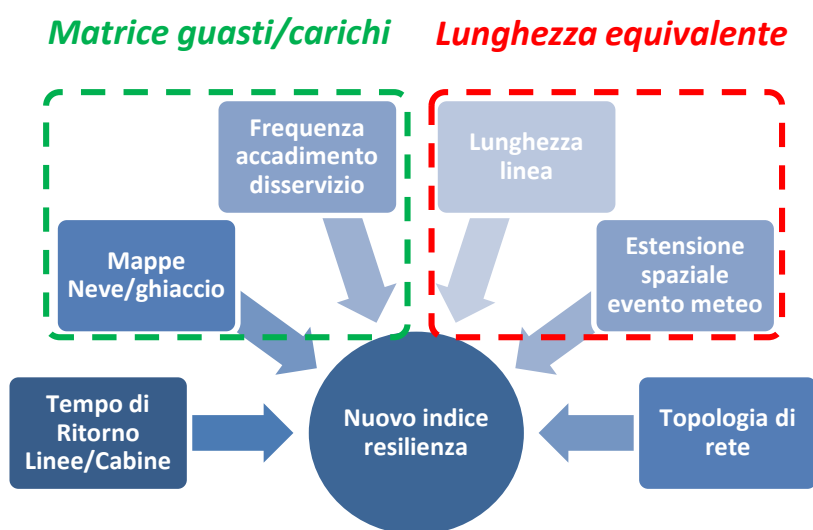


Figura 3 – Rappresentazione dei fattori di influenza della resilienza del sistema elettrico

² Ad esempio, la lunghezza delle linee e la topologia della rete dovrebbero avere influenzato i guasti effettivi storici delle singole linee.

La proposta di miglioramento del sopraccitato indicatore di resilienza mira a definire criteri e priorità per la realizzazione degli interventi sulla Rete di Trasmissione Nazionale più legati alla effettiva topologia e stato della rete.

La metodologia proposta prevede il calcolo di un Indice di Rischio (IRI) modificato sulla base della valutazione di un *tempo di ritorno equivalente di una linea elettrica* e di un *tempo di ritorno equivalente di una Cabina* che tengano conto dei succitati fattori, combinati secondo il seguente flusso logico.

