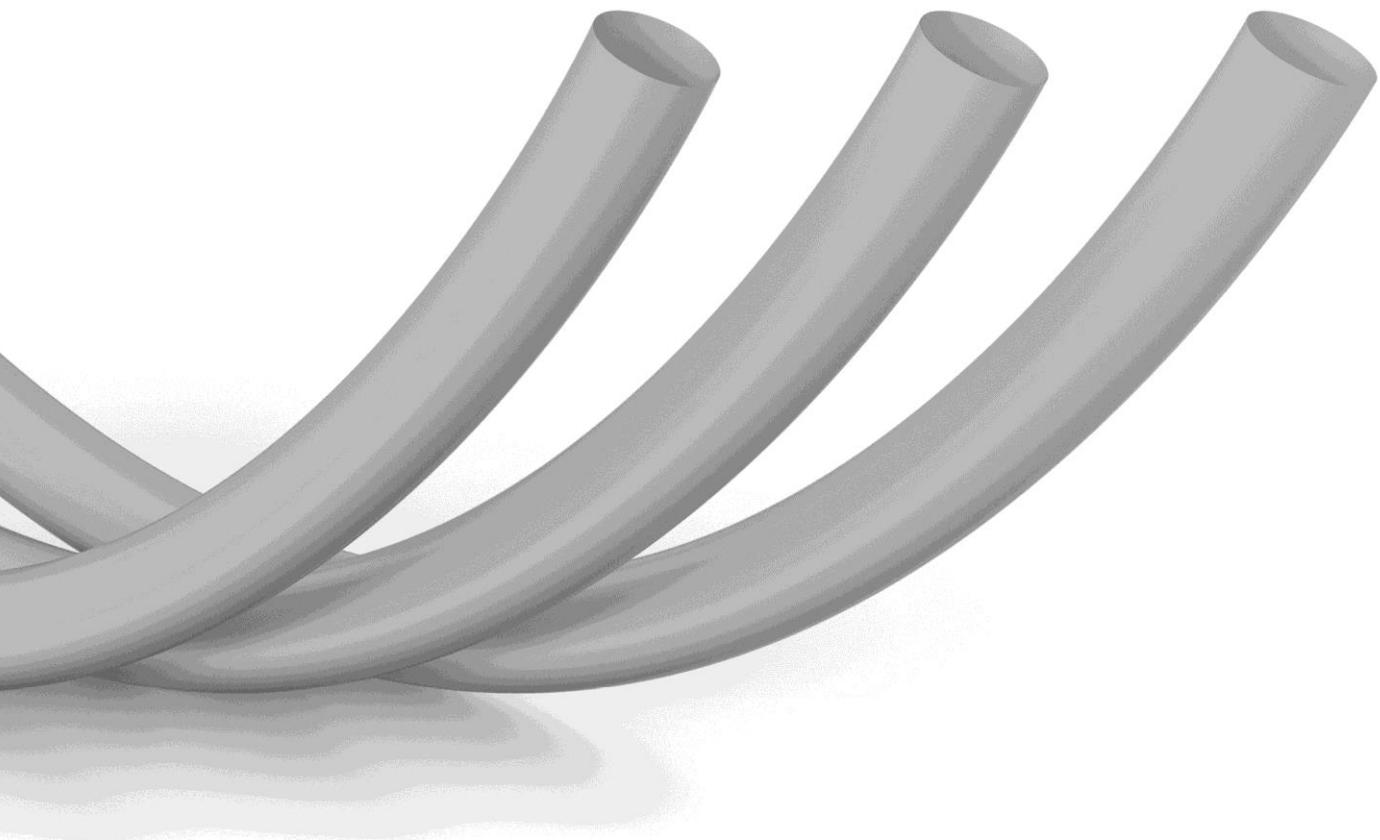


Sintesi dei risultati del monitoraggio delle prestazioni della comunicazione PLC fra contatori di seconda generazione e dispositivi utente

Carlo Tornelli, Houriyeh Shadmehr



Indice

1	INTRODUZIONE	3
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO	4
2.1	Dati raccolti relativi alla trasmissione di messaggi dal misuratore al dispositivo utente sul canale PLC-C	5
2.2	Caratteristiche dei messaggi utilizzati nel monitoraggio e configurazione della loro ripetizione automatica	6
2.3	Piattaforma collaborativa per la raccolta dei dati	7
2.4	Dati anagrafici raccolti relativi all'installazione dei dispositivi utente	8
2.5	Indici utilizzati per valutare le prestazioni della comunicazione	10
3	DESCRIZIONE DEI COLLEGAMENTI CHAIN 2 OGGETTO DEL MONITORAGGIO	11
3.1	Fornitori e modelli di dispositivo utente	11
3.2	Tipologia di utenza	12
3.3	Tipologia di edifici	13
3.4	Lunghezza dei collegamenti di comunicazione PLC chain 2	15
3.5	Casi di installazione con carichi potenzialmente disturbanti	16
4	DESCRIZIONE STATISTICA DEL CAMPIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO	17
4.1	Evoluzione temporale del numero di collegamenti monitorati	17
4.2	Distribuzione per modello di DU del campione dei dati	18
4.3	Distribuzione regionale del campione dei dati	19
5	PRESTAZIONI MISURATE PER LA COMUNICAZIONE CHAIN 2 PLC-C	20
5.1	Statistiche di prestazione complessive	20
5.2	Statistiche di dettaglio del tasso di successo S1	23
5.3	Statistiche di dettaglio del tasso di successo S2	27
6	CONCLUSIONI	32
7	BIBLIOGRAFIA	33
8	GLOSSARIO	34

1 INTRODUZIONE

Nel corso del 2017 è iniziata in Italia l'installazione di nuovi misuratori di energia elettrica di seconda generazione (2G) che, fra le principali caratteristiche, abilitano un nuovo canale di comunicazione diretto con dispositivi dell'utente (la cosiddetta *chain 2*), distinto dal canale di raccolta dati utilizzato dall'utility (denominato *chain 1*). La tecnologia di comunicazione attualmente utilizzata per il canale *chain 2* è una comunicazione PLC in banda CENELEC C (125 kHz ÷ 140 kHz) per la quale ARERA ha promosso un monitoraggio delle prestazioni a livello nazionale, al fine di fornire elementi di certezza ai possibili sviluppatori di servizi circa le effettive prestazioni ottenibili con questa tecnologia di comunicazione. La Deliberazione ARERA 222/2017/R/eel [1], nell'approvare il piano di messa in servizio dei sistemi di *smart metering* 2G proposto da e-distribuzione [2], ha previsto specifiche disposizioni in merito al piano di monitoraggio delle prestazioni della comunicazione *chain 2* via PLC-C. Il monitoraggio, avviato nel 2017 ha visto il coinvolgimento diretto di e-distribuzione, di costruttori di dispositivi utente e operatori commerciali. Le attività del monitoraggio hanno preso in considerazione i casi d'uso [3], il modello dati [4] e il relativo protocollo di comunicazione [5] come definiti in ambito CEI focalizzandosi sulla misura delle effettive prestazioni *end to end* della comunicazione su *chain 2*. Il periodo di monitoraggio, inizialmente previsto fino a fine aprile 2018, è stato successivamente esteso a tutto il 2018 dalla Deliberazione 307/2018/R/eel [6] di ARERA.

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ DI MONITORAGGIO

Per il monitoraggio delle prestazioni del canale di comunicazione PLC in banda C fra misuratori di energia elettrica e dispositivi utente (*chain2*), si è scelto di coinvolgere direttamente gli utenti finali, in modo da prendere in considerazione le reali condizioni di installazione in cui si possono trovare i dispositivi, sia per quanto riguarda la tipologia degli edifici e degli impianti elettrici, sia dal punto di vista della presenza di possibili disturbi sulla rete elettrica.

Il monitoraggio si è focalizzato sulla misura in campo delle effettive prestazioni *end to end* della comunicazione su *chain 2*, mediante il riscontro tra i messaggi inviati dal misuratore 2G e i messaggi ricevuti dai dispositivi utente.

Secondo le richieste della delibera dell'Autorità [1], il monitoraggio è stato strutturato in modo da ottenere la partecipazione attiva degli utenti finali, dando la possibilità di partecipare, su base volontaria, a diversi soggetti (fornitori di apparati e servizi, venditori di energia o ESCO) in grado di individuare gli utenti e di fornire loro i dispositivi idonei. Come condizione abilitante per la partecipazione al monitoraggio è stata prevista una fase preliminare di verifica in laboratorio dell'idoneità dei modelli di dispositivo utente proposti, in modo da assicurare la corretta realizzazione delle funzionalità di comunicazione richieste.

Come misuratori di energia sono stati presi in considerazione i misuratori elettronici 2G monofase (GEMIS) di e-distribuzione. Le attività di monitoraggio hanno perciò richiesto il coinvolgimento di e-distribuzione, che si è occupata della gestione dei misuratori 2G, dell'attivazione delle funzioni di comunicazione sulla *chain 2* e dell'allestimento di una piattaforma collaborativa per la raccolta delle misure da tutti i soggetti partecipanti (vedi par. 2.1). RSE ha svolto azioni di supporto per la preparazione delle attività, in particolare collaborando alla definizione dei dati da raccogliere, ha seguito lo svolgimento del monitoraggio mediante analisi intermedie dell'andamento dei risultati ed è stato incaricato dell'elaborazione dei risultati finali, oggetto del presente rapporto.

