



energia vicina dal 1905




POLITECNICO
MILANO 1863

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

Valutazione della resilienza del sistema elettrico


Odoardo Zecca

Piano di resilienza 2022-2024

	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 2 di 34

Sommario

1. Premessa	3
2. Riferimenti	4
3. Consistenza del sistema elettrico Odoardo Zecca	5
4. Metodologia di analisi della resilienza del sistema elettrico.....	8
4.1. Fattore critico formazione di manicotti di ghiaccio e neve	9
4.2. Fattore critico caduta alberi fuori fascia	14
5. Indici di resilienza del sistema elettrico Odoardo Zecca	16
5.1. Fattore critico formazione di manicotti di ghiaccio e neve	16
5.2. Fattore critico caduta alberi fuori fascia	21
5.3. Indici di rischio complessivi	26
6. Interventi di sviluppo e potenziamento finalizzati ad incrementare la resilienza di rete	30

 energia vicina dal 1905	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 3 di 34

1. Premessa


L'art. 77 del TIQE (Allegato A alla Del. 566/2019/R/eel) prevede che le imprese distributrici trasmettano all'Autorità un piano di lavoro finalizzato all'adozione di misure regolatorie volte all'incremento della resilienza del sistema elettrico.

In accordo alle disposizioni dell'Autorità, il Piano deve avere un orizzonte triennale e deve contenere una disamina tecnica dei fattori di rischio che risultano storicamente impattanti sull'esercizio della rete elettrica.

Ai sensi dell'art. 78 comma 1 del TIQE, l'azienda elettrica Odoardo Zecca è tenuta, a partire dal 2020, in qualità di distributore di riferimento per i territori dei comuni di Ortona e San Vito Chietino in Abruzzo, alla pubblicazione e trasmissione del proprio piano di resilienza all'Autorità entro il 30 giugno di ogni anno.

Nel contesto delineato, il presente lavoro, sviluppato da Odoardo Zecca in collaborazione con il Politecnico di Milano – Dip. di Energia, propone una valutazione della resilienza del sistema elettrico di Ortona e San Vito Chietino con riferimento ai fenomeni di formazione di manicotti di ghiaccio o neve (*wet snow*), e di caduta di alberi ad alto fusto fuori la fascia di rispetto sulle linee elettriche aeree. Sono inoltre delineate le azioni che l'azienda intende intraprendere per far fronte alle criticità individuate.

Per l'impostazione metodologica dello studio, si sono prese a riferimento le indicazioni fornite dalle linee guida ARERA per la presentazione dei piani di resilienza da parte delle aziende distributrici di energia elettrica (Allegato A alla determinazione DIEU 7 marzo 2017, n. 2/2017) e le indicazioni elaborate all'interno del Tavolo di Lavoro dei distributori sulla resilienza attivato in sede CEI CT8/123.

 energia vicina dal 1905	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 4 di 34

2. Riferimenti

Ai fini della redazione del presente Piano di Resilienza, si sono presi a riferimento i seguenti documenti.

- Determinazione ARERA 7 marzo 2017 n. 2/2017 e suo Allegato A “Linee guida per la presentazione dei Piani di lavoro per l’incremento della resilienza del sistema elettrico”.
- Deliberazione ARERA 31/2018/R/eel del 25 gennaio 2018 - “Direttive per l’integrazione di sezioni relative alla resilienza del sistema elettrico nei piani di sviluppo delle imprese distributrici”.
- Documento per la Consultazione ARERA 460/2018/R/eel del 20 settembre 2018 “Resilienza delle reti di distribuzione dell’energia elettrica - Incentivazione degli interventi finalizzati all’incremento della tenuta alle sollecitazioni – Orientamenti finali”.
- Deliberazione ARERA 668/2018/R/eel del 18 dicembre 2018 “Incentivazione economica degli interventi di incremento della resilienza delle reti di distribuzione dell’energia elettrica” e relativo Allegato A.
- Allegato A alla Deliberazione ARERA 566/2019/R/eel (TIQE 2020-2023) del 23 dicembre 2019 “Testo integrato della regolazione output-based dei servizi di distribuzione e misura dell’energia elettrica - periodo di regolazione 2016-2023, in particolare il suo Titolo 10 “Resilienza del sistema elettrico”.
- Documenti prodotti dal GdL “Resilienza” costituito nell’ambito del CEI CT 8/123 “Aspetti di sistema per la fornitura di energia elettrica e la gestione delle infrastrutture” finalizzati alla definizione delle metodologie di valutazione della resilienza del sistema elettrico.
- CEI EN 50341-2-13 “Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in c.a. Parte 2-13: Aspetti Normativi Nazionali (NNA) per l'Italia (basati sulla EN 50341-1:2012)”, settembre 2017.
- CEI EN 50341-1 “Linee elettriche aeree con tensione superiore a 1 kV in corrente alternata. Parte 1: Prescrizioni generali - Specifiche comuni”, ottobre 2013
- Norme tecniche per le costruzioni, 17 gennaio 2018.

3. Consistenza del sistema elettrico Odoardo Zecca

L'azienda Odoardo Zecca è il gestore di rete titolare della concessione per l'erogazione del servizio di distribuzione elettrica nei comuni di Ortona e San Vito Chietino, in Abruzzo (Figura 1).

In qualità di Distributore di riferimento, l'azienda assicura il trasporto, la trasformazione e la consegna dell'energia elettrica secondo le caratteristiche tecniche di tensione e frequenza previste dalla normativa applicabile.

Odoardo Zecca ha un collegamento in Alta Tensione, in corrispondenza della Cabina Primaria (CP) Ortona, con la rete di trasmissione nazionale, e gestisce circa 400 Km di rete in Media Tensione con oltre 200 cabine di trasformazione secondaria.

La propria rete raggiunge circa 17.000 utenti tutti dotati di contatore elettronico telegestito.

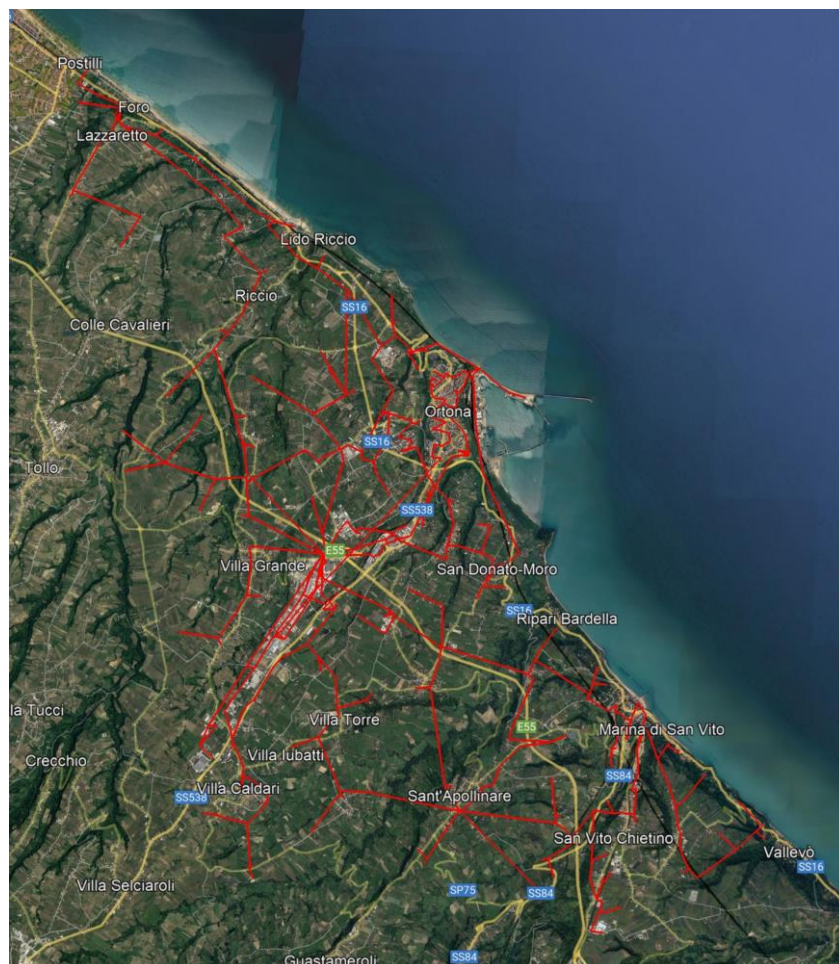


Figura 1. Rappresentazione cartografica della rete MT Odoardo Zecca.

Le analisi sviluppate e presentate nel seguito hanno per oggetto la valutazione della resilienza del complessivo sistema elettrico MT di cui sopra e, in particolare, mirano a quantificare il rischio di disalimentazione di ciascuna cabina secondaria della rete dovuto alla formazione di manicotti di neve e ghiaccio, piuttosto che alla caduta di alberi fuori fascia, sulle linee elettriche aeree. L'obiettivo delle valutazioni effettuate è anche e soprattutto quello di indirizzare opportunamente gli investimenti sulla rete elettrica.

Con riferimento a tali analisi, le probabilità di disalimentazione per guasti sulla rete Terna sono assunte trascurabili allo scopo di evidenziare le problematiche che emergono, e come tali possono trovare soluzione, all'interno della sola rete di distribuzione. A riguardo, si rammenta che la rete di alta tensione è oggetto, ai sensi dell'art. 37 del TIQ. TRA, di analoghe valutazioni da parte di Terna. Per quanto appena detto, nel prosieguo dello studio, l'affidabilità di esercizio di ciascuna Cabina Secondaria (CS) verrà valutata unicamente rispetto ai possibili percorsi di alimentazione verso la CP Ortona (punto di confine con la rete Terna).

Il sistema elettrico in media tensione nella titolarità della Odoardo Zecca, aggiornato al 2022, è mostrato nella successiva Figura 2, con indicazione delle tipologie di linea elettrica installate (conduttore nudo, cavo aereo o cavo interrato). Si osservi che l'impiego di cavo è limitato alla rete urbana di Ortona e relativa zona industriale, oltre che a poche altre zone, quali Marina di San Vito o Lido Riccio.

La Figura 3 mostra invece la distribuzione delle cabine secondarie con indicazione su base colorimetrica del rispettivo numero di utenti BT. Nel sistema elettrico Odoardo Zecca si hanno 193 cabine MT/BT a cui risulta sotteso almeno un utente alimentato in bassa tensione.

Si noti come la dislocazione delle Cabine Secondarie con il maggior numero di utenti serviti coincida in genere con le aree del territorio oggetto di cavizzazione, in quanto soggette queste di solito ad una maggiore urbanizzazione: tra queste ricadono il centro dei comuni di Ortona e San Vito Chietino, piuttosto che le frazioni Lido Riccio, Foro di Ortona e Marina di San Vito.

In merito all'orografia del territorio, si evidenzia come l'area su cui si sviluppa la rete Odoardo Zecca sia essenzialmente pianeggiante: a partire dal livello del mare lungo la costa, si arriva a toccare al limite una quota di circa 200 m slm nell'entroterra (ininfluente quindi sull'intensità dei fenomeni in analisi).

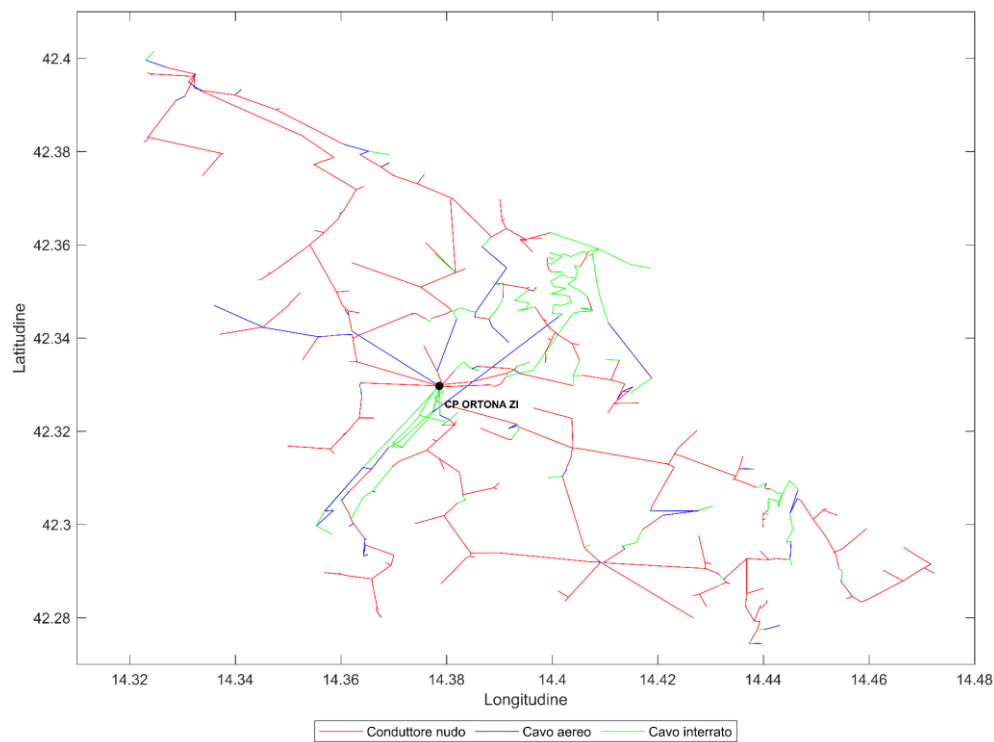


Figura 2. Tipologia di conduttori del sistema di distribuzione.