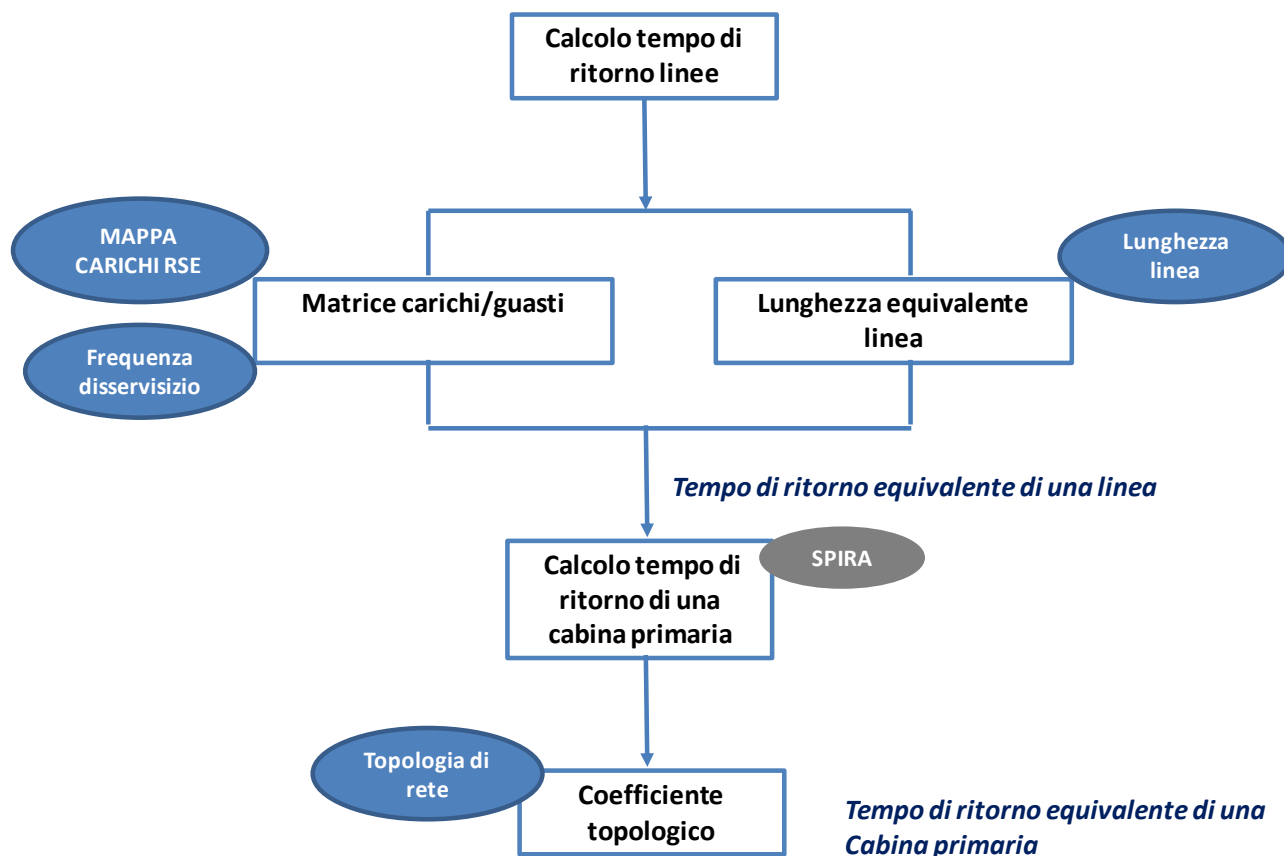


Figura 4 – Diagramma di flusso per il calcolo del tempo di ritorno equivalente di una Cabina Primaria

La seguenti equazioni traducono il diagramma di Figura 4:

$$TR_{eq, linea} = TR_{linea} * K_{lungh. eq\ linea} * K_{g-c}$$

$$TR_{eqCP_topologia} = TR_{eqCP} * K_{top}$$

Dove:

- TR_{linea} è il tempo di ritorno di una linea calcolato secondo la norma CEI EN 50341-2-13
- K_{g-c} è il coefficiente “carichi/guasti”
- $K_{lungh. eq\ linea}$ è il coefficiente lunghezza linea
- $TR_{eq, linea}$ è il tempo di ritorno equivalente di una linea
- TR_{eqCP} è il tempo di ritorno equivalente di una Cabina Primaria

- K_{top} è il coefficiente di topologia
- $TR_{eqCP_topologia}$ è il tempo di ritorno equivalente di una Cabina Primaria modificato con il coefficiente di topologia

Di seguito sono descritte le singole voci costituenti le due equazioni che consentono di arrivare al calcolo del tempo di ritorno equivalente di una Cabina Primaria.

4.1 Calcolo del tempo di ritorno di una linea

Il tempo di ritorno di una linea (CEI EN 50341-1) [16] è definito come l'intervallo di tempo tra ricorrenze successive di un'azione climatica di ampiezza minima definita. L'inverso del tempo di ritorno è la probabilità annuale di superamento di detta azione minima.

Il valore delle azioni è calcolato sulla base delle disposizioni di cui alla CEI EN 50341-2-13, alla quale si rimanda per i dettagli tecnici, con riferimento ad un tempo di ritorno di 50 anni.

Sulla base delle azioni calcolate secondo la norma CEI EN 50341-2-13, per ciascuna delle linee aeree del territorio italiano (progettate secondo normative precedenti) si è proceduto al calcolo dei tempi di ritorno in base ai criteri delle norme CEI EN sopracitate (TR_{linea}).