Nonostante l'impostazione delle attività di monitoraggio abbia previsto la possibilità di considerare sia misuratori di energia di tipo M1 (misuratori dei consumi di energia)¹, sia di tipo M2 (misuratori dell'energia prodotta da impianti di generazione dell'utente), di fatto hanno preso parte alle attività solo dispositivi utente associati a misuratori di tipo M1. Per questo motivo, nel seguito, la descrizione dei messaggi utilizzati per le prove di prestazione della comunicazione viene limitata a questo tipo di misuratore².

¹ Nel paragrafo 12.1 della CEI 0-21 vengono identificate tre tipologie di misuratori intelligenti:

- M1: misuratore intelligente per il prelievo di energia elettrica dalla rete;
- M2: misuratore intelligente per l'energia elettrica prodotta dal cliente finale;
- M3: misuratore intelligente per i sistemi di accumulo installati presso il cliente finale.

Si rimanda al documento CEI-021 per le definizioni dettagliate dei misuratori intelligenti citati e relativi schemi d'impianto.

² A titolo informativo si riportano di seguito le condizioni previste nelle attività del monitoraggio per la gestione dei due tipi di misuratore elettronico:

- nel caso d'impianti di utenza in cui al misuratore M1 fossero associati più misuratori M2, era prevista la possibilità di acquisire le informazioni utente, trasportate sulla *chain 2*, relativamente ad un unico misuratore M2;
- nel caso d'impianti di utenza in cui fossero acquisite informazioni utente, trasportate sulla *chain 2*, anche dal misuratore M2, oltre che dal misuratore M1, le due acquisizioni dovrebbero essere effettuate dal medesimo DU.

2.1 Dati raccolti relativi alla trasmissione di messaggi dal misuratore al dispositivo utente sul canale PLC-C

Il protocollo di comunicazione previsto per la *chain 2* dalla normativa è di tipo unidirezionale: dal misuratore verso l'utente. Il monitoraggio delle prestazioni della comunicazione si è basato sulla presenza a bordo del misuratore di energia e dei dispositivi utente di alcuni registri, dedicati rispettivamente al conteggio giornaliero dei messaggi trasmessi dal misuratore e quelli ricevuti dal dispositivo utente. Essendo previsti dal protocollo di comunicazione unidirezionale meccanismi configurabili di ripetizione automatica dei messaggi, il conteggio dei messaggi trasmessi e ricevuti memorizzato nei rispettivi registri è al netto delle ripetizioni, quindi la comunicazione di uno specifico dato è contata una sola volta, indipendentemente dal numero di ripetizioni utilizzato.

In dettaglio, per il misuratore di energia di tipo M1 sono stati utilizzati i seguenti registri:

1. *Contatore T1*: un registro giornaliero (2 byte) del numero dei messaggi applicativi inviati dal misuratore di tipo M1 relativi ai **campioni della curva di carico**, cioè l'energia attiva prelevata (A+) al quarto d'ora, così come definito nel caso d'uso A2 del documento CEI 13-82 [3]. A questo tipo di messaggio corrisponde la trama compatta CF1, definita nel documento CEI 13-83 [4]. La lunghezza complessiva di questo messaggio è di 64 byte.
2. *Contatore T2*: un registro giornaliero (2 byte) del numero dei messaggi applicativi inviati dal misuratore di tipo M1 relativi ai **campioni della potenza istantanea**, così come definito nel caso d'uso A2 del documento CEI 13-82 [3]. A questo tipo di messaggio corrisponde la trama compatta CF21, definita nel documento CEI 13-83 [4]. La lunghezza complessiva di questo messaggio è di 60 byte.
3. *Contatore T3*: un registro giornaliero (2 byte) del numero dei messaggi applicativi inviati dal misuratore di tipo M1 relativi al **superamento della potenza contrattuale disponibile** e al **raggiungimento di una soglia di consumo programmata** (kWh), così come definiti nei casi d'uso A3 e A7 del documento CEI 13-82 [3]. A questi tipi di messaggio corrispondono rispettivamente le trame compatte CF22 e CF25, definite nel documento CEI 13-83 [4]. La lunghezza complessiva di questi tipi di messaggio è di 64 e 62 byte. Per tutti i clienti coinvolti nella sperimentazione è stata stabilita un'unica soglia programmata di consumo settimanale pari a 30 kWh.

Analogamente il dispositivo utente ha previsto la presenza dei seguenti registri:

1. *Contatore R1*: un registro giornaliero (2 byte) del numero dei messaggi applicativi ricevuti relativi ai **campioni della curva di consumo**, così come riportato dalla trama compatta CF1, al netto delle eventuali ripetizioni previste per l'invio del messaggio applicativo contenente il campione in oggetto;
2. *Contatore R2*: un registro giornaliero (2 byte) del numero dei messaggi applicativi ricevuti contenenti la **potenza istantanea prelevata**, così come riportato dalla trama compatta CF21, al netto delle eventuali ripetizioni previste per lo stesso messaggio applicativo;
3. *Contatore R3*: un registro giornaliero (2 byte) del numero dei messaggi applicativi ricevuti contenenti l'evento di **supero di potenza disponibile**, e contenenti l'**avviso di raggiungimento di una soglia di consumo programmata** (kWh) al fine di simulare un credito prepagato in esaurimento, così come riportato dalle trame compatte CF22 e CF25, al netto delle eventuali ripetizioni previste per lo stesso messaggio applicativo.

Una volta configurata e avviata la comunicazione fra un misuratore di energia e un dispositivo utente, il conteggio giornaliero dei messaggi trasmessi e ricevuti, contenuto nei registri giornalieri T1, T2, T3 e

R1, R2, R3, rappresentano i dati di misura elementari che consentono di valutare le prestazioni di comunicazione per ogni coppia misuratore-dispositivo utente.

2.2 Caratteristiche dei messaggi utilizzati nel monitoraggio e configurazione della loro ripetizione automatica

I messaggi di tipo 1 (campioni della curva di consumo), conteggiati giornalmente mediante i registri T1 e R1, sono trasmessi periodicamente dal misuratore ogni quarto d'ora, quindi si ha un numero complessivo di 96 messaggi al giorno. Si tratta di messaggi il cui contenuto può essere utilizzato per la gestione energetica dei dispositivi e delle risorse dell'utente, anche nella prospettiva della sua partecipazione ai mercati dell'energia e dei servizi. Nel monitoraggio, per questo tipo di messaggi è stato configurato un numero di ripetizioni automatiche pari a 3 (quindi vengono inviati ogni volta 4 messaggi identici).

I messaggi di tipo 2 (campioni di potenza istantanea), conteggiati giornalmente mediante i registri T2 e R2, sono trasmessi dal misuratore ogni volta che la potenza misurata attraversa una delle soglie di potenza preimpostate nel misuratore. Attraverso la ricezione di questi messaggi l'utente è in grado di tracciare con una certa risoluzione l'andamento nel tempo della potenza istantanea scambiata con la rete di distribuzione. Per le attività del monitoraggio si è scelto di configurare tutti i misuratori con lo stesso schema di soglie, fissate ad intervalli pari al 10% della potenza contrattuale (ad es. 300 W per un utente con contratto da 3 kW). In base alla variabilità nel tempo dei consumi dell'utente, il numero di questo tipo di messaggi in una giornata può risultare più o meno elevato. Trattandosi di messaggi in cui l'insuccesso della comunicazione è meno critico, nel monitoraggio è stato configurato un numero di ripetizioni automatiche pari a 1 (vengono quindi inviati ogni volta 2 messaggi identici).

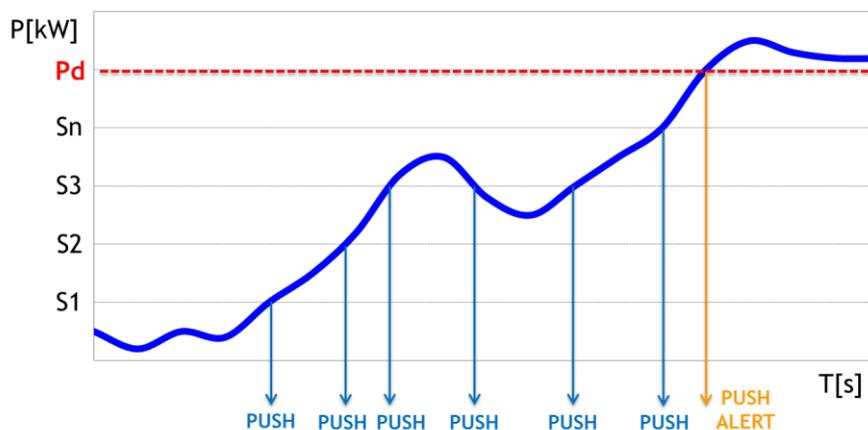


Figura 2.1 - Illustrazione del meccanismo di invio dei messaggi di potenza istantanea all'attraversamento di soglie

I messaggi di tipo 3 (superamento di potenza disponibile o raggiungimento della soglia di consumo programmata), conteggiati giornalmente mediante i registri T3 e R3, riguardano invece eventi più rari, che normalmente non avvengono tutti i giorni. Si tratta tuttavia di messaggi più critici per l'utente in quanto l'insuccesso della comunicazione può portare all'interruzione temporanea del servizio elettrico. Per questa ragione, nel monitoraggio è stato configurato per questo tipo di messaggi un numero di ripetizioni automatiche pari a 4 (vengono quindi inviati ogni volta 5 messaggi identici).