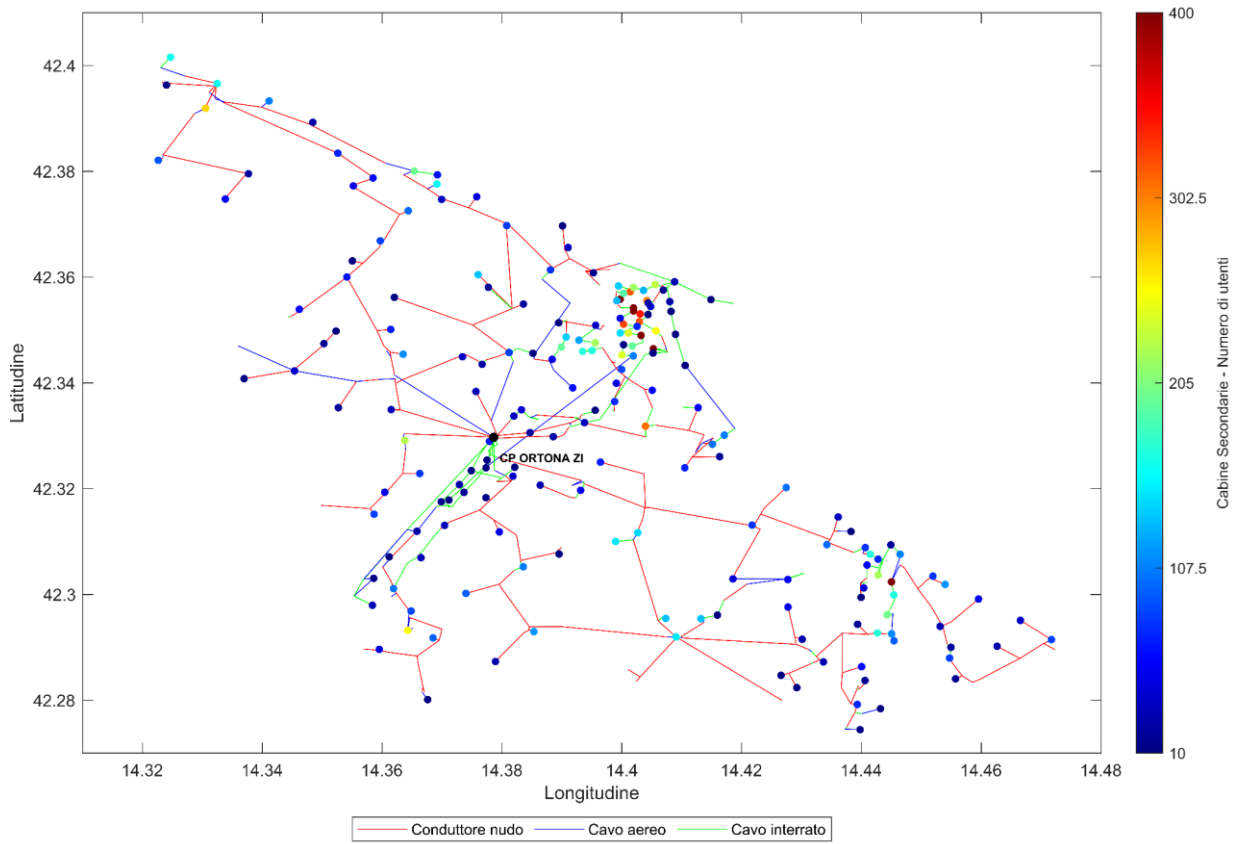


Figura 3. Numero di utenti per cabina secondaria.

4. Metodologia di analisi della resilienza del sistema elettrico

In accordo agli eventi di guasto registrati negli ultimi anni sul sistema elettrico Odoardo Zecca, si sono selezionati quali fattori di rischio da esaminare la formazione di manicotti di ghiaccio e neve, e la caduta di alberi fuori la fascia di rispetto sulle linee elettriche aeree.

Entrambe le metodologie adottate sono state applicate in conformità alle Linee Guida di cui alla Det. DIEU n. 2/2017, che definiscono i principali elementi metodologici per l'individuazione e la valutazione di interventi per l'incremento della resilienza. Le prescrizioni fornite sono state integrate, ove necessario, con indicazioni condivise nei Tavoli di Lavoro attivati da ARERA e in sede CEI sul tema e/o sulla base delle evidenze di esercizio della rete reale.

Nel dettaglio, le metodologie proposte mirano ad individuare, per ogni Cabina Secondaria (CS) del sistema di distribuzione, un indice di rischio di disalimentazione degli utenti sottesi per ciascuna causa (indice IR_{CS}), definito come:

$$IR_{CS} = \frac{N_{UD}}{T_{R\ CS}}$$

Dove:

- $T_{R\ CS}$ è il tempo di ritorno dell'evento considerato;
- N_{UD} è l'entità del danno, individuata come numero di utenti in bassa tensione disalimentati.

Tale valutazione è sviluppata per ciascuna Cabina Secondaria e per ogni fattore critico in esame (manicotti di ghiaccio/neve e caduta alberi). Gli indicatori così ottenuti per singolo fenomeno sono poi combinati, sempre a livello di CS, in indici di resilienza complessivi.

In particolare, il tempo di ritorno della Cabina Secondaria ($T_{R\ CS}$) è calcolato come combinazione dei tempi di ritorno dei singoli fattori di rischio (reciproco della somma dei tassi di interruzione) secondo l'equazione:


$$T_{R\ CS} = \frac{1}{\frac{1}{T_{R\ CS\ manicotti}} + \frac{1}{T_{R\ CS\ piante}}}$$

In caso di tempo di ritorno totale inferiore all'unità, il suo valore è posto pari a 1.

L'Indice di Rischio della Cabina Secondaria (IR_{CS}) è calcolato invece come somma degli indici di rischio per manicotti e caduta alberi fuori fascia:

$$IR_{CS} = \frac{N_{UD}}{T_{R\ CS\ manicotti}} + \frac{N_{UD}}{T_{R\ CS\ piante}}$$

Gli indici così ottenuti, eventualmente aggregati per linea MT e semisbarra di Cabina Primaria, consentono di individuare la presenza di problematiche di resilienza sul sistema elettrico ($T_R < 50$ anni) e conseguentemente permettono di prioritizzare gli interventi correttivi da introdurre in rete.

	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 9 di 34

4.1. Fattore critico formazione di manicotti di ghiaccio e neve

La metodologia impiegata per la valutazione degli indici di resilienza rispetto al fenomeno di formazione dei manicotti di ghiaccio e neve è stata sviluppata seguendo le indicazioni all'Appendice 2 della Det. DIEU n. 2/2017 e delle indicazioni emerse dal GdL con i distributori attivato all'interno del CT 8-123 CEI.

Nel dettaglio, conformemente alle indicazioni delle Linee Guida, per il calcolo degli indici di rischio si è applicato il procedimento seguente.

- A. Ad ogni tratta di linea aerea in conduttore nudo del sistema elettrico, sulla base della tipologia del conduttore e della quota di installazione, è attribuito un valore atteso a 50 anni del carico risultante dall'accrescimento del manicotto di ghiaccio e neve con spinta del vento sul conduttore.
- B. Per ognuna delle suddette tratte, in accordo all'equazione del cambiamento di stato della catenaria, è ricavato il carico di neve/ghiaccio e vento critico, tale da causare la rottura del conduttore.
- C. Il carico corrispondente all'evento di formazione del manicotto di ghiaccio e neve con tempo di ritorno 50 anni e quello critico sono impiegati, secondo le indicazioni della norma CEI EN 50341-1, per determinare il tempo di ritorno dell'evento di rottura.
- D. Per ogni Cabina Secondaria, sono individuati tutti i possibili percorsi di alimentazione verso un qualsiasi punto di alimentazione AT, assumendo i punti di sezionamento chiusi.
- E. Per ogni percorso di alimentazione è individuata la relativa tratta critica, ovvero la tratta con tempo di ritorno dell'evento di rottura minore.
- F. Tra tutti i percorsi di alimentazione è considerato quello avente il tempo di ritorno superiore, assumendo che, in tutti gli eventi metereologici meno gravi di quelli che causano l'interruzione di tale percorso, almeno la direttrice di alimentazione in oggetto verso la CS sia sempre attiva. Il valore così ottenuto è il tempo di ritorno della Cabina Secondaria (parametro TR-cs di cui all'Appendice 2 della Det. DIEU n. 2/2017).
- G. L'indice di rischio di disalimentazione della Cabina Secondaria è calcolato come numero di utenti BT sottesi alla cabina diviso il tempo di ritorno (parametro IR_{CS}).

Sulla base della sequenza di operazioni di cui sopra, la prima fase della procedura di valutazione della resilienza (**punto A**) ha mirato a valutare il valore atteso a 50 anni del carico risultante del manicotto di ghiaccio e neve con spinta del vento sul conduttore (espresso in kg/m) per le linee aeree. Nel dettaglio, il carico risultante è stato ottenuto applicando la procedura descritta nella norma CEI 50341-2-13 e nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC, ed. 2018), come combinazione di due fattori: il peso del manicotto di ghiaccio e neve, e la forza agente sul conduttore per l'effetto del vento.


Lo spessore del manicotto di ghiaccio e neve con tempo di ritorno 50 anni è calcolato secondo le seguenti espressioni (par. IT.2 EN 50341-2-13), dove con a_s è intesa la quota s.l.m. Per altitudini superiori a 1500 m (che non si presentano mai per la rete in oggetto), a_s è posta pari a 1500 m.

Per il manicotto di ghiaccio:

$$\text{Ice density } \rho_i = 900 \text{ kg/m}^3$$

$$S_k = 0 \text{ mm} \quad \text{for } a_s \leq 600 \text{ m}$$

$$S_k = 18 + 16 (a_s - 600)/1000 \text{ mm} \quad \text{for } a_s > 600 \text{ m}$$

	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 10 di 34

Per la neve:

$$\text{Snow density } \rho_i = 500 \text{ kg/m}^3$$

$$S_k = 24 \text{ mm} \quad \text{for } a_s \leq 600 \text{ m}$$

$$S_k = 24 + 20 (a_s - 600)/1000 \text{ mm for } a_s > 600 \text{ m.}$$

Noto lo spessore di accrescimento del manicotto di ghiaccio e neve, e il relativo peso specifico (dato dalla norma), è quindi possibile calcolare la forza peso agente su un tratto unitario di conduttore con tempo di ritorno 50 anni.

Si procede quindi a valutare l'effetto della velocità del vento sulle linee sempre seguendo la procedura prevista dalle norme, dove la pressione del vento Q_w è data dall'espressione (par. IT.7 norma EN 50341-2-13):

$$Q_w = q_b \cdot C_e \cdot G_c \cdot C_x \cdot A$$

Dove:

- q_b è la pressione cinetica di riferimento;
- C_e il coefficiente di esposizione;
- G_c è il fattore strutturale, definito al par. 4.4.1.2 della norma EN 50341-1 (vedi Tabella 2);
- C_x è coefficiente di resistenza aerodinamica, dipendente dalla forma dell'elemento considerato (pari a 1 per conduttori aerei, secondo quanto indicato nella EN 50341-2-13);
- A è l'area dell'elemento (conduttore e relativo manicotto di ghiaccio/neve) proiettato su un piano perpendicolare alla direzione del vento.

Nell'equazione precedente, la pressione cinetica di riferimento q_b (in N/m^2) è data dall'espressione:

$$q_b = \frac{1}{2} \rho v_b^2$$

Dove:

- v_b è la velocità di riferimento del vento (in m/s);
- ρ è la densità dell'aria assunta convenzionalmente costante e pari a $1,25 \text{ kg/m}^3$.

La velocità di riferimento v_b , ovvero il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo su un terreno di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni è determinata come:

$$V_b = V_{b,0} \cdot C_a$$

Dove:

- $V_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tabella 1 (Tab. 3.3.I NTC) in funzione della zona in cui sorge la linea;
- C_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m}$$

I parametri utili al calcolo del coefficiente di altitudine si ricavano dalla seguente Tabella 1 (Tab. 3.3.I. delle NTC).

Tab. 3.3.I -Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Tabella 1. Valore dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s
(Fonte: Tab. 3.3.I. Norme Tecniche per le Costruzioni ed. 2018)

Il coefficiente di esposizione C_e nell'espressione della pressione del vento Q_w dipende dall'altezza z sul suolo della linea, dalla topografia del terreno, e dalla categoria di esposizione del sito. In assenza di analisi specifiche che tengano in conto della direzione di provenienza del vento e dell'effettiva scabrezza e topografia del terreno che circonda la costruzione, le NTC prevedono che esso possa essere definito attraverso le formule:

$$c_e(z) = k_r^2 c_t \ln(z/z_0) [7 + c_t \ln(z/z_0)] \quad \text{per } z \geq z_{\min}$$

$$c_e(z) = c_e(z_{\min}) \quad \text{per } z < z_{\min}$$

Dove:

- k_r , z_0 , z_{\min} sono assegnati in accordo alla Tabella 2 (costruita a partire dalla Tab. 3.3.II delle NTC e dalle indicazioni al par. 4.4.1.2 della norma EN 50341-1) in funzione della categoria di esposizione del sito;
- c_t è il coefficiente di topografia (preso di valore unitario, come da indicazioni delle NTC).

Ai fini delle equazioni precedenti, nello studio si è assunta un'altezza media delle linee dal suolo di 10 m.

Assumendo una classe di rugosità del terreno pari a “C” o “D” (zone con ostacoli diffusi o spazi aperti), e considerando che la rete si sviluppa interamente entro 10 km dalla costa, si è applicata ovunque la categoria di esposizione II (Figura 4), i cui parametri sono riportati alla Tabella 2.

Categoria di esposizione del sito	k_r	Z_0 [m]	Z_{min} [m]	G_c
II	0,19	0,05	4	0,63

Tabella 2. Parametri per la definizione dei coefficienti di esposizione e resistenza aerodinamica.

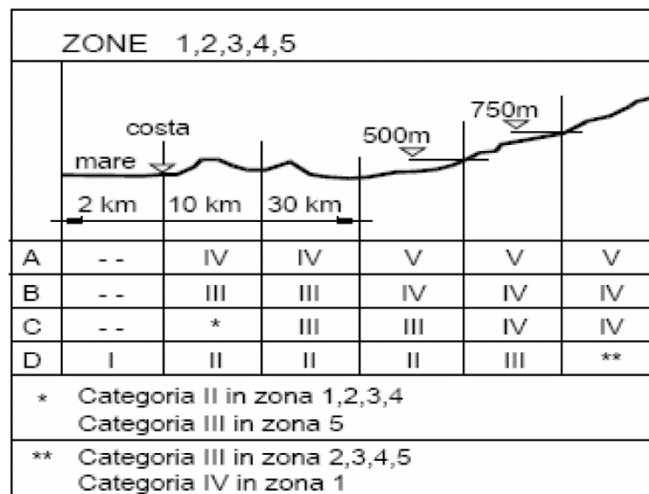


Figura 4. Definizione delle categorie di esposizione (Fig. 3.3.2 - Norme Tecniche per le Costruzioni ed. 2018)

Noto il carico dovuto al peso del manicotto di ghiaccio e neve (perpendicolare al terreno), e l'azione del vento sul conduttore (trasversale), le due forze sono combinate a dare il carico risultante su una tratta unitaria di conduttore. Seguendo la norma, si è assunto un coefficiente di contemporaneità tra il carico critico del manicotto di ghiaccio/neve e l'azione del vento pari a 0,6. Per tener conto della maggior criticità di eventi recenti non considerati dalla norma, il carico del manicotto di neve è stato maggiorato del 5%.