4.2 Matrice carichi/guasti

Al fine di tenere in debita considerazione l'effettivo comportamento delle singole linee e le informazioni fornite dai più avanzati modelli numerici di rianalisi meteorologica, è stata introdotta una matrice "guasti/carichi", che fornisce dei pesi per modificare in modo selettivo i tempi di ritorno delle singole linee calcolati secondo la norma CEI EN 50341-2-13. Tale norma, facendo riferimento a fatti meteorologici precedenti l'anno 2005 potrebbe non riflettere lo storico degli eventi occorsi più recentemente in alcune specifiche aree del territorio italiano.

4.2.1 Mappa dei carichi RSE

La mappa resa disponibile da RSE fornisce i carichi da neve umida ed è basata sul dataset MESAN (MESocale Analysis system) [1] [2]. La metodologia applicata per il calcolo dei carichi di neve sul conduttore di riferimento (ACSR d=22.8 mm) può essere sintetizzata attraverso i seguenti punti.

- Utilizzo delle osservazioni meteorologiche dei dataset grigliati MESAN
- Selezione delle condizioni di wet-snow attraverso opportune soglie di temperatura diversificate sul territorio nazionale
- Utilizzo modello di crescita cilindrica e conservativa del manicotto di neve su conduttori di linee aeree (Makkonen [4] [5] [6])
- Stima del carico verticale e del carico risultante utilizzando i dati di vento massimo giornaliero
- Applicazione del modello Makkonen con dati meteo giornalieri a disposizione su alcuni cluster di conduttori di riferimento della media e alta tensione
- Periodo per carico invernale: da Novembre ad Aprile
- Finestra crescita del manicotto con finestra mobile su 2 giorni
- Limite crescita manicotto: 50 kg/m (superiore a questa soglia si verifica distacco sotto l'azione dello stesso peso del manicotto)

La mappa fornisce le zone critiche per ghiaccio/neve con una risoluzione spaziale di 5 km dipendente dalla risoluzione del succitato dataset MESAN, in funzione della tipologia del conduttore e del manicotto di ghiaccio. Sulla base di questa suddivisione in zone e della collocazione geografica degli elettrodotti della rete di trasmissione è possibile associare a ciascun tratto di linea un valore presunto di carico meccanico dovuto al manicotto di ghiaccio.

Ai fini del presente studio è stata individuata la seguente classificazione in termini di massa di neve per unità di lunghezza del conduttore (kg/m):

Classe	Kg/m
1	> 12
2	7 ÷ 12
3	4 ÷ 7
4	1.5 ÷ 4
5	0 ÷ 1.5
6	0

Nel caso di linea che attraversa zone con carichi diversi, la classe di appartenenza della stessa si identifica con quella a sovraccarico peggiore, in quanto rappresenta il punto a maggiore vulnerabilità.

4.2.2 Guasti delle linee per neve/ghiaccio

Al fine di catturare anche la frequenza storica di accadimento degli eventi meteorologici legati a neve e ghiaccio di ciascuna delle linee aeree del territorio italiano nel periodo di disponibilità del dataset meteorologico (1985-2013), si è fatto riferimento ai dati di interruzione del servizio, con un tempo di

permanenza superiore ai 3 minuti, registrati da sistema MBI³ sulla Rete di Trasmissione Nazionale negli ultimi 13 anni (1 gennaio 2004-31 dicembre 2016).

A questo fine è stata adottata la seguente classificazione degli eventi di guasto per ciascuna linea.

Classe	n. eventi guasto
A	> 8
B	4 ÷ 7
C	1 ÷ 3
D	0

4.2.3 Calcolo della matrice guasti/carichi

Per ciascuna linea sono state associate due grandezze, i guasti della linea stessa e il carico di manicotto nel tratto in cui si verificano le condizioni di sovraccarico peggiori. Tale combinazione può essere rappresentata da una matrice dei “carichi” e dei “guasti” per linea esplicitati nella Figura 5.

matrice guasti\carichi	1	2	3	4	5	6
A	A1	A2	A3	A	A5	A6
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6
D	D1	D2	D3	D4	D5	D6

Figura 5 - Matrice guasti/carichi

Il codice colore (rosso, arancione verde) classifica le linee in base alla possibile priorità di intervento sulle stesse.