Tabella 2.1 – Sintesi dei tipi di messaggio utilizzati per il monitoraggio delle prestazioni PLC-C

Tipo di messaggio	Descrizione	Trama dati	Lunghezza [byte]	Numero di ripetizioni
1	Energia al quarto d’ora	CF1	64	3
2	Potenza istantanea	CF21	60	1
3	Superamento della potenza disponibile / Raggiungimento limite di consumo	CF22 / CF25	64 / 62	4

2.3 Piattaforma collaborativa per la raccolta dei dati

Per la raccolta e la memorizzazione dei dati provenienti dai misuratori di energia 2G e dai dispositivi utente è stata predisposta da parte di e-distribuzione una piattaforma collaborativa attraverso la quale è stato possibile seguire l’evoluzione delle attività di monitoraggio e condividere i dati necessari a valutare il successo della comunicazione.

In particolare, la raccolta dei dati relativi ai DU e la relativa trasmissione alla piattaforma collaborativa sono stati effettuati a cura del soggetto che, nell’ambito dell’iniziativa di monitoraggio, ha fornito il dispositivo stesso (Fornitore DU). e-distribuzione ha curato invece la raccolta e la condivisione sulla piattaforma dei dati dei contatori elettronici ottenuti dal sistema centrale di telegestione.

In Figura 2.2 viene mostrato uno schema dell’architettura predisposta.

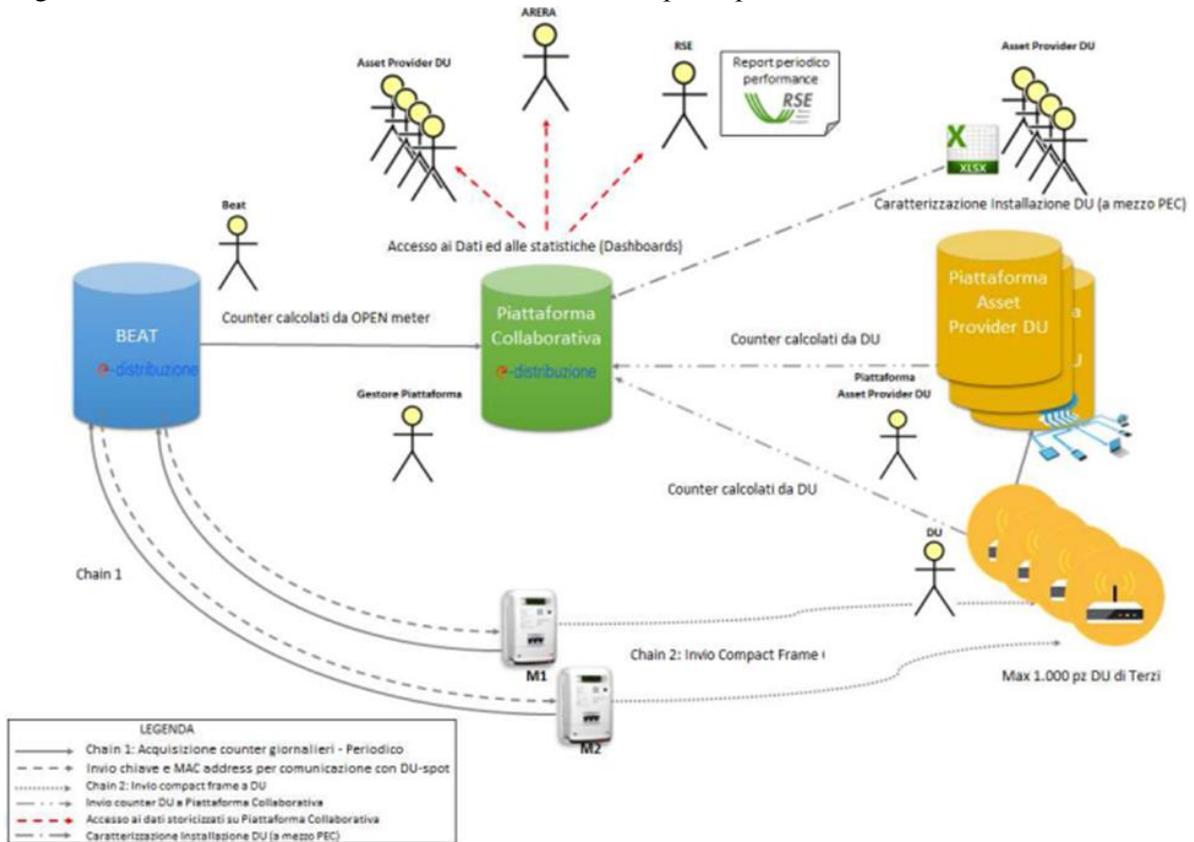


Figura 2.2 - Schema dell'architettura per la raccolta dei dati di monitoraggio sulla piattaforma collaborativa³

³ Fonte: e-distribuzione, “Allegato al Contratto per il monitoraggio delle performance di comunicazione su chain2”

L'architettura del sistema di raccolta dati per il monitoraggio comprende i seguenti componenti:

- il misuratore elettronico 2G (sia di tipo M1 che M2), trasmettitore delle informazioni utente trasportate sulla *chain 2* e sulla *chain 1*;
- *chain 1*, mezzo di comunicazione PLC in banda A, riservato al DSO
- il sistema centrale di telegestione (BEAT), che raccoglie il valore dei *counter*, calcolati dai misuratori 2G, e trasportati sulla *chain 1*
- il connettore fra la piattaforma collaborativa e BEAT
- il dispositivo utente (DU), ricevitore delle informazioni utente trasportate sulla *chain 2*
- *chain 2*, mezzo di comunicazione PLC in banda C
- la piattaforma dell'Asset Provider (AP), che centralizza i dati raccolti dai DU installati dall'Asset Provider
- il connettore fra la piattaforma collaborativa ed i DU
- il connettore fra la piattaforma dell'Asset Provider ed i DU
- la piattaforma collaborativa, che raccoglie i contatori da BEAT e dai DU o dalla piattaforma dell'Asset Provider

Sulla piattaforma collaborativa convergono i dati di monitoraggio costituiti dai valori dei contatori giornalieri (T1, T2, T3) dei messaggi trasmessi su *chain 2* da ogni misuratore e i valori dei contatori giornalieri (R1, R2, R3) dei messaggi ricevuti da ogni dispositivo utente. La lettura dei contatori dei messaggi trasmessi avviene tramite il percorso *chain 1*, con comunicazione PLC in banda A dai misuratori al concentratore di cabina secondaria e, mediante la rete cellulare, da quest'ultimo al sistema centrale BEAT, di e-distribuzione, il quale ha il compito di trammetterli alla piattaforma collaborativa.

Lato dispositivi utente, i contatori dei messaggi ricevuti sono raccolti da ogni fornitore (*Asset Provider*), per i propri dispositivi, su una piattaforma proprietaria. La comunicazione dei dati verso questa piattaforma avviene attraverso la connessione del dispositivo utente con il gateway della rete dati domestica e quindi attraverso la rete internet. Questo assetto è del tutto simile a quello utilizzabile per la realizzazione di servizi all'utente utilizzando i dati dei misuratori resi a lui disponibili attraverso la *chain 2*. Si sottolinea quindi come le attività del monitoraggio abbiano permesso, contestualmente, di sperimentare uno schema di architettura di comunicazione applicabile in modo permanente per la fornitura di servizi all'utente per la gestione dei propri consumi energetici e, più in generale, per la partecipazione attiva degli utenti finali ai meccanismi di gestione del sistema elettrico. Dalle piattaforme dei singoli fornitori i dati dei contatori di ricezione sono infine trasmessi alla piattaforma collaborativa in modo automatico (attraverso messaggi MQTT - *Message Queue Telemetry Transport*) o manuale, attraverso il semplice upload di un file di testo in formato '.csv'.

I fornitori dei dispositivi utente sono stati incaricati anche di raccogliere e rendere disponibili le informazioni anagrafiche che riguardano l'installazione dei dispositivi da parte degli utenti, così come specificato nel paragrafo 2.4.

I dati caricati sulla piattaforma sono stati resi disponibili ai diversi soggetti interessati. I fornitori di DU hanno potuto accedere ai propri dati e a quelli dei misuratori associati ai propri dispositivi per verificare le prestazioni di comunicazione raggiunte. RSE ed e-distribuzione hanno avuto accesso a tutti i dati caricati sulla piattaforma, sui quali è basato il presente rapporto.

2.4 Dati anagrafici raccolti relativi all'installazione dei dispositivi utente

Contestualmente all'installazione dei dispositivi di ricezione presso gli utenti, sono state raccolte una serie di informazioni relative alla loro installazione per poter analizzare eventuali condizioni in grado di influenzare le prestazioni della comunicazione PLC in banda C.

Di seguito vengono descritte le informazioni raccolte.

Informazioni generali sull'installazione

Si tratta di informazioni che servono a localizzare geograficamente il collegamento POD-DU, la tipologia di utenza e il modello di dispositivo utilizzato. In particolare sono registrate:

- ID Installazione
- POD
- CAP
- Regione
- Persona fisica/ Ragione sociale
- MAC address DU (conforme alla TS CEI 13-84)
- Chiave inizializzazione e Chiave di esercizio (128bit) tra loro uguali
- Modello DU <numero modello>
- Versione HW <x.y>
- Versione SW <x.y>
- Tipologia utente
- Potenza contrattuale [kW]

Caratteristiche dell'edificio

- Tipologia di edificio
- Numero di piani dell'edificio inclusi seminterrato/cantina
- Piano di installazione del Contatore 2G
- Anno di costruzione

Caratteristiche dell'impianto elettrico alimentato dal POD

- Superficie complessiva coperta dall'impianto elettrico del POD [m²]
- Numero di piani serviti dal POD inclusi seminterrato/cantina
- Numero locali serviti dal POD
- Numero interruttori nel quadro generale

Localizzazione del quadro elettrico dell'impianto

- Piano di installazione del quadro generale di impianto
- Distanza del quadro generale dal misuratore elettronico (stima in metri)

Localizzazione del dispositivo utente

- Piano di installazione del DU
- Distanza del DU dal quadro generale di impianto (stima in metri)
- Tipologia di locale

Carichi elettrici collegati all'utenza

Questo tipo di dato serve a verificare l'eventuale dipendenza delle prestazioni di comunicazione su chain 2 dall'utilizzo di particolari dispositivi elettrici da parte dell'utente.