Il carico di neve, ghiaccio e vento critico tale da causare la rottura del conduttore (**punto B** della procedura) è quindi stato ricavato attraverso l'equazione del cambiamento di stato della catenaria (dove l'incognita è rappresentata dal parametro p'):

$$\frac{1}{24} \left[\left(\frac{p' a}{T_M'} \right)^2 - \left(\frac{p a}{T_M} \right)^2 \right] - \frac{1}{ES} (T_M' - T_M) - \alpha (\theta' - \theta) = 0$$

nella quale:

T_M' = tiro medio incognito nella condizione finale o derivata (kg)

T_M = tiro medio noto nella condizione iniziale o base (kg)

P' = carico risultante per unità di lunghezza nella condizione finale (kg/m)

P = carico risultante per unità di lunghezza nella condizione iniziale (kg/m)

E = modulo di elasticità (kg/mm²)

S = sezione del conduttore (mm²)

a = lunghezza della campata (m)

α = coefficiente di dilatazione termica lineare (1/°C)

θ' = temperatura nella condizione finale (°C)

θ = temperatura nella condizione iniziale (°C)

Per i parametri costruttivi e di posa delle linee richiesti dall'equazione si sono adottati i valori ottenuti mediante datasheet e dati di letteratura riportati alla Tabella 3 successiva. Per le caratteristiche di posa dei conduttori si sono applicate le prescrizioni della Zona A prevista dalla Legge 28 giugno 1986, n. 339. In particolare, la temperatura di posa è stata assunta pari a 20°C, mentre la temperatura finale in presenza di manicotto è presa pari a -2°C.

Tipologia di conduttore	Sezione [mm ²]	Carico di rottura [kg]	Modulo di elasticità [kg/mm ²]	Peso [kg/m]	Coefficiente di dilatazione [1/°C]	Tiro [kg]	Lunghezza campata [m]
Rame	12	500	13000	0,1314	16,8·10 ⁶	80	95
	16	610	13000	0,1414	16,8·10 ⁶	80,0	99
	20	796	11667	0,1800	16,9·10 ⁶	100,6	105
	25	1028	10000	0,2283	17·10 ⁶	126,4	115
	28	1028	10000	0,2283	17·10 ⁶	126,4	115
	35	1426	10000	0,3166	17·10 ⁶	192,5	120
70	2734	10000	0,6258	17·10 ⁶	410,1	120	
Alluminio	185	4408	5700	0,4963	23·10 ⁶	304,3	140

Tabella 3. Parametri tecnici e di posa delle tipologie di conduttori considerati.


Il tempo di ritorno dell'evento di rottura sulla singola tratta di conduttore aereo (**punto C**) è poi calcolato applicando la metodologia di cui all'Allegato B e all'Allegato D della norma CEI EN 50341-1, e condivisa nel GdL CEI sulla resilienza, assumendo i seguenti parametri: $v_i=0,7$, $C_1=0,9496$, $C_2=0,4952$.

Successivamente, il sistema di distribuzione è stato oggetto di una analisi topologica (**punto D**), atta ad individuare per ogni Cabina Secondaria ogni possibile percorso di alimentazione verso una qualsiasi interfaccia AT. Per tale finalità, si sono assunti tutti i punti di sezionamento sulla rete MT chiusi, ovvero la rete è stata modellizzata all'interno del software di calcolo come un sistema magliato.

In via cautelativa, non si sono considerati i punti interconnessione con aziende di distribuzione confinanti, ciò in ragione della non perfetta conoscenza di tali infrastrutture di rete (es. tempi di ritorno in caso di eventi meteorologici estremi) e delle relative pratiche di esercizio in essere.

Per ogni percorso di alimentazione individuato dall'algoritmo, si è quindi selezionata la tratta critica (**punto E**), ovvero la tratta avente maggiore probabilità di rottura del conduttore: il tempo di ritorno di tale tratta è assunto quale tempo di ritorno della tratta complessiva (ovvero, in caso di evento meteorologico rilevante, si presuppone che la tratta critica sia l'elemento che pregiudichi per primo il funzionamento dell'intero percorso di alimentazione della CS).

Tra tutti i percorsi disponibili per alimentare una data CS è preso infine quello con tempo di ritorno superiore (**punto F**). Tale percorso, avendo la maggiore resilienza rispetto ai fenomeni meteorologici considerati, è infatti quello che più di ogni altro assicura la continuità del servizio degli utenti BT sottesi alla CS. Il tempo di ritorno di tale percorso è il tempo di ritorno caratteristico della Cabina Secondaria in analisi (parametro T_{RCS}): tramite di esso è calcolato (**punto G**) l'indice di rischio di disalimentazione della Cabina Secondaria (IR_{CS}).

 energia vicina dal 1905	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 14 di 34

4.2. Fattore critico caduta alberi fuori fascia

L’approccio all’analisi del fattore critico “caduta alberi fuori fascia” sulle linee elettriche è stata sviluppata coerentemente alle indicazioni fornite nella Det. DIEU n. 2/2017 e nel GdL tra i distributori attivato in sede CEI.

In analogia a quanto effettuato per i manicotti di ghiaccio e neve, anche per la caduta alberi fuori fascia la procedura mira a calcolare degli indici di rischio per la singola Cabina Secondaria, dapprima valutando il rischio di guasto sulla singola tratta di linea, e successivamente componendo i tassi di guasto a livello di percorso di alimentazione verso le Cabine Primarie tramite un’analisi topologica. In particolare:

- A. In funzione delle condizioni di posa (lunghezza, quota, posa in area boschiva), ad ogni tratta di linea aerea in conduttore nudo del sistema elettrico è attribuito un tempo di ritorno dell’evento di rottura, definito sulla base di analisi storiche degli eventi di guasto che hanno interessato la rete rispetto al fenomeno in esame.
- B. Per ogni Cabina Secondaria, sono individuati tutti i possibili percorsi di alimentazione verso un qualsiasi punto di alimentazione AT, assumendo i punti di sezionamento chiusi.
- C. Per ogni percorso di alimentazione è individuato il tempo di ritorno totale dell’evento di guasto, ottenuto come composizione dei tempi di ritorno delle singole tratte.
- D. Tra tutti i percorsi di alimentazione possibili di una CS è considerato quello avente il tempo di ritorno superiore (migliore affidabilità).
- E. L’indice di rischio di disalimentazione della Cabina Secondaria è calcolato come numero di utenti BT sottesi alla cabina diviso il tempo di ritorno (parametro IR_{CS}).


Per il sistema elettrico Odoardo Zecca, il rischio di guasto per caduta alberi fuori fascia è stato definito (**punto A**) assumendo cautelativamente 1 guasto/anno dovuto al fenomeno in oggetto a livello di complessiva rete MT. Per le linee in cavo aereo e per le linee aeree in conduttore nudo non in aree boschive, si è assunto un tempo di ritorno chilometrico convenzionale pari a 500 (secondo la metodologia condivisa nel GdL con i distributori sulla resilienza). Nota la complessiva percorrenza di linee aeree in conduttore nudo in aree boschive (7,72 km), è stato quindi ricavato il tempo di ritorno chilometrico (T_{R_km}) per queste ultime, pari a 10,34 anni.

Noto il parametro T_{R_km} e la percorrenza all’interno di aree boschive (L_{ab}), ad ogni linea aerea MT in conduttori nudi è stato quindi attribuito un tempo di ritorno T_R definito come:

$$T_R = \frac{T_{R_km}}{L_{ab}}$$

In seguito (**punto B**), si è svolta una analisi della rete MT, del tutto analoga per ipotesi e modalità di svolgimento a quanto effettuato al punto D dello studio dei manicotti di ghiaccio e neve. Anche in questo caso lo studio ha mirato ad individuare, a partire da ciascuna Cabina Secondaria, ogni possibile percorso di alimentazione verso l’interfaccia AT in assetto di rete magliata.

Per ciascun percorso di alimentazione individuato si è quindi proceduto (**punto C**) a calcolarne il tempo di ritorno complessivo:

 energia vicina dal 1905	Piano di incremento della resilienza triennio 2022-2024	SRD
	Attuazione Articolo 77 del TIQE	Pagina 15 di 34

$$T_{R\text{ percorso}} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{T_{R,i}}}$$

Dove $T_{R,i}$ è il tempo di ritorno della i-esima tratta in serie lungo il percorso.

Tra tutti i percorsi disponibili per alimentare una data CS è preso quello con tempo di ritorno superiore (**punto D**), assumendo che, essendo questo il percorso con affidabilità maggiore, durante un evento meteorologico estremo, l'alimentazione della Cabina Secondaria sia garantita fintanto che il percorso in esame risulta operativo. Analogamente a quanto impostato per i manicotti di ghiaccio e neve, anche in questo caso il tempo di ritorno così ottenuto è il tempo di ritorno della CS.

5. Indici di resilienza del sistema elettrico Odoardo Zecca

Nel presente capitolo si riportano gli esiti delle analisi effettuate in merito alla valutazione degli indici di resilienza (tempi di ritorno e indici di rischio) della rete di distribuzione MT Odoardo Zecca. Dapprima sono presentati i risultati per singolo fattore critico, successivamente, gli stessi sono combinati a dare degli indici di rischio di resilienza globali della rete elettrica.

5.1. Fattore critico formazione di manicotti di ghiaccio e neve

La Figura 5 riporta la distribuzione delle tratte di linea in conduttore nudo del sistema elettrico in funzione del proprio tempo di ritorno per il fenomeno di formazione dei manicotti di ghiaccio e neve. L'analisi è stata impostata secondo quanto riportato alla precedente sezione 4.1 del documento. La Figura 6 mostra i tempi di ritorno delle linee elettriche sul territorio mediante scala colorimetrica. Ai tempi di ritorno inferiori corrisponde l'affidabilità peggiore: tale condizione si registra tipicamente in presenza di linee in conduttore nudo di sezione limitata.

Nella rete di distribuzione in analisi, circa il 31% delle tratte aeree è caratterizzata da un tempo di ritorno inferiore ai 50 anni. Queste sono relative a linee realizzate con corda in rame di sezione ≤ 20 mmq. Le aree del territorio che presentano le maggiori criticità da questo punto di vista sono le località costiere a Nord e Sud del comune di Ortona e alcune porzioni di rete in prossimità della frazione di Villa San Nicola.

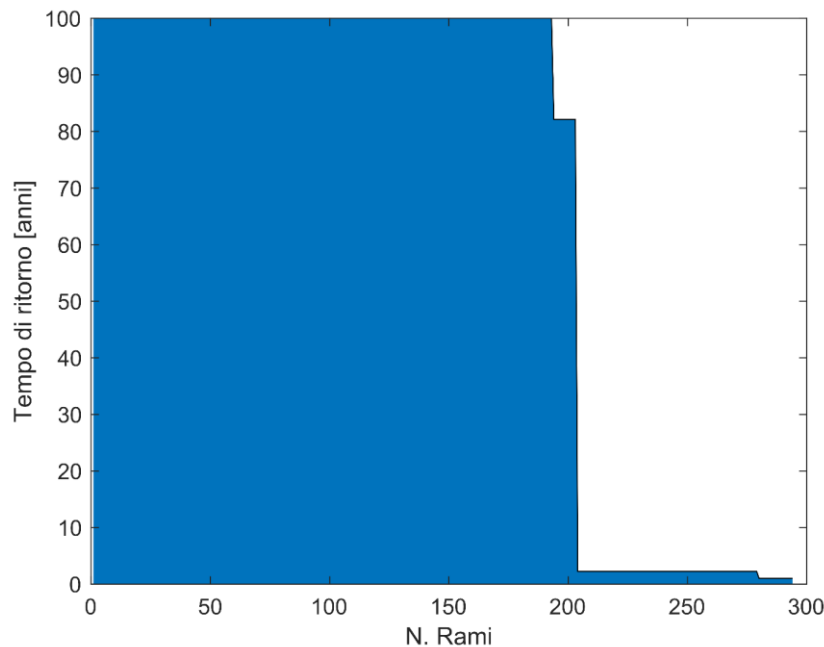


Figura 5. Distribuzione dei tempi di ritorno delle tratte di linea in conduttore nudo per i manicotti di ghiaccio e neve.

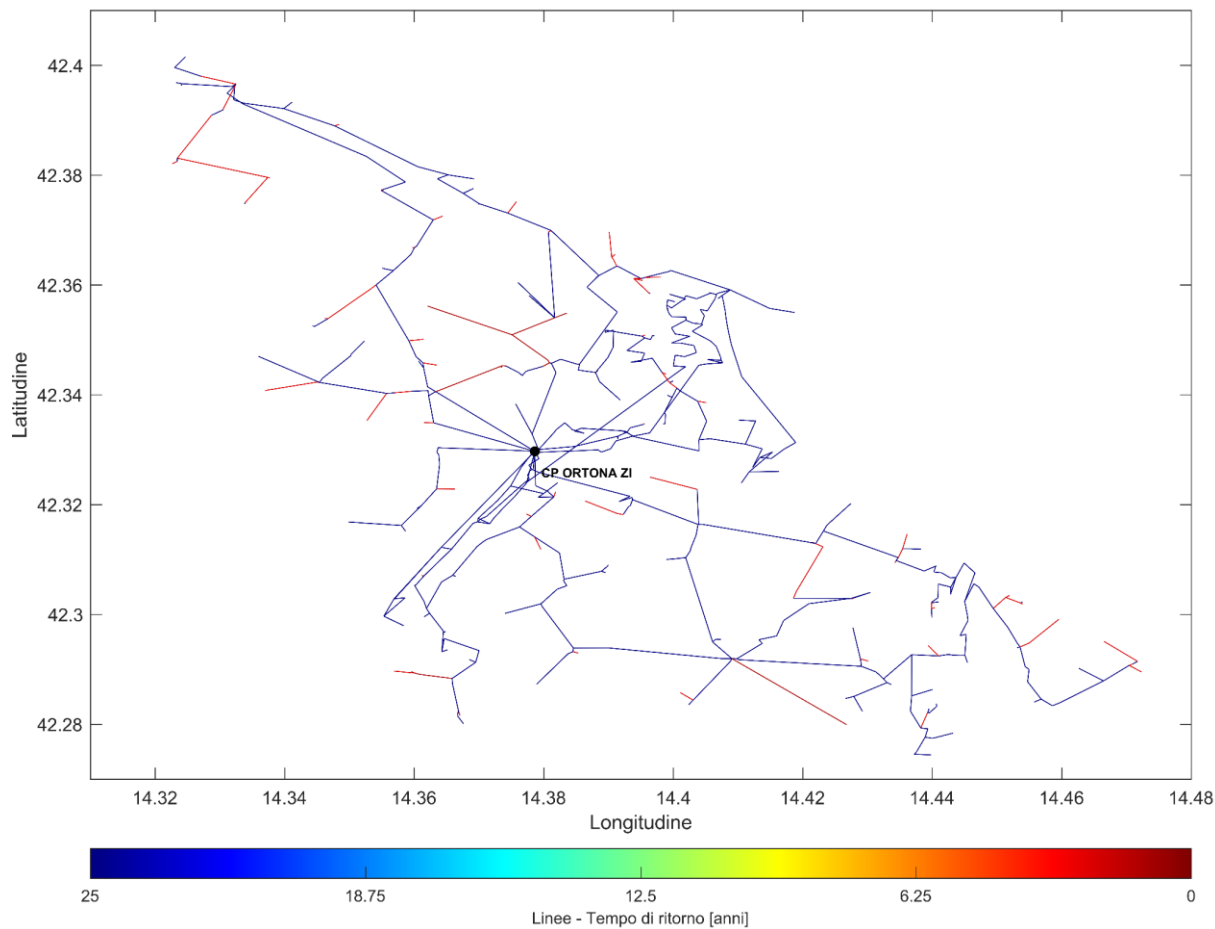


Figura 6. Tempi di ritorno delle linee elettriche per i manicotti di ghiaccio e neve.