Come è possibile notare non vi è simmetria di colori rispetto alla diagonale A1 a D6 in quanto la risposta delle singole linee può essere influenzata da fattori differenti (locali e strutturali) e la mappatura fa riferimento ad una “banca dati” che va dal 1985 al 2013 (il dataset MESAN non riflette quindi gli ultimi eventi occorsi in Italia): ci sono linee che hanno subito fuori servizio per neve pur non presentando carichi attesi per formazione di manicotti secondo la mappatura RSE.

Al fine di comporre le due informazioni e prioritizzare gli interventi si è deciso di dare maggiore peso agli eventi di fuori servizio verificatisi (che riflettono anche la reale caratteristica strutturale/meccanica dell’impianto) rispetto ai dati della mappatura RSE.

In Figura 6 è riportata la matrice con l’attribuzione di pesi (variabili da 0.1 a 1)

matrice guasti\carichi	1	2	3	4	5	6
A	0.1	0.14	0.18	0.22	0.26	0.3
B	0.34	0.38	0.42	0.46	0.5	0.54
C	0.58	0.62	0.66	0.7	0.74	0.78
D	0.82	0.86	0.9	0.94	0.98	1

Figura 6 - Matrice guasti/carichi con i valori dei coefficienti K_{g-c}

³ Monitoring and Business Intelligence.

Tutti gli elettrodotti siti nelle aree ove si è registrato un alto tasso di eventi di disservizio per neve e ghiaccio e ove la mappatura RSE indica un rischio elevato di formazione del manicotto di neve e ghiaccio (aree ROSSE della matrice) costituiscono il primo insieme di impianti su cui prioritariamente valutare interventi di mitigazione (es. antitorsionali, carichi zavorra, ecc.) nel breve periodo e interventi infrastrutturali (es. sviluppo della rete, ricostruzioni, interrimento, ecc.) nel medio-lungo periodo.

Tutti gli elettrodotti in cui si è registrato un medio tasso di eventi di esercizio per neve e ghiaccio, costituiscono il secondo insieme di impianti (aree ARANCIONI della matrice) su cui valutare interventi di mitigazione (antitorsionali, carichi zavorra, ecc.) nel breve periodo e interventi infrastrutturali (sviluppo della rete, ricostruzioni, interrimento, ecc.) nel medio-lungo periodo.

Tutti gli altri elettrodotti ricadono in aree a bassa frequenza di eventi di guasto e basso carico da manicotto (aree VERDI della matrice), per cui costituiscono un insieme di impianti sui quali non è ritenuto prioritario intervenire.

4.3 Lunghezza equivalente di una linea

Altri elementi importanti per la valutazione della probabilità che una linea possa essere interessata da fenomeni di guasto per formazione di sovraccarichi di neve, sono dati dalla lunghezza della linea stessa e dall'estensione della perturbazione meteorologica che può interessare le diverse zone del territorio nazionale.

Maggiore è l'estensione del fenomeno meteo e maggiore è la lunghezza della linea, maggiore è la probabilità che in qualche punto del suo tracciato possa verificarsi un guasto che ne provochi il fuori-servizio.

4.3.1 Coefficiente di estensione di una perturbazione

Attraverso i risultati delle simulazioni modellistiche RSE ha potuto determinare l'estensione di ciascuna delle perturbazioni nevose associate a delimitate aree geografiche per il periodo 1985-2013.

È stato possibile in questo modo calcolare per ciascuna isola elettrica l'estensione massima della perturbazione per l'arco temporale sopra citato.

A titolo di esempio, RSE, sulla base del tracciato linee di Atlarete (atlante georeferenziato della rete elettrica di trasmissione), ha rappresentato su un sistema informativo geografico due isole elettriche dell'Abruzzo, sovrapponendole alla griglia modellistica MESAN come illustra l'immagine successiva.

Per rappresentare la superficie dell'isola elettrica, è stato creato un buffer attorno alle linee con raggio di 5 km, compatibile con la risoluzione spaziale del modello.