- Lavatrici
- Lavastoviglie
- Asciugatrici
- Lampade a led

- Regolatori di luminosità

Dispositivi PLC collegati all'impianto

Anche questa informazione serve a verificare la dipendenza dell'eventuale degrado delle prestazioni di comunicazione su *chain 2* da possibili interferenze con altri dispositivi che utilizzano la rete elettrica per comunicare.

- Dispositivi con comunicazione su rete elettrica [Tipologia dispositivo]

Impianti collegati all'utenza elettrica

Questi dati sono rivolti alla verifica di eventuali effetti sulla comunicazione *chain 2* per la presenza di apparecchiature che si stanno diffondendo come parte degli impianti di edificio e che utilizzano generalmente convertitori elettronici di potenza per il collegamento alla rete elettrica.

- Condizionatori/Pompe di calore [Quantità]
- Cogeneratore [Quantità]
- Impianto FV [Quantità]
- Dispositivi di accumulo [Quantità]

Per facilitare la categorizzazione delle risposte, per alcuni campi sono stati predisposti valori predefiniti selezionabili.

2.5 Indici utilizzati per valutare le prestazioni della comunicazione

Come indice di valutazione della qualità della comunicazione su *chain2* è stato utilizzato il **tasso di successo giornaliero dei messaggi scambiati**⁴, inteso come rapporto tra numero di messaggi ricevuti dal dispositivo e numero di messaggi trasmessi dal misuratore nello stesso giorno.

Il tasso di successo è stato valutato separatamente per i tre tipi di messaggi sotto osservazione nel monitoraggio:

- **S1**: tasso di successo dei messaggi inviati ogni quarto d'ora relativi ai campioni della curva di carico di energia attiva;
- **S2**: tasso di successo dei messaggi inviati su evento di attraversamento di soglie di potenza istantanea;
- **S3**: tasso di successo dei messaggi inviati su evento di superamento della potenza disponibile o al raggiungimento di una soglia di consumo programmata.

Le statistiche del tasso di successo della comunicazione si basano sulle registrazioni giornaliere T1, T2, T3 del numero di messaggi trasmessi dai misuratori elettronici e il corrispondente numero R1, R2, R3 di messaggi ricevuti dai dispositivi utente. I tassi di successo sono calcolati come segue:

$$S1 = \frac{R1}{T1} \cdot 100$$

$$S2 = \frac{R2}{T2} \cdot 100$$

$$S3 = \frac{R3}{T3} \cdot 100$$

I campioni giornalieri validi per il calcolo del tasso di successo sono quelli corrispondenti ai giorni in cui avviene la trasmissione da parte del contatore di almeno un messaggio del tipo preso in considerazione e per i quali sono disponibili i corrispondenti dati dai dispositivi utente, escludendo quelli per cui si è registrata la disalimentazione del dispositivo utente o del misuratore 2G.

⁴ Il tasso di successo considera l'effettiva ricezione del messaggio inviato, quindi tiene conto anche delle strategie protocollari di *retry*.

3 DESCRIZIONE DEI COLLEGAMENTI *CHAIN 2* OGGETTO DEL MONITORAGGIO

Le attività di monitoraggio delle prestazioni dei collegamenti PLC-C ha coinvolto 100 utenti finali per i quali è stato attivato un collegamento chain2 fra il misuratore elettronico e un dispositivo utente. Le installazioni hanno riguardato 12 regioni italiane con la distribuzione mostrata in Figura 3.1.



Figura 3.1 - Mappa regionale dei collegamenti *chain 2* del monitoraggio

3.1 Fornitori e modelli di dispositivo utente

Il monitoraggio ha visto la partecipazione di 7 fornitori di dispositivi utente, dei quali 5 costruttori di dispositivi e 2 società commerciali, che hanno utilizzato complessivamente 5 differenti modelli di dispositivo. I fornitori vengono indicati in questo rapporto con le lettere da A a G mentre i tipi di dispositivi utente con gli identificativi da MDU_1 a MDU_5.

La Figura 3.2 illustra quali modelli di DU sono stati utilizzati da ciascun fornitore.

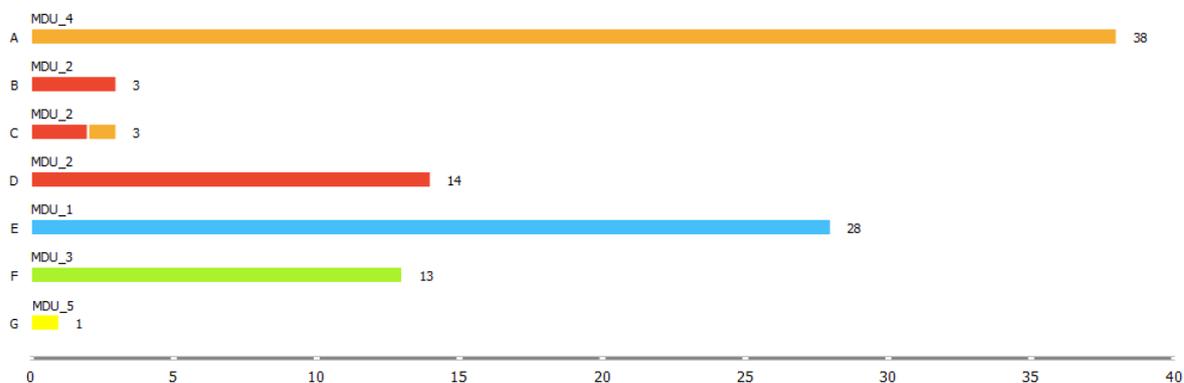


Figura 3.2 – Fornitori di dispositivi utente (A-G) e modelli (MDU_1-5)

Quattro fornitori hanno utilizzato ciascuno un proprio modello di DU mentre gli altri tre hanno utilizzato lo stesso modello (MDU_2). In particolare il fornitore C ha utilizzato due modelli di costruttori diversi. Si fa notare che, in realtà, il numero di richieste di attivazione della comunicazione *chain 2* per il monitoraggio è stato complessivamente di 134 unità; tuttavia, in 34 casi non sono stati resi disponibili sulla piattaforma collaborativa i dati dei registri di ricezione dei DU. Questo può essere dovuto al fatto che, a valle dell'adesione al monitoraggio, gli utenti finali non hanno poi effettivamente utilizzato il DU oppure non è stato completato il collegamento per la comunicazione dei dati del DU alla piattaforma collaborativa.

In Tabella 3.1 è riassunto il numero delle richieste di attivazione (POD Attivi) e i collegamenti realmente monitorati (DU Attivi) per ogni fornitore che ha preso parte al monitoraggio.

Tabella 3.1 – POD e DU Attivi per fornitore

Fornitore	POD attivi	DU Attivi
A	44	38
B	8	3
C	4	3
D	20	14
E	35	28
F	22	13
G	1	1
Totale	134	100

3.2 Tipologia di utenza

Con tipologia di utenza si fa riferimento a due principali forme contrattuali, ovvero la fornitura ad un'utenza domestica, che prevede l'utilizzo dell'elettricità nella propria abitazione e nei locali annessi, e quella per usi diversi (ad es. un'utenza di tipo commerciale). L'utenza domestica viene ulteriormente classificata di tipo residenziale o non residenziale a seconda che l'utente risieda nell'abitazione oppure l'abitazione sia una seconda casa.

Nella raccolta dei dati caratteristici delle installazioni la tipologia di utenza è stata perciò classificata utilizzando le categorie normalmente utilizzate delle società di distribuzione: residenziale, non residenziale, altri usi.

In Figura 3.3 viene rappresentata la distribuzione del numero di collegamenti *chain 2* monitorati in funzione della tipologia di utenza. La maggioranza delle installazioni riguarda utenze domestiche, soprattutto di tipo residenziale, e solo due installazioni sono relative ad altri tipi di utente.

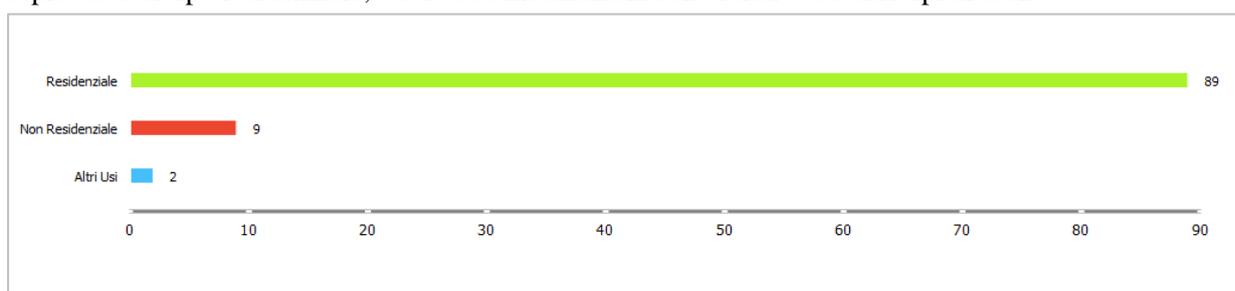


Figura 3.3 - Numerosità dei collegamenti *chain 2* per tipologia di utente

La Figura 3.4 mostra, per tipo di utenza, la distribuzione dell'utilizzo dei differenti modelli di DU.