La Figura 7 riporta la distribuzione dei tempi di ritorno delle Cabine Secondarie, mentre la Figura 8 mostra la distribuzione delle CS Odoardo Zecca colorate in funzione dei tempi di ritorno calcolati. Per circa il 68% delle CS si hanno tempi di ritorno superiori a 50 anni: in molti casi si tratta di cabine alimentate esclusivamente da linee in cavo, ubicate nelle aree del territorio maggiormente urbanizzate; altre sono invece CS sottese a linee aree di sezione con caratteristiche meccaniche pienamente adeguate al carico ghiaccio e neve atteso. In tutte queste situazioni si può affermare la pressoché totale assenza di problematiche per il fattore di rischio in analisi. Negli altri casi, invece, i tempi di ritorno inferiori ai 50 anni (e spesso anche <10 anni) sono indice di potenziali criticità. A riguardo, si sottolinea che, nel territorio in oggetto, l'altitudine ridotta e lo sviluppo della rete in area costiera fanno sì che l'azione del vento abbia un ruolo determinante in termini di sollecitazioni sui conduttori.

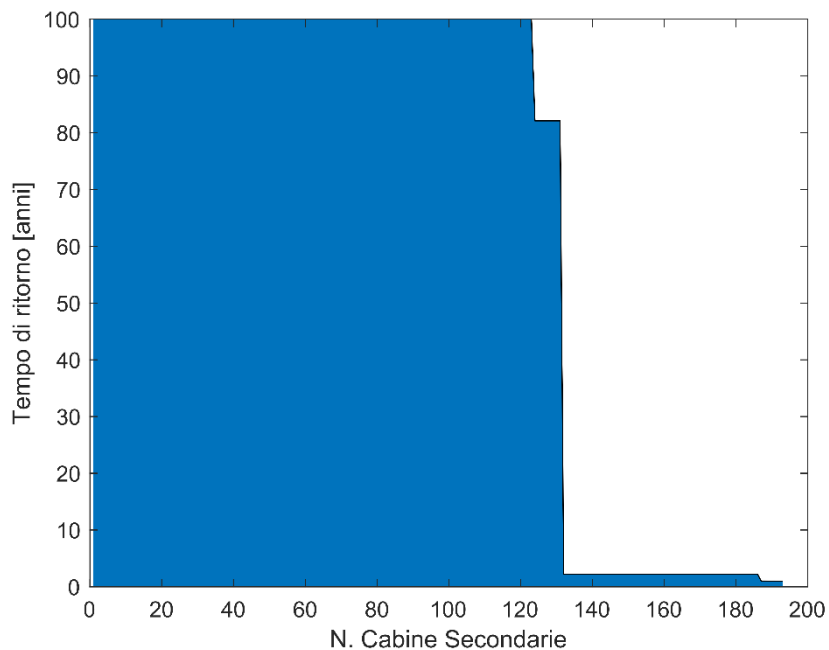


Figura 7. Distribuzione dei tempi di ritorno delle Cabine Secondarie per i manicotti di ghiaccio e neve.

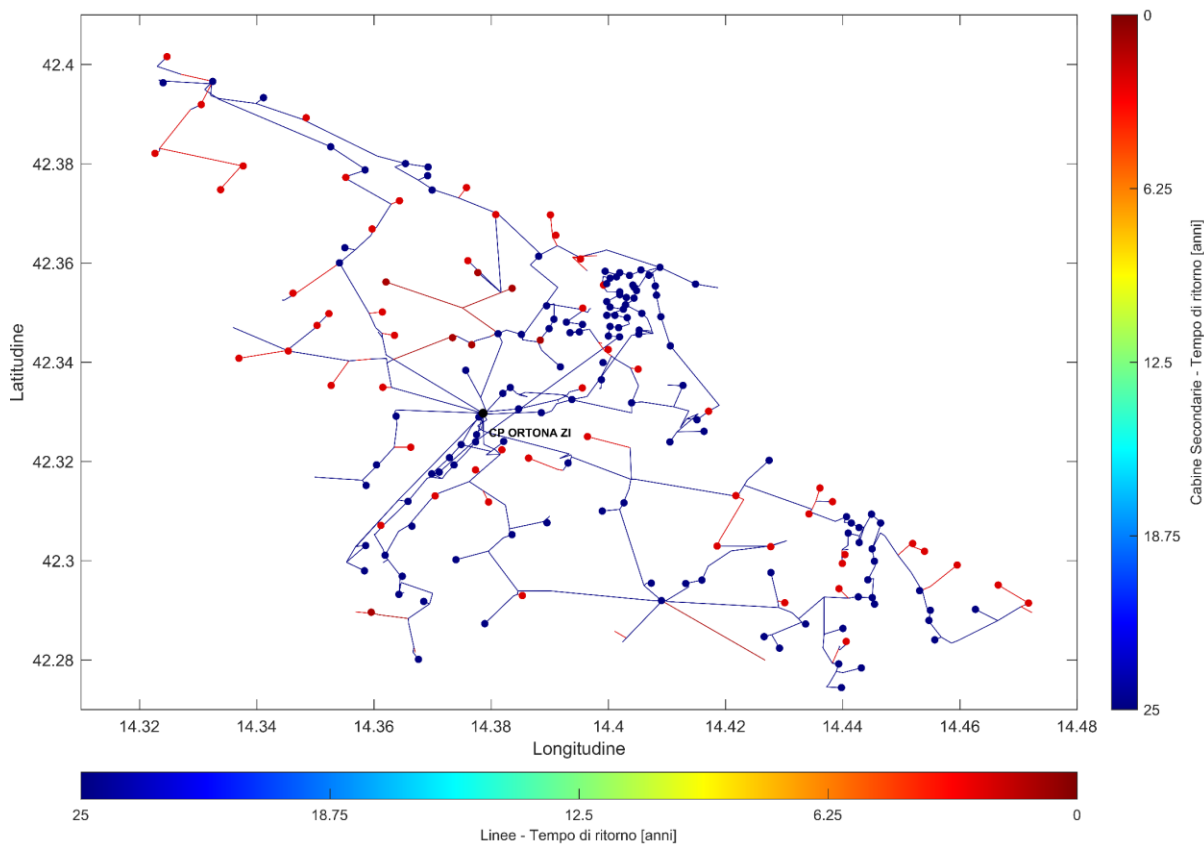


Figura 8. Tempi di ritorno delle Cabine Secondarie per i manicotti di ghiaccio e neve.

In Figura 9 si riporta infine la distribuzione degli indici di rischio per ciascuna Cabina Secondaria (IR_{CS}) per i manicotti di ghiaccio e neve, mentre la Figura 10 e Figura 11 mostrano, con scala colorimetrica, gli indici di

rischio distribuiti nell'area di Ortona. Dato che il parametro IR_{CS} è calcolato come rapporto tra il numero di utenti e i tempi di ritorno, le zone maggiormente critiche sono quelle densamente popolate raggiunte da linee elettriche con affidabilità relativamente modesta. In generale, quindi, CS caratterizzate da tempi di ritorno limitati e con scarso numero di utenti potrebbero non ricadere tra quelle che necessitano prioritariamente di interventi; viceversa, CS meglio servite potrebbero manifestare indici di rischio elevati in ragione del numero di utenti BT sottesi.

Dalla Figura 9 si trae come il rischio di disalimentazione per il fenomeno in esame incida marcatamente su un numero ridotto di Cabine Secondarie: le 19 CS più critiche (10% del totale), rappresentate a sinistra in figura, coprono da sole circa il 58% del totale indice di rischio della rete. Queste sono tendenzialmente CS ubicate nelle zone periferiche del comprensorio urbano di Ortona, spesso nelle località costiere dove la magliatura della rete è meno fitta.

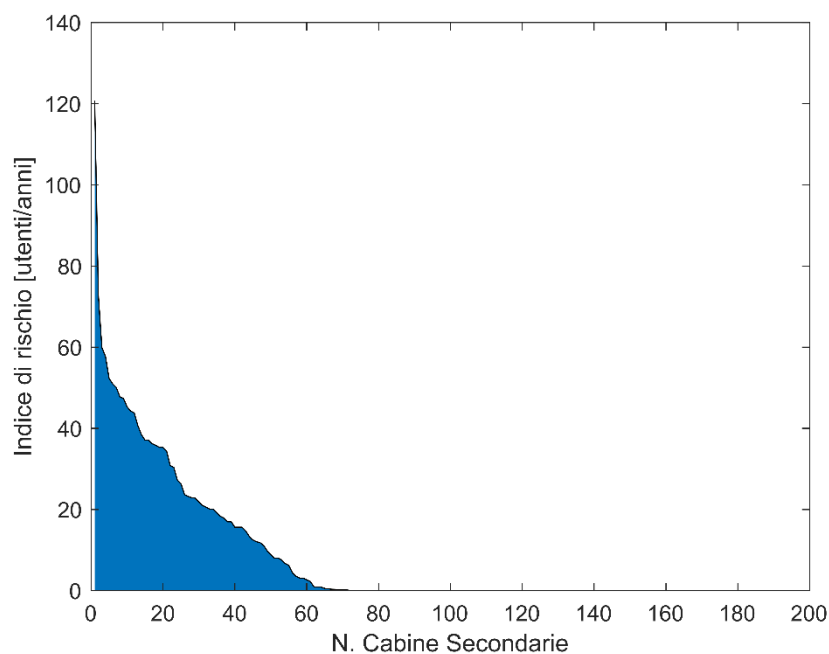


Figura 9. Distribuzione degli indici di rischio delle Cabine Secondarie per i manicotti di ghiaccio e neve.

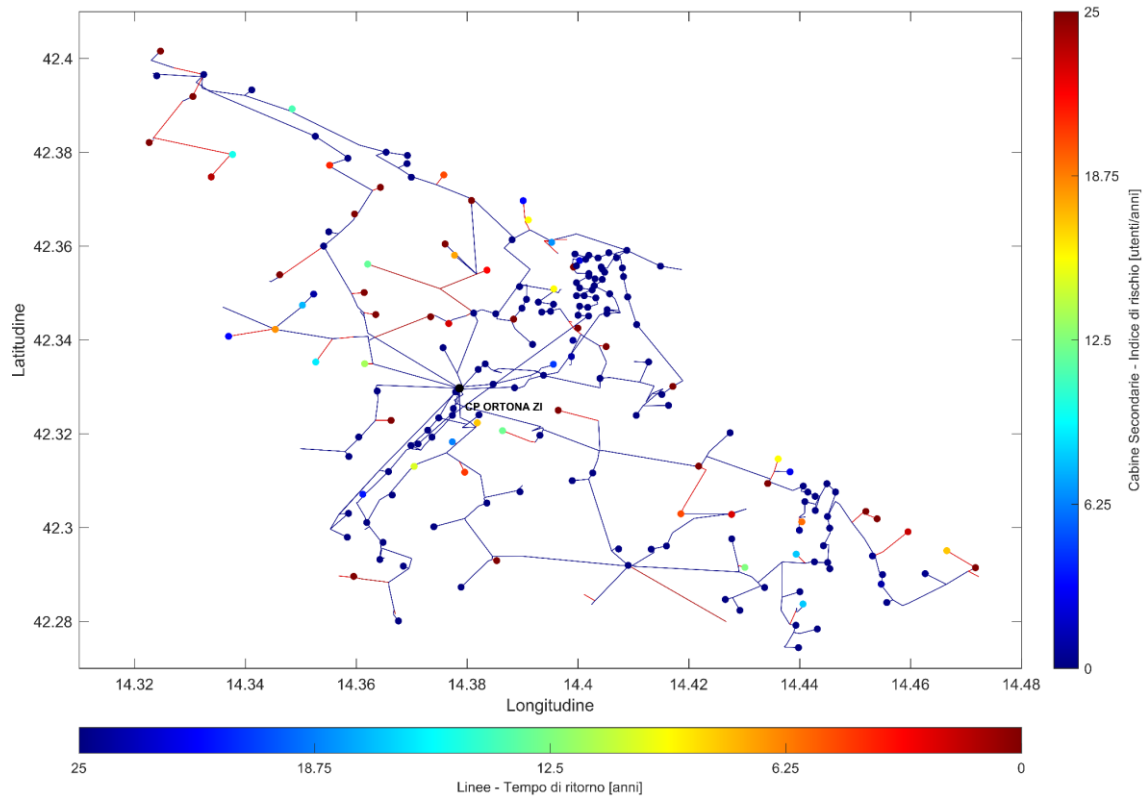


Figura 10. Indici di rischio delle Cabine Secondarie per i manicotti di ghiaccio e neve.