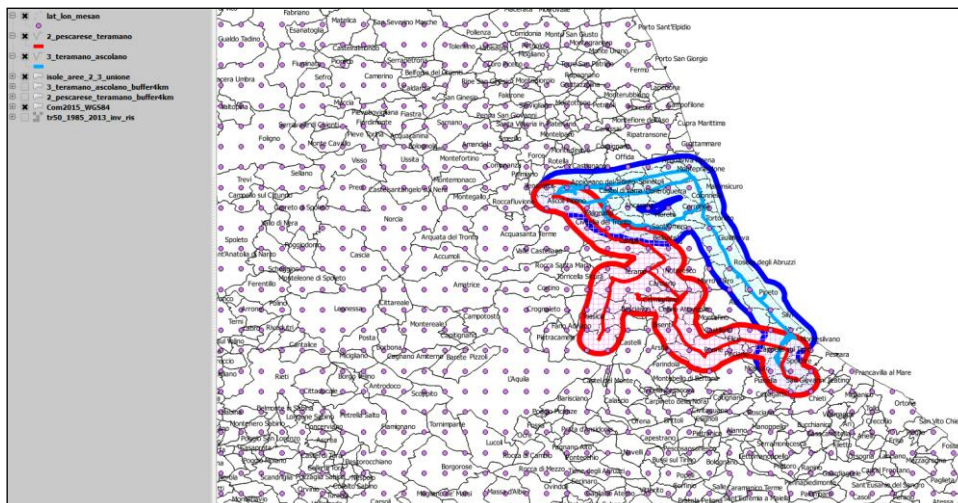


Figura 7 - Rappresentazione su GIS delle aree identificate attorno alle linee che definiscono le due isole elettriche e baricentro dei punti corrispondenti alla griglia di simulazione del dataset MESAN

Le isole elettriche sono rappresentate rispettivamente da 41 punti per l'isola Teramano-Ascolano e 45 per l'isola Pescara-Teramano.

Il fattore K_{est} di estensione spaziale degli eventi è stato calcolato come rapporto tra il numero di punti griglia che ricadono nell'isola elettrica e che hanno un carico di neve significativo (superiore a 1.5 kg/m^4) sul conduttore di riferimento ($N_{pt_{1.5_isola}}$) rispetto al numero totale di punti griglia associati all'isola elettrica ($N_{pt_{tot_isola}}$).

La formula per il calcolo del coefficiente di estensione è la seguente:

$$K_{est} = N_{pt_{1.5_isola}} / N_{pt_{tot_isola}}$$

Per ciascuno degli eventi di nevicata considerati, è stato calcolato il fattore di estensione spaziale K_{est} . Il K_{est} utilizzato ai fini del calcolo della lunghezza equivalente di linea è relativo all'evento storico a maggior estensione ed intensità.

Più estesa è la perturbazione nevosa maggiore è il K_{est} associato all'isola di esercizio e maggiore è il tratto di di linea (*linea equivalente*) esposto al fenomeno:

$$L_{eq} = L * K_{est}$$

Un K_{est} prossimo a 1 (ovvero una perturbazione nevosa che interessa l'intera estensione dell'isola di esercizio) porta ad avere la *lunghezza equivalente* (L_{eq}) uguale alla lunghezza fisica (L) della linea.

4.3.2 Coefficiente di lunghezza equivalente di una linea

La probabilità di guasto di una linea (a parità di altri fattori) è proporzionale alla lunghezza della stessa.

La possibilità offerta dai modelli numerici sopracitati di stimare l'estensione della perturbazione nevosa e quindi la *lunghezza equivalente* (L_{eq}) sopra definita, permette di ricavare un coefficiente legato alla lunghezza della linea esposta all'evento nevoso per una migliore definizione della sua esposizione al rischio: $K_{lungh.eq}$

linea

Maggiore è la L_{eq} , minore è il coefficiente moltiplicativo $K_{lungh.eq \text{ linea}}$ e pertanto minore il tempo di ritorno equivalente della linea secondo la relazione: $TR_{eq, \text{linea}} = TR_{\text{linea}} * K_{lungh.eq \text{ linea}} * K_{g-c}$.