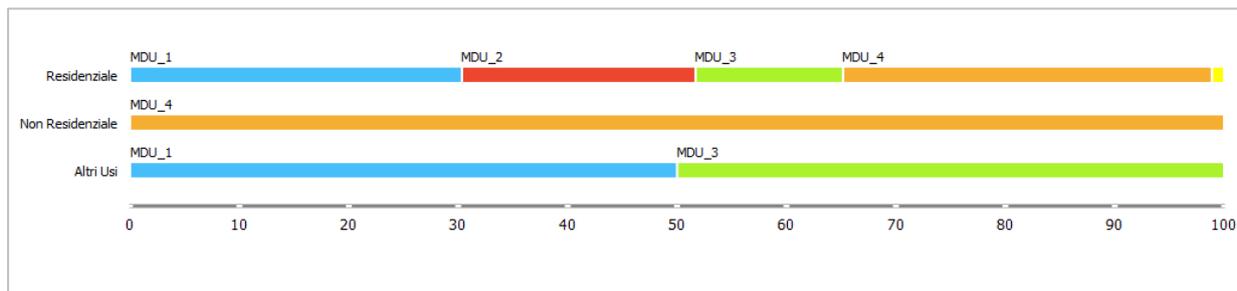


Figura 3.4 – Percentuale dei modelli di DU utilizzati per tipologia di utente

3.3 Tipologia di edifici

I collegamenti *chain 2* che hanno fornito dati di misura riguardano diverse tipologie di edificio per cui si può ritenere il campione significativo dal punto di vista della rappresentatività delle differenti topologie associate per gli impianti elettrici delle installazioni dei dispositivi utente. Come riassunto dalla Figura 3.5 la maggioranza dei collegamenti monitorati è stato dichiarato in palazzi, palazzine e case indipendenti.

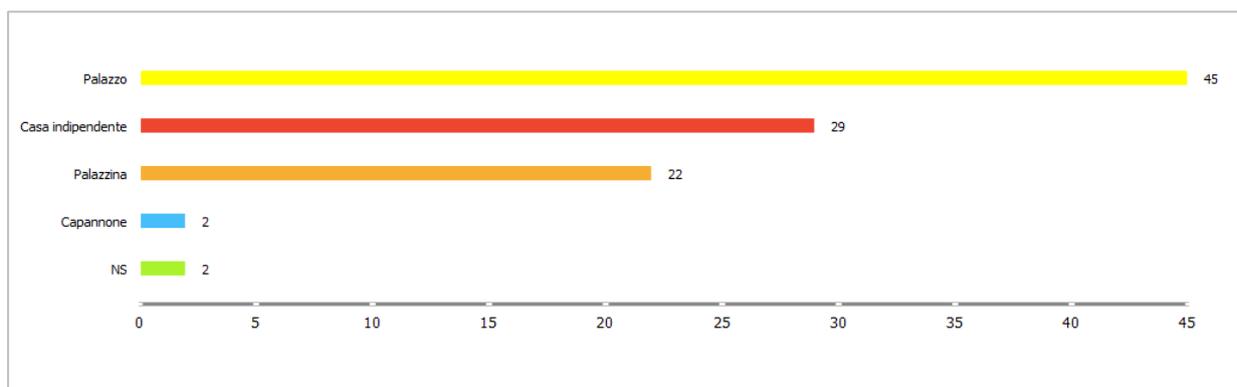


Figura 3.5 - Numerosità dei collegamenti *chain 2* per tipo di edificio⁵

A parte il tipo di edificio, dalle schede anagrafiche risulta che nel monitoraggio sono stati considerati edifici fino ad 11 piani, come evidenziato dalla Figura 3.6, con la maggioranza delle installazioni in edifici da 2 a 4 piani.

⁵ NS: non specificato

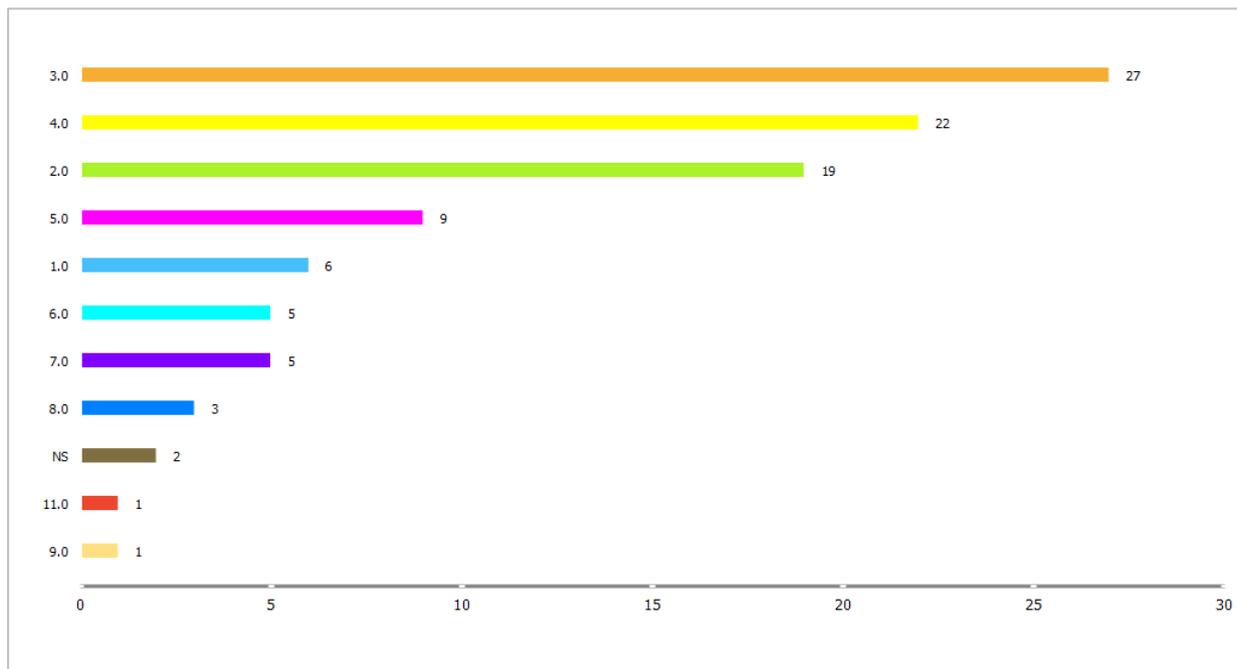


Figura 3.6 – Numerosità dei collegamenti chain 2 per numero di piani degli edifici

Per un maggiore dettaglio informativo si riporta nella Figura 3.7 e Figura 3.8 la distribuzione dell'utilizzo dei differenti modelli di DU per le diverse tipologie di edificio.

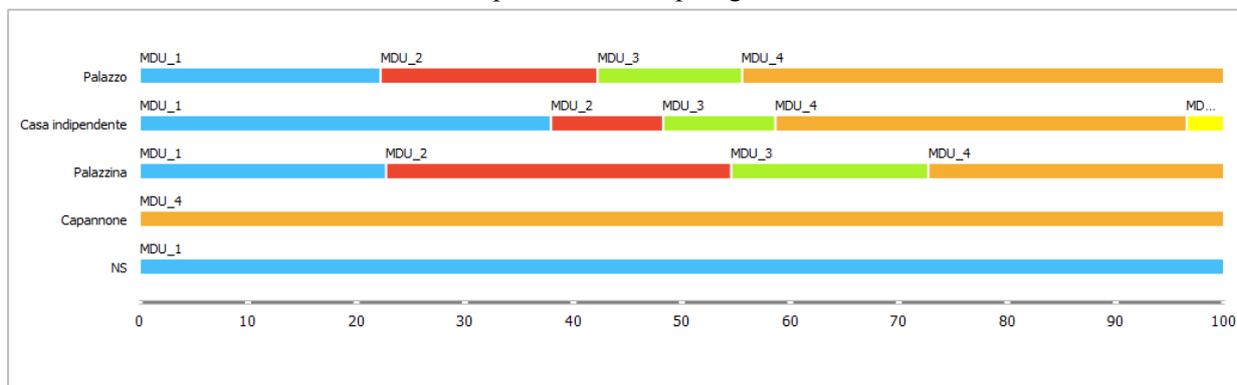


Figura 3.7 – Percentuale dei modelli di DU per tipo di edificio



Figura 3.8 – Numerosità dei modelli di DU per tipo di edificio

3.4 Lunghezza dei collegamenti di comunicazione PLC chain 2

Sempre per dare evidenza delle caratteristiche degli impianti di bassa tensione su cui avviene la comunicazione PLC in banda C, viene di seguito descritta la numerosità dei collegamenti oggetto del monitoraggio divisi per classi di distanza, rispettivamente fra il misuratore elettronico e il quadro dell'impianto utente (C-Q), fra quadro elettrico e dispositivo utente (Q-DU).

Dalla Figura 3.9 per la distanza C-Q e dalla Figura 3.10 per la distanza Q-DU si nota che nella maggioranza dei casi le lunghezze dei collegamenti sono inferiori a 10 metri; tuttavia sono presenti nel monitoraggio anche casi in cui le singole distanze hanno superato i 30 m.