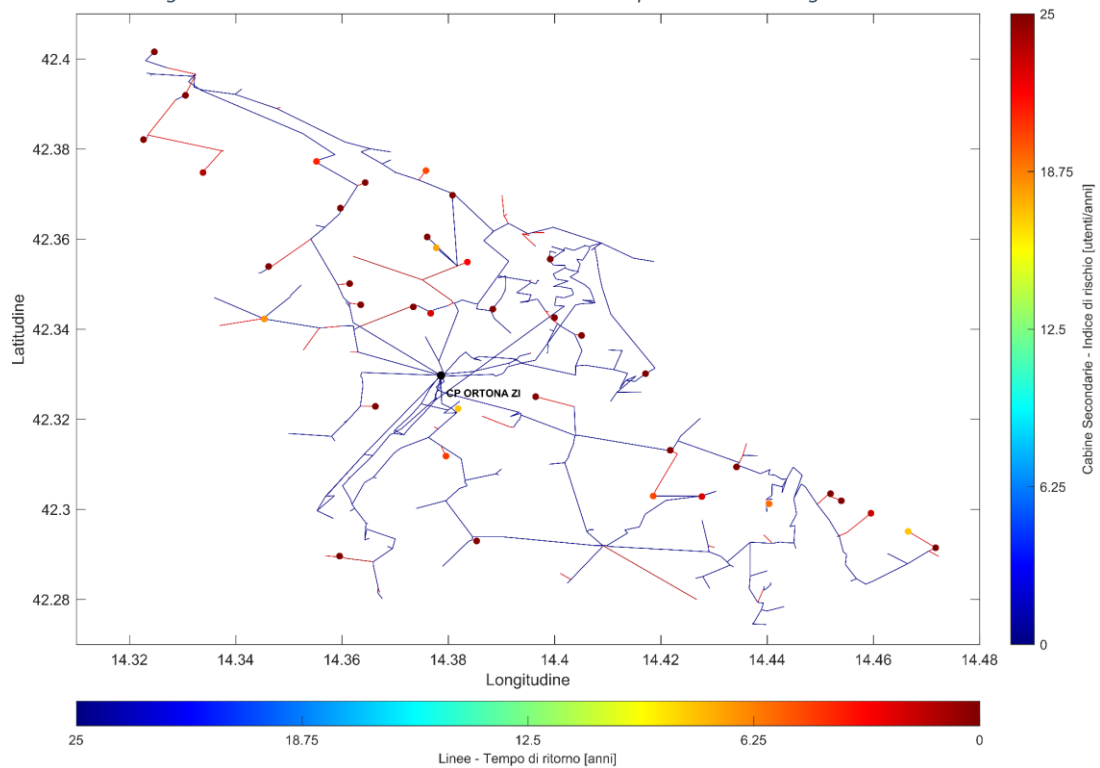


Figura 11. Cabine Secondarie con gli indici di rischio per i manicotti di ghiaccio e neve maggiori (20% del totale).

5.2. Fattore critico caduta alberi fuori fascia

La valutazione del rischio associato alla caduta alberi fuori fascia sulle linee elettriche ha richiesto di individuare le linee elettriche aeree del sistema elettrico Odoardo Zecca che si sviluppano all'interno di aree boschive. A tale scopo, sono stati reperiti i dati di forestazione elaborati dal servizio cartografico della Regione Abruzzo, resi disponibili nell'ambito del progetto *opendata.regione.abruzzo.it* e liberamente accessibili (<http://opendata.regione.abruzzo.it/>).

All'interno del portale, i dati di forestazione sono disponibili suddivisi in base alle diverse specie forestali presenti nella regione in analisi. Si è quindi proceduto a filtrare i dati, includendo le sole specie aventi incidenza sui guasti delle linee elettriche. In particolare, ai fini delle analisi in oggetto, sono stati considerati i seguenti tipi forestali, la cui distribuzione sul territorio è rappresentata nella successiva Figura 12:

- Castagneti
- Cerrete
- Conifere varie, pure o miste
- Faggete
- Formazioni riparie
- Latifoglie varie, pure o miste
- Leccete
- Orno-ostrieti
- Pineta di Villetta Barrea
- Pineta naturale di Pino nero di Villetta Barrea
- Querceti di Roverella
- Robiniato-aillanteti



Figura 12. Distribuzione dei tipi forestali considerati ai fini della valutazione del rischio associato alla caduta alberi fuori fascia.

I dati raccolti sono stati incrociati con i dati di consistenza della rete elettrica, individuando, per ciascuna tratta di linea, la percorrenza in aree boschive (in rosso in Figura 13). In generale, le aree coperte da vegetazione interessano le zone del territorio meno densamente popolate. Tuttavia, la vegetazione ricopre anche diverse porzioni di territorio in prossimità dei centri urbani (benché queste non risultino particolarmente estese). In alcuni casi, si ha quindi una certa promiscuità tra infrastruttura elettrica e aree boschive, che può comportare problemi sotto il profilo della resilienza.

Seguendo la procedura di cui al punto A della Sezione 4.2, ad ogni tratta è stato assegnato un tempo di ritorno dell'evento di guasto correlato al fenomeno della caduta alberi. Essendo il territorio in analisi essenzialmente pianeggiante (quota massima 200 m slm circa), l'altitudine di posa delle linee risulta di fatto ininfluenza nella valutazione del rischio.

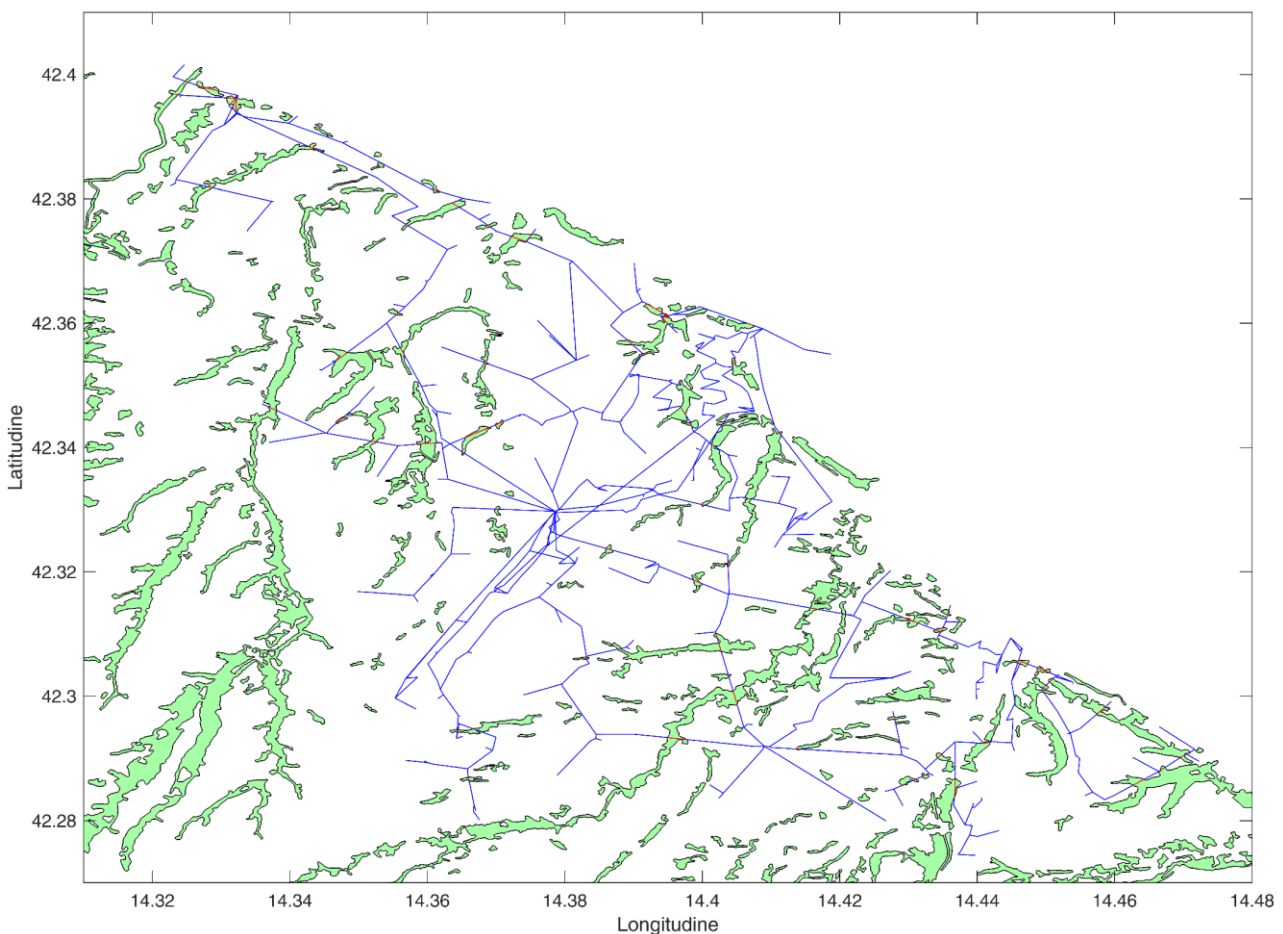


Figura 13. Linee elettriche all'interno (rosso) ed esterno (blu) delle aree boschive.

La Figura 14 mostra la distribuzione dei tempi di ritorno delle Cabine Secondarie per il fattore critico considerato. In circa il 40% dei casi, il tempo di ritorno risulta inferiore a 50 anni, il che è indice di possibile scarsa resilienza del sistema rispetto al fattore di rischio in analisi. Solo in un numero molto ridotto di casi (circa il 5%), il tasso di accadimento dei guasti è tale da essere considerato potenzialmente critico ($T_R < 10$ anni).

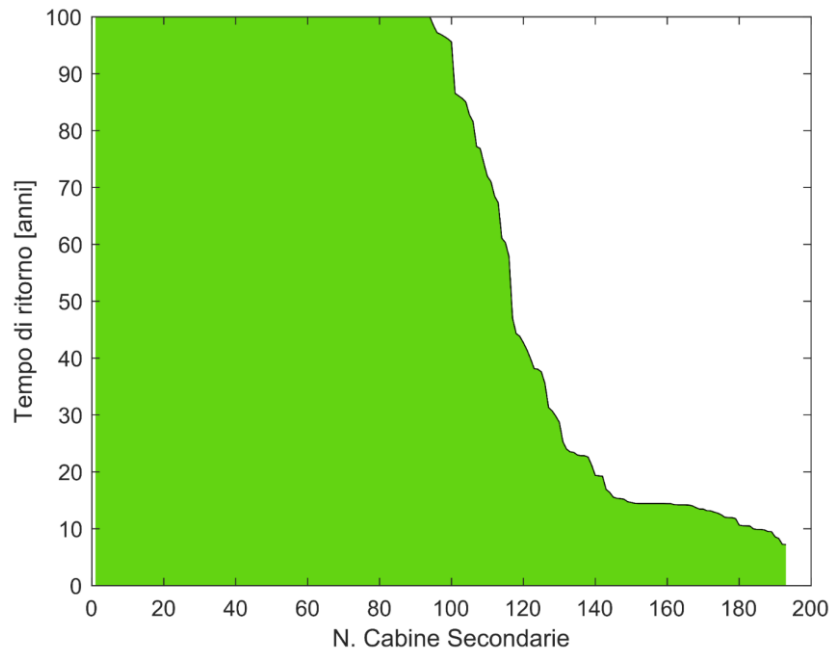


Figura 14. Distribuzione dei tempi di ritorno delle Cabine Secondarie per caduta alberi fuori fascia.

Come desumibile dalla Figura 15, le CS interessate in modo marcato dal fenomeno sono localizzate a Nord e Sud del centro urbano di Ortona, ovvero nelle aree dove si hanno più attraversamenti in area boschiva dei cavidotti aerei.

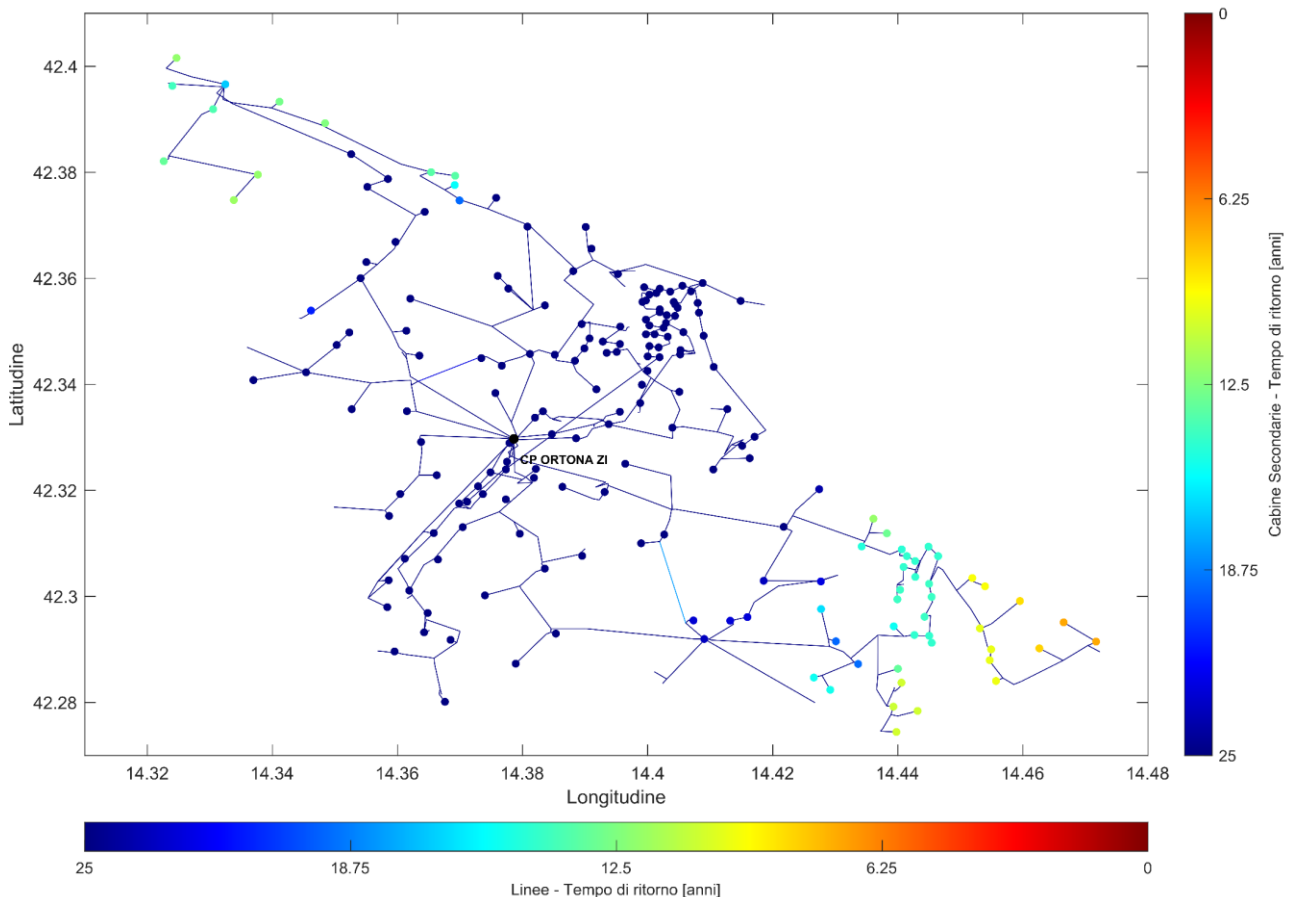


Figura 15. Tempi di ritorno delle Cabine Secondarie per caduta alberi fuori fascia.