4.4 Tempo di ritorno equivalente di una Cabina Primaria

Il processo di calcolo dell'indicatore di resilienza di una Cabina Primaria prevede il flusso logico indicato in Figura 8. A partire dal tempo di ritorno equivalente delle linee che compongono l'isola di esercizio si calcola il tempo di ritorno della Cabina Primaria secondo la metodologia di cui al Capitolo 3. Si precisa che l'applicazione della metodologia è stata opportunamente implementata sugli strumenti informatici di pianificazione della rete (tool SPIRA) al fine di automatizzare il processo. Successivamente il tempo di ritorno della Cabina Primaria è "corretto" con un coefficiente denominato coefficiente topologico che rappresenta il grado di esposizione al rischio della Cabina Primaria in funzione della tipologia di connessione alla Rete di Trasmissione Nazionale.

⁴ Valore di riferimento adottato per la progettazione delle linee AT nelle norme CEI11.4.

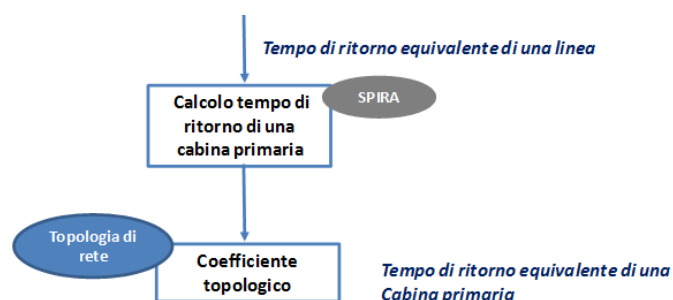


Figura 8 - Flusso logico per il calcolo del tempo di ritorno equivalente di una Cabina Primaria pesato attraverso il coefficiente topologico di rete.

4.4.1 Coefficiente topologico di rete (K_{top})

Il coefficiente topologico di rete rappresenta il grado di affidabilità della connessione di una Cabina Primaria rispetto alla tipologia di connessione che la caratterizza.

In particolare, sulla base di quanto previsto dal Codice di rete (Allegato Criteri di connessione alla RTN, par 9) è stato definito un ranking di affidabilità incluso tra il valore 1 (massima affidabilità corrispondente alla connessione su un nodo AAT/AT della rete di trasmissione) e 0 (minima affidabilità); discretizzando tale ranking si definiscono i seguenti pesi.

	TOPOLOGIA	DESCRIZIONE	K_{top}
1	Connessione in antenna	La Cabina è alimentata da 1 sola linea o da una doppia terna su singola palificazione	0.25
2	Connessione in entra esce	La Cabina è alimentata da 2 linee	0.5
3	Connessione multipla	La Cabina è alimentata da più di 2 linee	0.75
4	Connessione in sicurezza	Stazione AAT/AT a cui è sottesa l'isola di carico	1.00

Tale coefficiente K_{top} moltiplicato per il tempo di ritorno della Cabina Primaria ne fornisce il tempo di ritorno equivalente sulla quale effettuare il calcolo dell'Indice di Rischio (IRI).

5. CONCLUSIONI

Il presente documento, elaborato congiuntamente da Terna e RSE, si è posto l'obiettivo di integrare la metodologia dell'indicatore Resilienza proiettandosi da un approccio di tipo componentistico ad un approccio sistemico.

Un confronto diretto tra esperti di pianificazione di rete, di componentistica e di meteorologia, parti attive nella realizzazione di gran parte della bibliografia, ha consentito di mettere a punto una proposta metodologica per l'indicatore di Resilienza per la Rete di Trasmissione Nazionale.

L'obiettivo principale del lavoro è stato quello di definire una metodologia che fornisse criteri e priorità per la realizzazione degli interventi di sviluppo sulla Rete di Trasmissione Nazionale finalizzati a ridurre i disagi

dell'utente finale incrementando la resilienza del sistema elettrico rispetto ad eventi estremi legati a fenomeni di wet-snow.