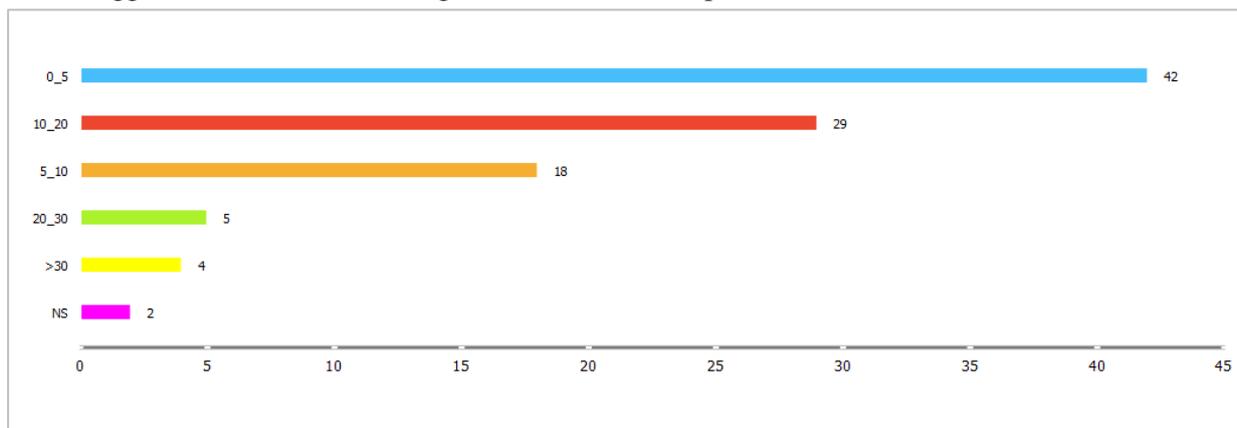


Figura 3.9 - Numerosità dei collegamenti chain 2 per classi di distanza in metri fra misuratore e quadro utente

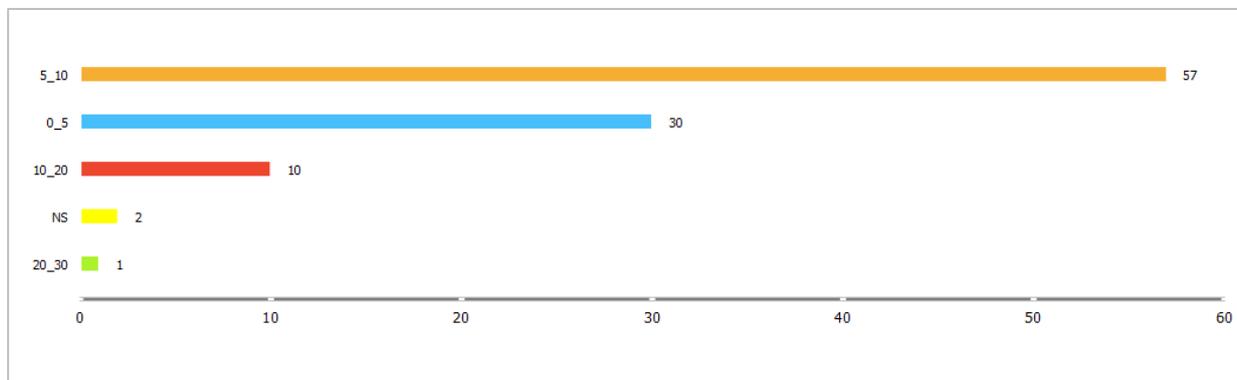


Figura 3.10 - Numerosità dei collegamenti chain 2 per classi di distanza in metri fra quadro e dispositivo utente

La lunghezza complessiva del canale PLC per la chain 2 (distanza C-DU) è data dalla somma delle distanze C-Q e Q-DU. Tenendo conto del valore medio degli intervalli utilizzati per la classificazione delle distanze, è stata stimata la lunghezza complessiva di ogni collegamento C-DU. In Figura 3.11 viene data la distribuzione dei collegamenti PLC inclusi nel monitoraggio in funzione della loro lunghezza complessiva.

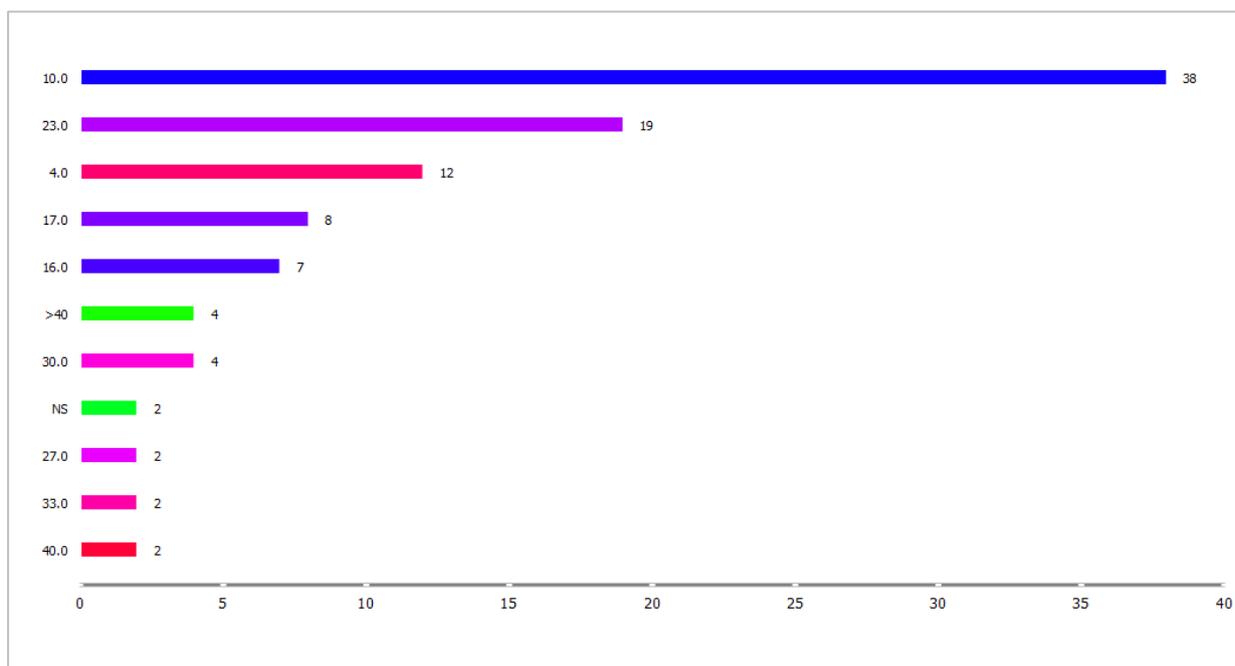


Figura 3.11 - Numerosità dei collegamenti *chain 2* per distanza media in metri fra misuratore e dispositivo utente

3.5 Casi di installazione con carichi potenzialmente disturbanti

La Tabella 3.2 riporta la numerosità dei collegamenti *chain 2* inclusi nel monitoraggio caratterizzati dalla presenza di carichi che possono costituire sorgenti di disturbo per il canale PLC e potenzialmente in grado di causare degrado delle prestazioni di comunicazione; in particolare: altri dispositivi PLC, generalmente a larga banda, utilizzati per reti dati e altre applicazioni, inverter associati a impianti fotovoltaici, dispositivi di accumulo elettrochimico, pompe di calore.

Tabella 3.2 - Numerosità dei collegamenti *chain 2* di utenze con carichi potenzialmente disturbanti

Numero dispositivi	Utenze con Dispositivi PLC	Utenze con Impianti FV	Utenze con Pompe di calore	Utenze con Sistemi di accumulo
1	19	3	10	1
2	16	0	5	0
3	2	0	1	0
TOTALE	37	3	16	1

4 DESCRIZIONE STATISTICA DEL CAMPIONE DEI DATI DI MONITORAGGIO

A valle della validazione dei dati, due collegamenti *chain 2* sono di fatto stati esclusi dal set di misure per il calcolo delle statistiche di prestazione. Un collegamento si riferisce al caso di configurazione errata per il quale non sono stati acquisiti dati validi; l'altro collegamento è invece quello caratterizzato dalla presenza di un carico difettoso dal punto di vista delle caratteristiche di compatibilità elettromagnetica.

Essendo il coinvolgimento degli utenti avvenuto progressivamente nel tempo, così come la durata della permanenza nel monitoraggio è stata diversa, la numerosità dei dati di misura raccolti per ogni collegamento *chain 2* è stata variabile. In questo paragrafo viene fornita una descrizione delle caratteristiche del campione dei dati di monitoraggio che è stato possibile raccogliere.

In Figura 4.1 è rappresentato quali modelli di DU sono stati utilizzati da ciascun fornitore e la relativa percentuale di dati raccolti per quel modello di DU, sul totale di ogni fornitore.