Gli indici di rischio delle Cabine Secondarie sono calcolati, come già introdotto, come rapporto tra il numero degli utenti BT sottesi e i tempi di ritorno dell'evento interruttivo. In particolare, la Figura 16 mostra le CS Odoardo Zecca con almeno un utente BT ordinate in funzione dell'indice di rischio per caduta piante, mentre la Figura 17 e Figura 18 raffigurano le CS sul territorio (rispettivamente, tutte le CS e il 20% delle CS peggiori). I nodi della rete MT che presentano il rischio maggiore coincidono indicativamente con quelli aventi i tempi di ritorno più limitati, che alimentano le zone periferiche del sistema elettrico.

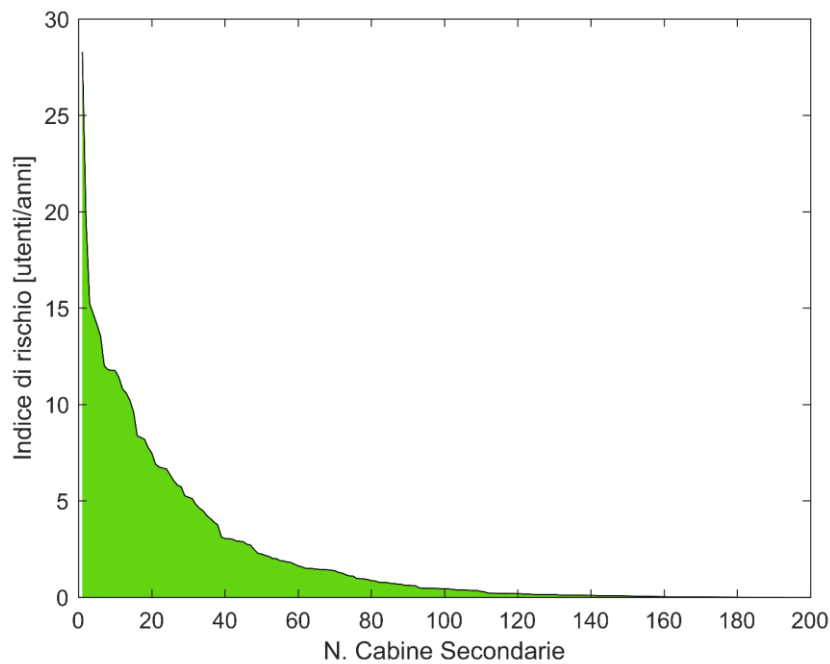


Figura 16. Distribuzione degli indici di rischio per caduta alberi fuori fascia delle Cabine Secondarie.

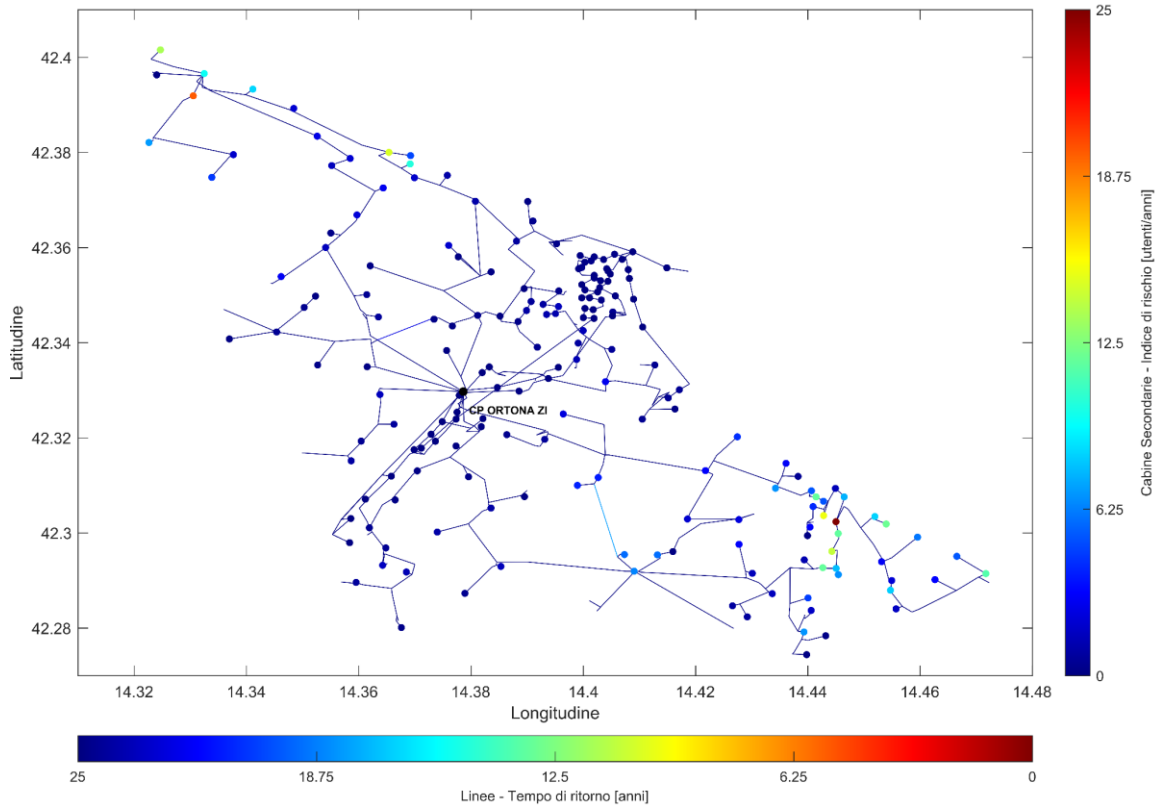


Figura 17. Indici di Rischio delle Cabine Secondarie per caduta alberi fuori fascia.

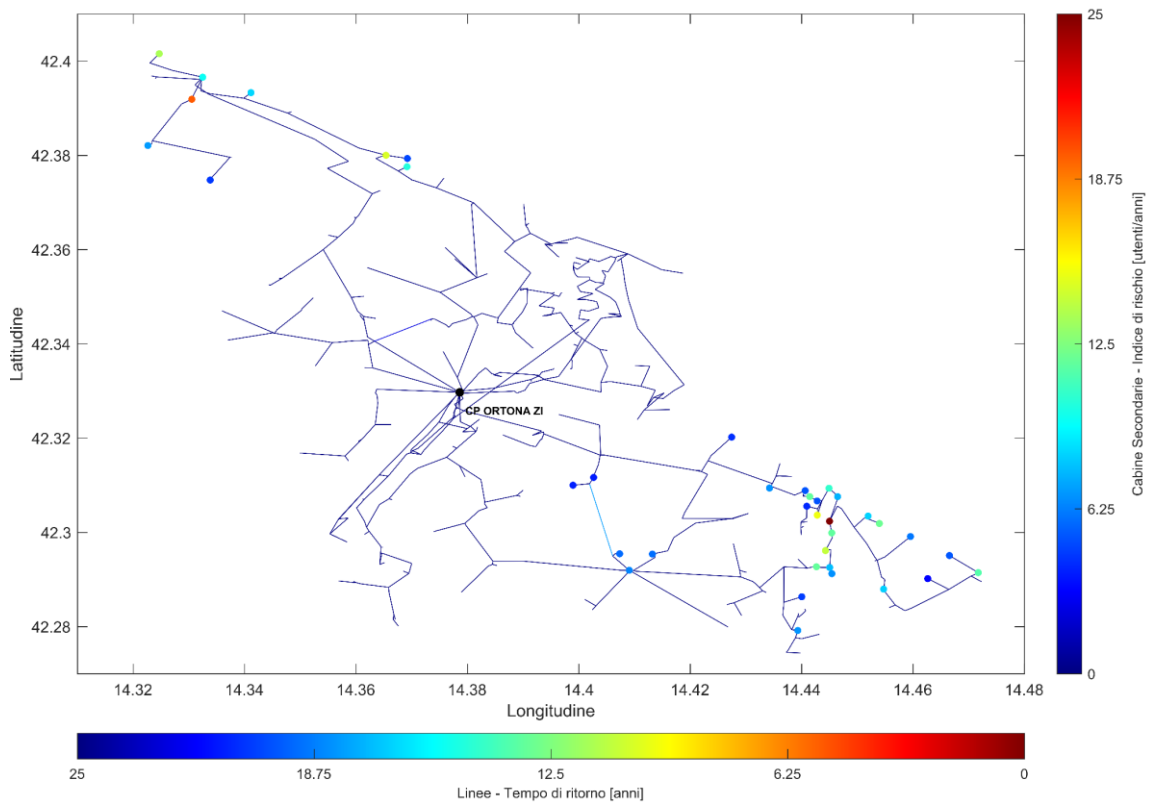


Figura 18. Cabine Secondarie con gli indici di rischio per caduta alberi fuori fascia maggiori (20% del totale).

5.3. Indici di rischio complessivi

A partire dagli indicatori per singolo fattore critico, calcolati tramite le formule riportate alla sezione 4, sono infine determinati i tempi di ritorno e gli indici di rischio complessivi delle Cabine Secondarie.

Il tempo di ritorno combinato (manicotti + caduta alberi) risulta, per ovvie ragioni, sempre inferiore al T_R calcolato per il singolo fenomeno. In Figura 19 si ha l'ordinamento delle CS in funzione del tempo di ritorno complessivo, saturando il tempo di ritorno massimo a 100 anni. Il fenomeno di formazione dei manicotti di ghiaccio e neve risulta essere per la rete Odoardo Zecca il fattore di rischio largamente preponderante, quindi l'andamento della distribuzione dei tempi di ritorno riflette in larga misura quello ottenuto per i manicotti (specie per le CS che presentano i T_R inferiori). Dalla combinazione dei due fenomeni considerati, si ottiene un $T_R < 50$ anni per circa il 58% delle CS, mentre circa il 34% delle CS manifesta $T_R < 10$ anni (considerando i soli manicotti di ghiaccio e neve, la percentuale si attestava a circa il 32%).

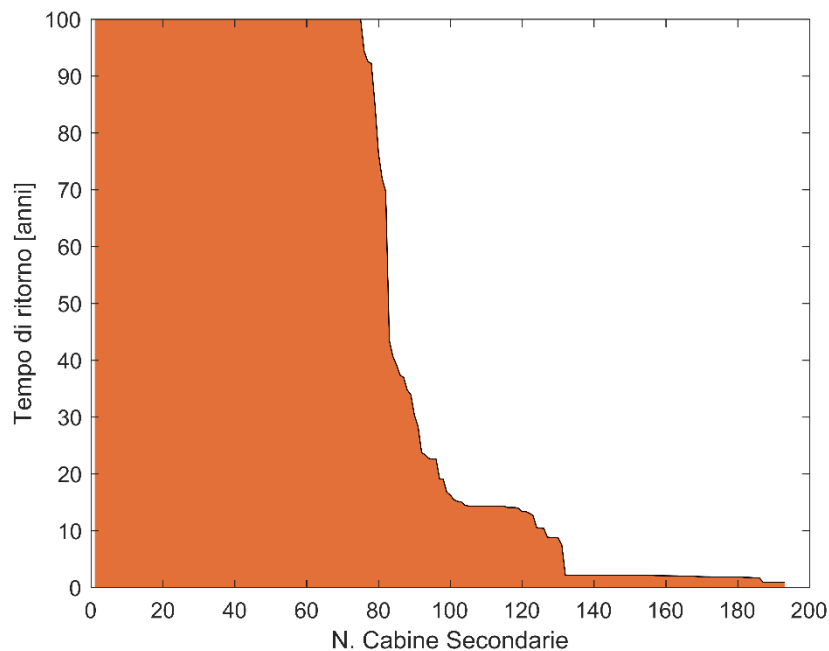


Figura 19. Distribuzione dei tempi di ritorno complessivi delle Cabine Secondarie.

Dalla Figura 20 si può trarre nuovamente come le cabine con i tempi di ritorno più ridotti siano tipicamente quelle localizzate sulla fascia costiera al di fuori della zona urbana di Ortona, dove la rete è realizzata in conduttore nudo.

Il grafico in Figura 21, dove sono riportati gli indici di rischio globali delle Cabine Secondarie dando separata evidenza dei singoli fenomeni (manicotti di ghiaccio/neve in blu e caduta alberi in verde), evidenzia nuovamente il contributo preponderante del fenomeno di formazione dei manicotti di ghiaccio e neve rispetto alla caduta alberi. Dalla Figura 22 e Figura 23 è possibile trarre l'ubicazione geografica delle CS caratterizzate da indici di rischio più elevati.

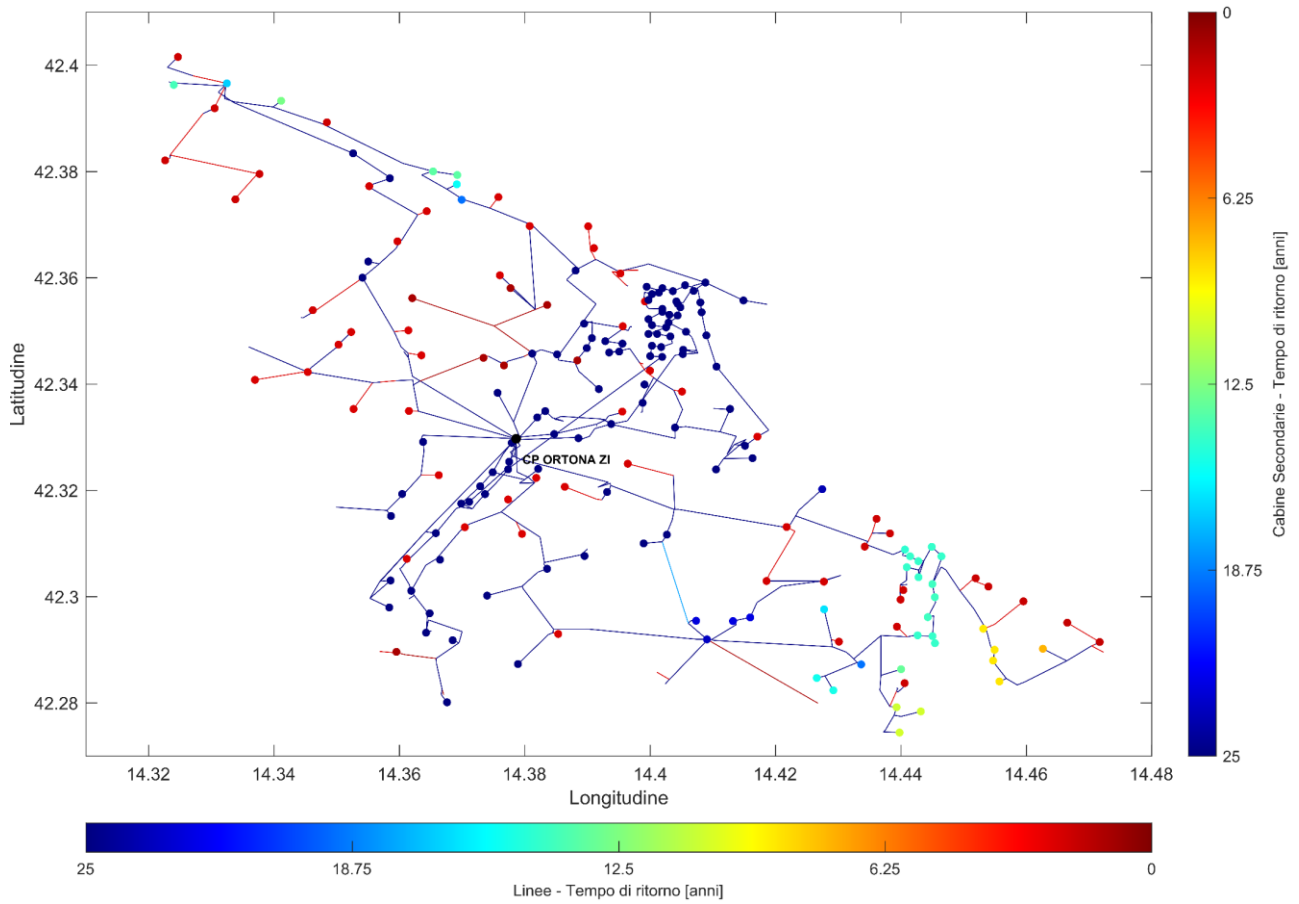


Figura 20. Tempi di ritorno complessivi delle Cabine Secondarie.

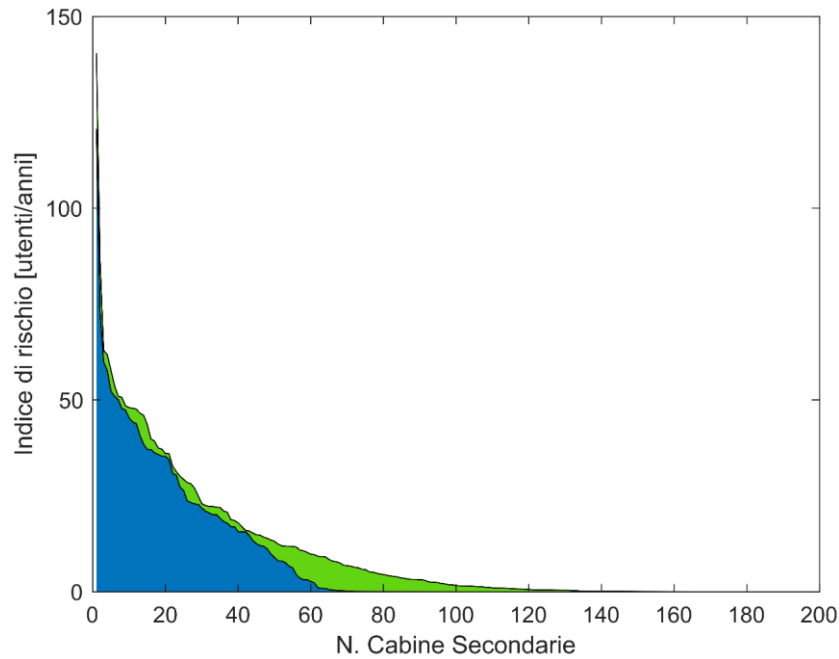


Figura 21. Distribuzione degli indici di rischio complessivi delle Cabine Secondarie (in blu per manicotti di ghiaccio e neve; in verde per caduta alberi fuori fascia).

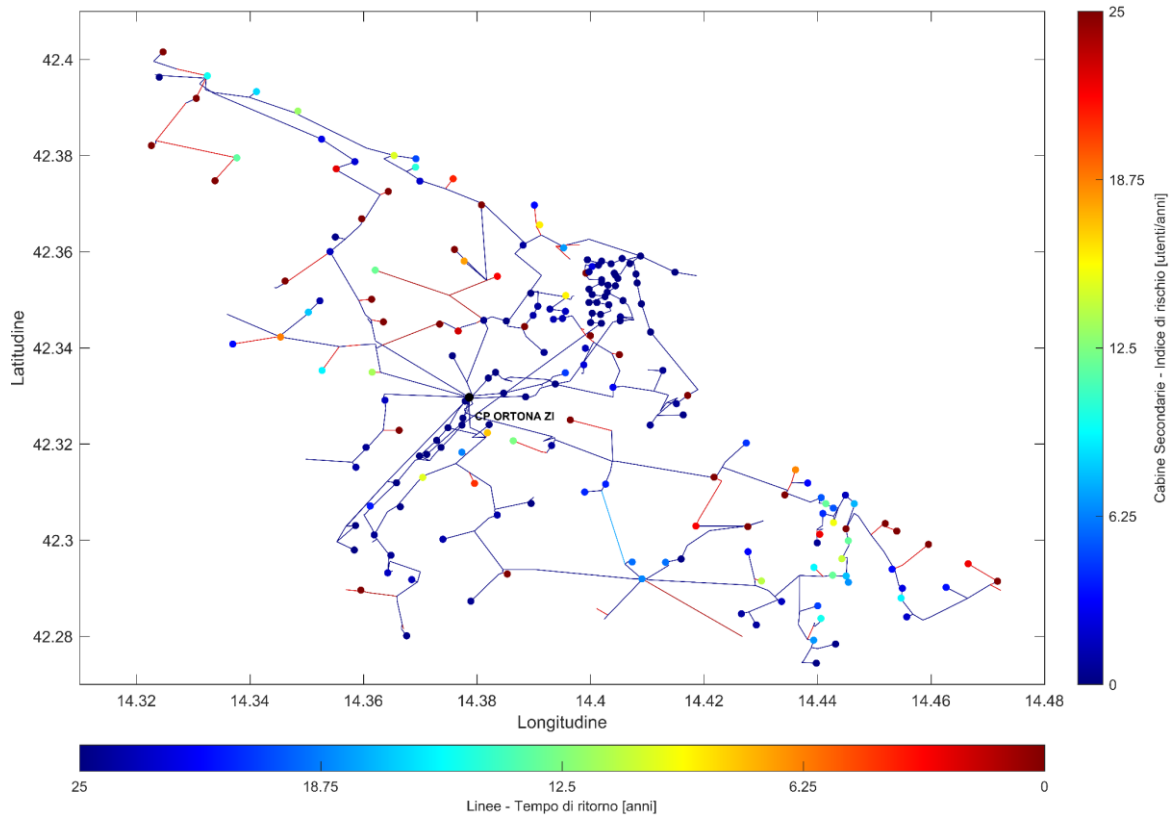


Figura 22. Indici di rischio complessivi delle Cabine Secondarie.

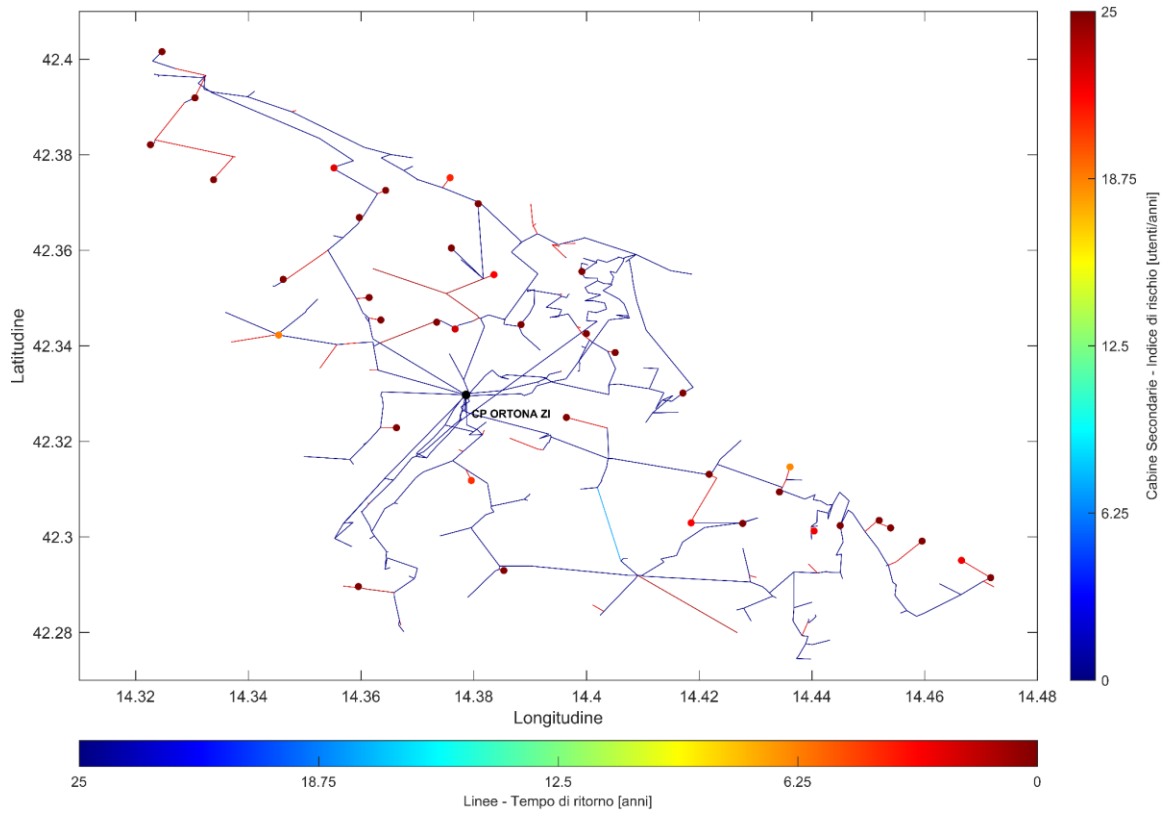


Figura 23. Cabine Secondarie con gli indici di rischio complessivi maggiori (20% del totale).

La Tabella 4 e la Tabella 5 forniscono gli indici di rischio aggregati, rispettivamente, a livello di semisbarre e linee MT della CP Ortona. L'aggregazione è stata effettuata, conformemente alle linee guida dell'Autorità, sommando gli IR_{CS} delle cabine presenti nella porzione di rete considerata.

Per il dettaglio degli indicatori calcolati sulle singole Cabine Secondarie si rimanda invece all'Allegato A del piano.

L'Allegato B del documento riporta il dettaglio, per ciascuno dei feeder di Tabella 5, dell'ubicazione delle relative CS e dei rispettivi indici di rischio.

Cabina Primaria	Semisbarra	Indice di rischio cumulato manicotti [anni ⁻¹]	Indice di rischio cumulato caduta alberi [anni ⁻¹]	Indice di rischio cumulato complessivo [anni ⁻¹]
ORTONA ZI	SSV	1459,68	424,11	1883,79
ORTONA ZI	SSR	169,80	18,60	188,39

Tabella 4. Indici di rischio di disalimentazione delle CS cumulati per semisbarra MT.

Cabina Primaria	Semisbarra	Linea MT	Indice di rischio cumulato manicotti [anni ⁻¹]	Indice di rischio cumulato caduta alberi [anni ⁻¹]	Indice di rischio cumulato complessivo [anni ⁻¹]
ORTONA ZI	SSV	S. VITO	368,72	202,36	571,08
ORTONA ZI	SSV	ALSA	405,18	49,57	454,74
ORTONA ZI	SSV	TAMARETE	273,96	71,35	345,31
ORTONA ZI	SSV	S. APOLLINARE	189,06	95,43	284,49
ORTONA ZI	SSV	MENE'	162,61	1,99	164,60
ORTONA ZI	SSR	AUTOSTRADA	129,91	14,95	144,86
ORTONA ZI	SSV	ZECCA	60,04	1,81	61,85
ORTONA ZI	SSR	VILLAGRANDE	35,40	3,48	38,89
ORTONA ZI	SSR	ARTIGIANALE	4,48	0,07	4,55
ORTONA ZI	SSV	SAMPUTENSILI	0,12	1,59	1,71
ORTONA ZI	SSR	ARTSANA	0,00	0,09	0,09
ORTONA ZI	SSR	RADAR	0,01	0,00	0,01
ORTONA ZI	SSV	EMME ESSE	0,00	0,00	0,00

Tabella 5. Indici di rischio di disalimentazione delle CS cumulati per linea MT (per la distribuzione geografica delle CS si veda l'Allegato B).