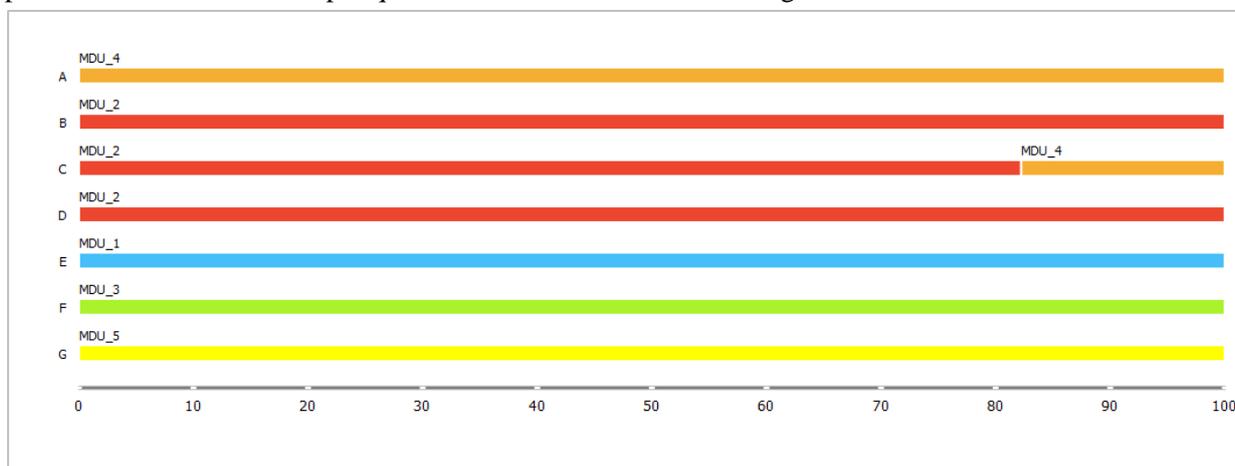


Figura 4.1 - Modelli di dispositivo utente (MDU_1-5) utilizzati dai diversi fornitori (A-G)

4.1 Evoluzione temporale del numero di collegamenti monitorati

Le attività di monitoraggio hanno visto il coinvolgimento di un numero variabile di utenti nel corso dell'intero periodo, compreso fra il 22 dicembre 2017 e il 31 dicembre 2018.

A fine 2017 sono stati avviati 2 collegamenti mentre la numerosità dei collegamenti attivi nel 2018, su base mensile, è riportata in Tabella 4.1.

Tabella 4.1 – Numero di collegamenti POD-DU attivi nel monitoraggio

2017	2018											
	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre
2	15	68	73	78	70	53	37	19	17	17	19	18

Più in dettaglio, il grafico di Figura 4.2 mostra l'evoluzione giornaliera dei collegamenti che hanno contribuito alla raccolta delle misure di monitoraggio. In un primo periodo la numerosità di collegamenti *chain 2* monitorati è progressivamente cresciuta in base all'entrata e alla qualificazione di nuovi fornitori di DU e dei clienti da essi coinvolti. Questo è avvenuto fino al termine iniziale di scadenza del monitoraggio, previsto a fine aprile 2018. A maggio, essendo scaduto il contratto, molti utenti finali coinvolti hanno abbandonato la sperimentazione. Anche a valle della delibera di prolungamento del

monitoraggio, a giugno 2018, il numero di utenti coinvolti ha continuato a diminuire stabilizzandosi per gli ultimi cinque mesi.

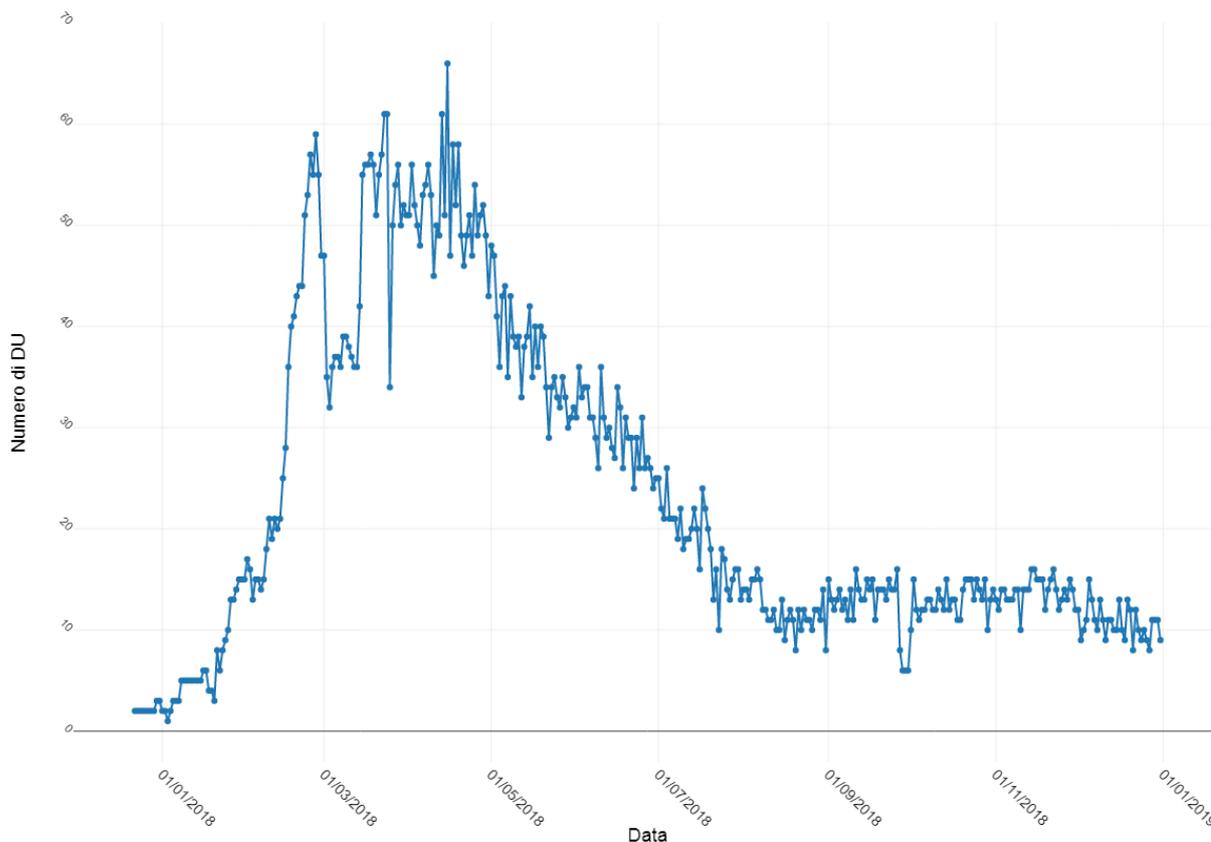


Figura 4.2 - Andamento temporale del numero di collegamenti POD-DU monitorati

Sempre dal grafico di Figura 4.2, per alcuni giorni di marzo è possibile notare una diminuzione temporanea dei collegamenti che hanno fornito dati; questo fatto è dovuto alla mancanza di registrazioni per alcuni collegamenti già attivi in precedenza. Ulteriori verifiche hanno permesso di stabilire che, per i giorni con dati mancanti, sono stati acquisiti i dati relativi ai messaggi trasmessi dai misuratori elettronici mentre non sono disponibili i dati dei contatori di ricezione dei rispettivi dispositivi utente.

4.2 Distribuzione per modello di DU del campione dei dati

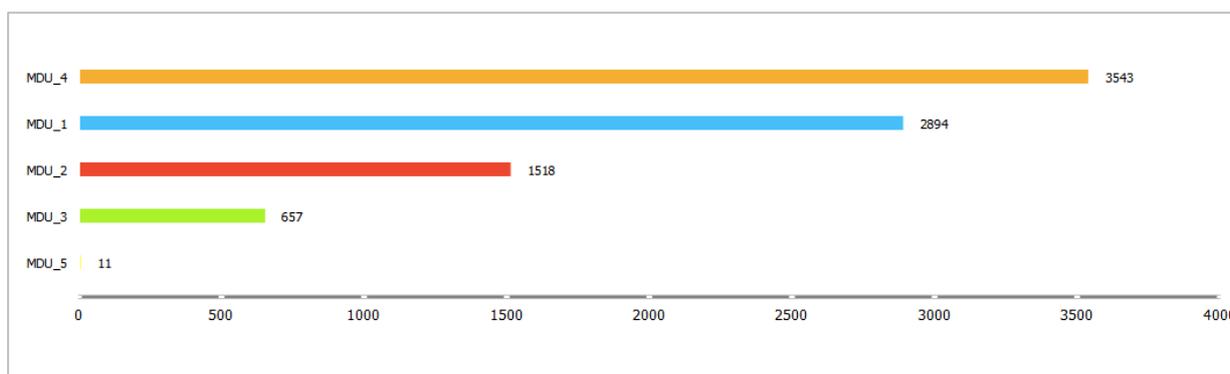


Figura 4.3 - Distribuzione delle misure giornaliere per modello di dispositivo utente