6. Interventi di sviluppo e potenziamento finalizzati ad incrementare la resilienza di rete

Le valutazioni di cui ai capitoli precedenti hanno consentito di individuare le situazioni all'interno della rete di distribuzione di Ortona e San Vito Chietino che presentano le maggiori criticità correlate a scarsa resilienza. Queste sono principalmente legate al fenomeno di formazione di manicotti di ghiaccio e neve sugli elettrodotti aerei, come anche confermato dalle evidenze storiche raccolte sul campo. Dalle analisi effettuate, in particolare, le porzioni di rete con il maggior grado di vulnerabilità sono quelle costituite da tratte in corda di sezione limitata (≤ 20 mmq).

In accordo alle considerazioni di cui sopra, al fine di sanare una prima serie di criticità riscontrate sulla rete, Odoardo Zecca ha selezionato la lista di interventi di sviluppo e potenziamento riportati nella seguente Tabella 6.

Codice Univoco Intervento	Nome e codice linea	Principale fattore di rischio	Titolo	Descrizione	Costi previsti (k€)	Semestre di inizio/fine previsto
Zecca_001_2022	S. VITO - 46408	Formazione di manicotti di ghiaccio o neve (wet snow)	Rifacimento dorsale MT S.Vito (46408) e collegamento entra-esci presso CS Garden 1 (261323). Inserimento nuova CS tra cab. San Vito Marina (261321) e cab. San Vito (261324).	L'intervento consiste nel rifacimento completo dell'attuale linea in conduttori nudi nel tratto da cab. S.Vito al nodo 461322 e nel tratto dal nodo 461313 alla cab. Giardino 264192 e inserimento in entra-esci della CS Garden 1. Previsto inoltre l'inserimento di una nuova CS tra cab. San Vito Marina e cab. San Vito.	250	II-2022 / II-2024
Zecca_002_2022	TAMARETE - 46402	Formazione di manicotti di ghiaccio o neve (wet snow)	Rifacimento tratto di linea MT Tamarete (46402) da Cabina Faber (264353) a PTP Fonte grande (260548). Potenziamento derivazione verso PTP S.Pietro.	L'intervento consiste nella sostituzione degli attuali 230 m di fili nudi con cavo aereo 50 AL. Sostituzione cavo in cond. da 16 mmq a cavo in cond. nudi da 25 CU dal nodo 460567 a nodo 460568 (deriv. Verso PTP San Pietro).	25	II-2023 / II-2024
Zecca_003_2022	ALSA - 46403	Formazione di manicotti di ghiaccio o neve (wet snow)	Collegamento in entra-esci di cab. Lazzaretto (260577) e rifacimento derivazione fino a PTP Granciaro (260576).	L'intervento consiste nella connessione della cabina Lazzaretto in entra-esci tramite doppia terna in cavo e rifacimento completo del tratto di linea derivata fino a PTP Granciaro.	180	I-2023 / II-2024
Zecca_004_2022	AUTOSTRADA - 46413	Formazione di manicotti di ghiaccio o neve (wet snow)	Trasformazione PTP M.degli Angeli (265233) in CS con entra-esci e sostituzione conduttori nudi con cavo aereo.	L'intervento consiste nella trasformazione del PTP M.degli Angeli in CS di tipo BOX, con inserimento in entra-esci e sostituzione conduttori nudi con cavo aereo 50 AL fino al nodo 460597.	40	II-2022 / I-2023
Zecca_005_2022	ZECCA - 46401	Formazione di manicotti di ghiaccio o neve (wet snow)	Realizzazione dell'alimentazione in entra-esci cab. Tugli (265265) e Edilnenna (265264) sulla linea MT Zecca (46401).	L'intervento prevede la connessione in entra-esci di due cabine attigue del centro cittadino di Ortona attualmente connesse in antenna. L'intervento prevede inoltre la cavizzazione delle linee alimentanti attualmente aeree in conduttore nudo.	80	II-2022 / I-2023
Zecca_006_2022	MENE' - 46416	Formazione di manicotti di ghiaccio o neve (wet snow)	Rifacimento tratto di linea da sez. S.Giuliano (360604) a PTP S.Giuliano (260609).	L'attività consiste nella sostituzione degli attuali fili nudi 12CU in treccia di rame da 25 mmq.	30	II-2023 / II-2024

Tabella 6. Interventi di sviluppo e potenziamento proposti.

La Tabella 7 riporta un confronto tra gli indicatori di resilienza ante e post-intervento per gli interventi proposti. Gli indicatori sono stati calcolati aggregando gli indici delle singole Cabine Secondarie che

beneficiano dai lavori di potenziamento (riportate all'Allegato C). Ai fini del calcolo sono state impiegate le seguenti espressioni:

$$IR = \sum_{n=1}^N IR_{CS,n}$$

$$T_R = \frac{N_{UD\ TOT}}{\sum_{n=1}^N \frac{N_{UD\ CS,n}}{T_{R\ CS,n}}}$$

Codice Univoco	Codice linea/e di distribuzione	Indice di Rischio pre-intervento [anni ⁻¹]	Tempo di Ritorno pre-intervento [anni]	Indice di Rischio post-intervento [anni ⁻¹]	Tempo di Ritorno post-intervento [anni]
Zecca_001_2022	S. VITO 46408	126,71	2,89	28,27	12,94
Zecca_002_2022	TAMARETE 46402	109,80	1,66	2,17	84,00
Zecca_003_2022	ALSA 46403	168,59	1,92	14,91	21,67
Zecca_004_2022	AUTOSTRADA 46413	39,86	2,16	1,45	59,48
Zecca_005_2022	ZECCA 46401	60,24	5,26	0,11	2941,18
Zecca_006_2022	MENE' 46416	59,00	1,00	0,33	181,01

Tabella 7. Indicatori di resilienza pre e post-intervento complessivi di intervento.

L'efficacia degli interventi di potenziamento nel sanare la scarsa resilienza di rete è stata verificata andando a svolgere per ciascun progetto una analisi costi-benefici impostata secondo i criteri definiti dalle delibere ARERA. In particolare, i benefici sono stati valutati andando a considerare le seguenti voci di cui alla Scheda n.7 del TIQE:

- Beneficio B1
 - minori costi per riduzione delle interruzioni dovute a formazione dei manicotti di ghiaccio e neve (condizioni di emergenza)
 - minori costi per riduzione delle interruzioni dovuta a caduta alberi (condizioni di emergenza)
- Beneficio B2
 - minori costi per interventi di riparazione sulle linee elettriche (condizioni di emergenza)

In via cautelativa, si è ritenuto di trascurare l'effetto degli interventi su altre voci di beneficio.

I benefici annui attesi ottenuti in esito alle valutazioni effettuate sono riportati in Tabella 8. Per il calcolo delle diverse quantità economiche si sono impiegati i parametri in Tabella 9, determinati in accordo alle disposizioni dell'ARERA (valorizzazione energia non servita, durata media convenzionale guasti in emergenza), piuttosto che ricavati dalle esperienze di esercizio (energia media oraria utenti, costo medio di riparazione dei guasti).

Codice Univoco	Codice linea/e di distribuzione	Beneficio B1 [€/anno]	Beneficio B2 [€/anno]	Beneficio B3 [€/anno]	Beneficio B4 [€/anno]	Beneficio B5 [€/anno]
Zecca_001_2022	S. VITO 46408	30.491,99	1.700,18	0	0	0
Zecca_002_2022	TAMARETE 46402	14.822,01	200,71	0	0	0
Zecca_003_2022	ALSA 46403	15.167,30	3.839,42	0	0	0
Zecca_004_2022	AUTOSTRADA 46413	5.215,66	484,00	0	0	0
Zecca_005_2022	ZECCA 46401	8.020,37	29,47	0	0	0
Zecca_006_2022	MENE' 46416	23.787,86	3.496,46	0	0	0

Tabella 8. Benefici annui attesi dagli interventi proposti.

Valorizzazione energia non servita [€/kWh]	Utenti domestici	12
	Utenti non domestici	54
Durata convenzionale guasti in condizioni di emergenza [h]		16
Energia media oraria utenti (per unità di potenza) [kWh/(h*kW)]	Utenti BT domestici	0,061535
	Utenti BT non domestici	0,103752
	Utenti MT	0,342068
Costo medio di riparazione guasti su cavidotti aerei [€/guasto]		3000

Tabella 9. Parametri adottati ai fini dei calcoli dei benefici.

Il Beneficio B1 di cui alla Tabella 8 è stato determinato andando a calcolare, per ogni nodo della rete, una “potenza interrotta” ($P_{INT\ CS}$) definita come rapporto tra la potenza contrattuale (P_U) degli utenti sottesi al nodo di una data tipologia (BT domestico, BT non domestico, MT) e il tempo di ritorno dell’evento interruttivo che interessa il nodo per il fattore di rischio considerato:

$$P_{INT\ CS,n} = \frac{1}{T_{R\ CS,n}} \sum_{m=1}^M P_{U,m}$$

La “potenza interrotta” complessiva a livello di intervento (P_{INT}) è ottenuta come sommatoria delle potenze relative alle singole cabine beneficiarie:

$$P_{INT} = \sum_{n=1}^N P_{INT\ CS,n}$$

Il beneficio è quindi calcolato con l’espressione che segue, iterata per ciascuna tipologia di utente (BT domestico, BT non domestico, MT) e per ciascun fattore di rischio (manicotti di ghiaccio/neve e caduta alberi):

$$B = (P_{INT\ ANTE} - P_{INT\ POST}) \cdot E_h \cdot C_{ENS} \cdot D$$

Dove:

- $P_{INT\ ANTE}$ e $P_{INT\ POST}$ è la “potenza interrotta” aggregata per intervento calcolata rispettivamente negli scenari ante e post (Tabella 10);
- E_h è l’energia media oraria per la tipologia di utenti considerata (Tabella 9);

- C_{ENS} è la valorizzazione oraria dell'energia non servita (Tabella 9);
- D è la durata convenzionale del guasto (Tabella 9).

Codice Univoco	Manicotti di ghiaccio e neve						Caduta alberi					
	Utenti BT domestici		Utenti BT non domestici		Utenti MT		Utenti BT domestici		Utenti BT non domestici		Utenti MT	
	Ante	Post	Ante	Post	Ante	Post	Ante	Post	Ante	Post	Ante	Post
Zecca_001_2022	260,54	0,48	70,99	0,17	62,60	0,06	114,03	83,69	39,59	29,38	14,74	10,29
Zecca_002_2022	318,34	0,18	123,52	0,10	0,00	0,00	5,99	6,00	3,33	3,33	0,00	0,00
Zecca_003_2022	414,25	0,41	104,40	0,10	0,00	0,00	69,30	42,33	17,48	10,67	0,00	0,00
Zecca_004_2022	99,26	0,10	45,16	0,04	0,00	0,00	3,63	3,63	1,65	1,65	0,00	0,00
Zecca_005_2022	144,82	0,00	70,18	0,00	0,00	0,00	0,69	0,27	0,25	0,10	0,00	0,00
Zecca_006_2022	171,62	0,08	242,87	0,11	0,00	0,00	0,88	0,89	1,13	1,14	0,00	0,00

Tabella 10. Potenza interrotta in condizioni di emergenza (Beneficio B1) [kW].

Ai fini della stima del beneficio B2, si è quantificato il tasso di accadimento di guasti sulle linee aeree per manicotti di ghiaccio/neve e caduta piante:

$$\lambda_{MANICOTTI} = \sum_{i=1}^I \frac{L_i}{T_{R\ MANICOTTI,i}}$$

$$\lambda_{PIANTE} = \sum_{i=1}^I \frac{1}{T_{R\ PIANTE,i}}$$

Dove:

- $T_{R\ MANICOTTI,i}$ e $T_{R\ PIANTE,i}$ sono i tempi di ritorno dell'evento per i due fattori di rischio della i-esima tratta di linea;
- I è il numero totale di tratte nella rete;
- L_i è la lunghezza della tratta i-esima.

Si precisa che l'espressione dei tassi di guasto della caduta piante non riporta al numeratore la lunghezza del conduttore in quanto i rispettivi tempi di ritorno già ne tengono conto; viceversa, i T_R per manicotti di ghiaccio/neve sono stati calcolati a prescindere dalla estensione della linea, coerentemente con le metodologie condivise nei tavoli di lavoro, per cui devono essere scalati sulla base dell'estensione delle linee.

Il beneficio B2 per i manicotti di ghiaccio/neve e caduta alberi è quindi valutato come:

$$B = (\lambda_{PRE} - \lambda_{POST}) \cdot C_{RIP}$$

Dove C_{RIP} è il costo di riparazione medio delle linee per guasto permanente (Tabella 9).

In Tabella 11 sono riportati i tassi di guasto impiegati ai fini del calcolo. Per il dettaglio degli indicatori pre e post-intervento dei rami coinvolti nei progetti di potenziamento si rimanda all'Allegato D.

Codice Univoco	Manicotti di ghiaccio e neve		Caduta alberi	
	Ante	Post	Ante	Post
Zecca_001_2022	0,532	0,000	0,041	0,005
Zecca_002_2022	0,067	0,000	0,001	0,001
Zecca_003_2022	1,274	0,000	0,012	0,006
Zecca_004_2022	0,177	0,015	0,000	0,001
Zecca_005_2022	0,009	0,000	0,001	0,000
Zecca_006_2022	1,166	0,001	0,045	0,045

Tabella 11. Tassi di guasto linee in condizioni di emergenza (Beneficio B2) [guasti/anno].

La Tabella 12 riporta infine i costi effetti e previsti nel periodo 2022/2024 e i benefici degli interventi calcolati su una vita convenzionale di 25 anni e attualizzati con un tasso di sconto del 4%, come da indicazioni del TIQE.

Codice Univoco	Codice linea/e di distribuzione	Costo previsto 2022 [€]	Costo previsto 2023 [€]	Costo previsto 2024 [€]	Costo totale previsto attualizzato [€]	Beneficio totale previsto attualizzato [€]
Zecca_001_2022	S. VITO 46408	100.000,00	75.000,00	75.000,00	241.457,10	442.111,02
Zecca_002_2022	TAMARETE 46402	0,00	25.000,00	0,00	24.038,46	214.282,24
Zecca_003_2022	ALSA 46403	0,00	60.000,00	120.000,00	168.639,05	222.908,20
Zecca_004_2022	AUTOSTRADA 46413	40.000,00	0,00	0,00	40.000,00	78.829,61
Zecca_005_2022	ZECCA 46401	50.000,00	30.000,00	0,00	78.846,15	120.505,25
Zecca_006_2022	MENE' 46416	0,00	0,00	30.000,00	27.736,69	347.076,23

Tabella 12. Costi e benefici dell'intervento attualizzati.