4.3 Distribuzione regionale del campione dei dati

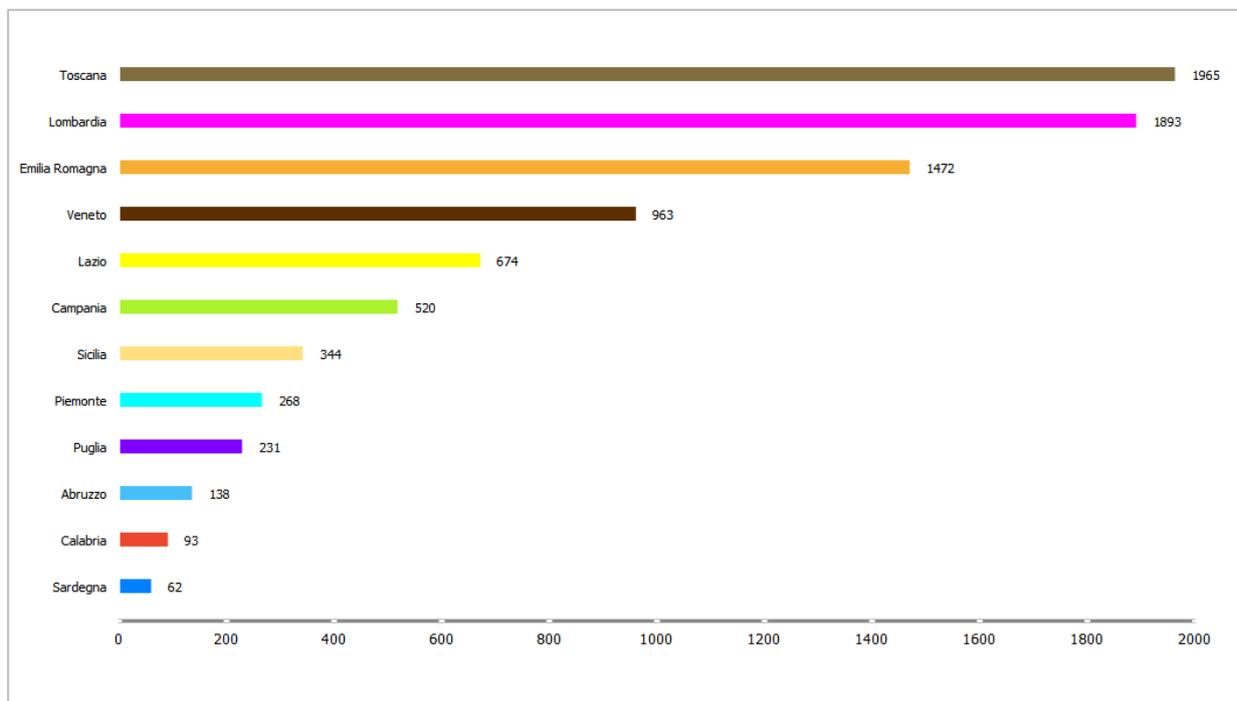


Figura 4.4 - Distribuzione regionale delle misure giornaliere

5 PRESTAZIONI MISURATE PER LA COMUNICAZIONE *CHAIN 2* PLC-C

5.1 Statistiche di prestazione complessive

Le statistiche principali dei tassi di successo giornalieri S1, S2 e S3, misurati complessivamente su tutto il periodo del monitoraggio, sono riportate nella Tabella 5.1. Nella Tabella 5.2 sono invece riassunti i risultati statistici relativi al numero totale di messaggi trasmessi dei tre tipi analizzati (T1, T2, T3), per i quali è stato calcolato il tasso di successo.

Tabella 5.1 – Statistica complessiva dei tassi di successo misurati su tutto il periodo di monitoraggio

Tasso di successo per tipo di messaggio	Numero totale di campioni giornalieri validi	Tasso di successo medio giornaliero	Deviazione std del tasso di successo giornaliero	5° percentile del tasso di successo giornaliero	1° percentile del tasso di successo giornaliero
S1	8.623	99,43 %	3,74 %	96,88 %	89,58 %
S2	8.354	98,32 %	6,90 %	91,67 %	66,97 %
S3	649	98,64 %	10,22 %	100 %	0,00 %

Tabella 5.2 – Statistica complessiva dei messaggi trasmessi per tutto il periodo di monitoraggio

Dati trasmessi per tipo di messaggio	Numero totale di messaggi trasmessi	Numero medio giornaliero di messaggi trasmessi	Numero massimo giornaliero di messaggi trasmessi	10° percentile dei messaggi giornalieri trasmessi	90° percentile dei messaggi giornalieri trasmessi
T1	824.001	95,56	96	95	96
T2	7.643.592	886,42	8.147	30	1.949
T3	1.483	0,17	42	0	0

Le prestazioni medie misurate per la comunicazione *chain 2* sul canale PLC-C risultano molto elevate per tutte e tre le tipologie di messaggio utilizzate nel monitoraggio. In particolare, il tasso di successo più alto (99,43%) è ottenuto per l'indice S1, relativo ai messaggi di consumo al quarto d'ora. Il calcolo dei percentili mostra che il 99% delle misure giornaliere, su un totale di 8.623, presenta un tasso di successo superiore all'89,58% mentre per il 95% dei casi il tasso di successo supera il 96,88%. Questo risultato indica una distribuzione delle misure molto concentrata su valori prossimi al 100%, come mostrato anche dalla Figura 5.1. Complessivamente i messaggi trasmessi di tipo 1 che hanno contribuito alla statistica sono stati 824.001, con un campionamento ogni quarto d'ora delle caratteristiche del canale.

Per i messaggi di potenza istantanea, il tasso medio di successo S2 risulta essere leggermente inferiore ad S1 e pari a 98,32%. In questo caso il 99% delle misure giornaliere, su un totale di 8.354, presenta un tasso di successo superiore al 66,97% mentre per il 95% dei casi il tasso di successo supera il 91,67%. Come evidente, data la natura degli eventi di generazione dei messaggi di tipo 2, la numerosità delle trasmissioni su cui è calcolato il tasso di successo S2 risulta enormemente più grande rispetto agli altri casi, arrivando totalizzare 7.643.592 messaggi, con una frequenza di campionamento delle prestazioni della comunicazione nel corso della giornata molto più elevata rispetto a quella dei messaggi di tipo 1. Il numero di messaggi di tipo 2 trasmessi mediamente in un giorno è risultato pari a 886, che corrisponde

ad 1 messaggio circa ogni 1,5 minuti. I valori più bassi dei percentili calcolati per S2, rispetto a quelli di S1, indicano una distribuzione più sparsa dei campioni, come confermato anche dalla Figura 5.2. Questa maggiore larghezza della distribuzione e il valor medio più basso, rispetto ad S1, possono essere considerati anche un indice dell'effetto del diverso numero di ripetizioni dei messaggi utilizzato nel monitoraggio per i due tipi di dato. Come descritto dalla Tabella 2.1, si ricorda che S1 misura le prestazioni di messaggi che vengono ripetuti 3 volte mentre S2 misura le prestazioni di messaggi ripetuti una sola volta, e quindi con maggior probabilità di fallimento a causa di disturbi o condizioni avverse temporanee sul canale PLC.

Infine, per il tasso di successo S3, relativo ai rari messaggi di superamento della potenza disponibile o raggiungimento del limite di consumo, il valore medio misurato è 98,64%. La numerosità del campione è in questo caso molto inferiore rispetto a quella di S1 e S2 in quanto per molte giornate non si sono verificati eventi (superamento della potenza disponibile o raggiungimento della soglia di consumo programmata) che causano l'invio di messaggi di tipo 3 (cioè T3=0). Come evidenziato dai valori percentili del tasso di successo S3 e dalla distribuzione di Figura 5.3 la maggioranza dei valori del tasso di successo misurato si concentrano su due soli valori: 0 e 100%. Il 10° e 90° percentile dei messaggi giornalieri trasmessi T3 risulta nullo in quanto T3=0 nel 92,5% dei casi.

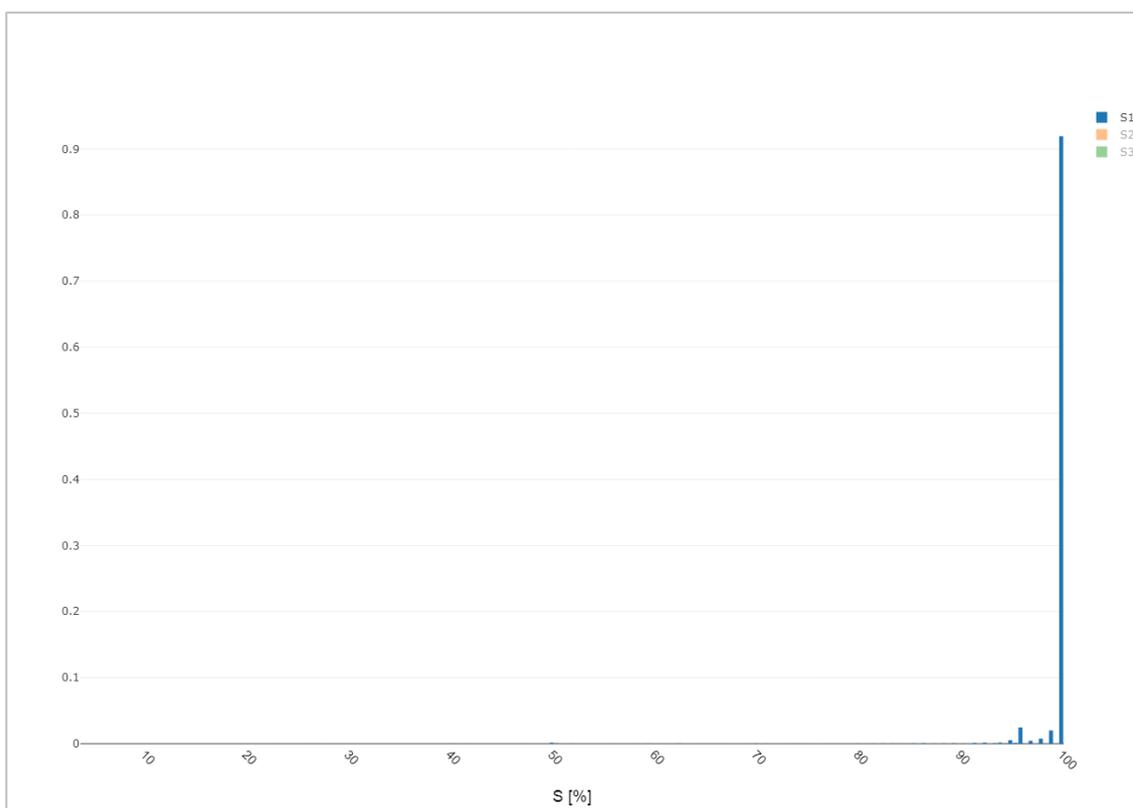


Figura 5.1 - Istogramma dei campioni del tasso di successo S1

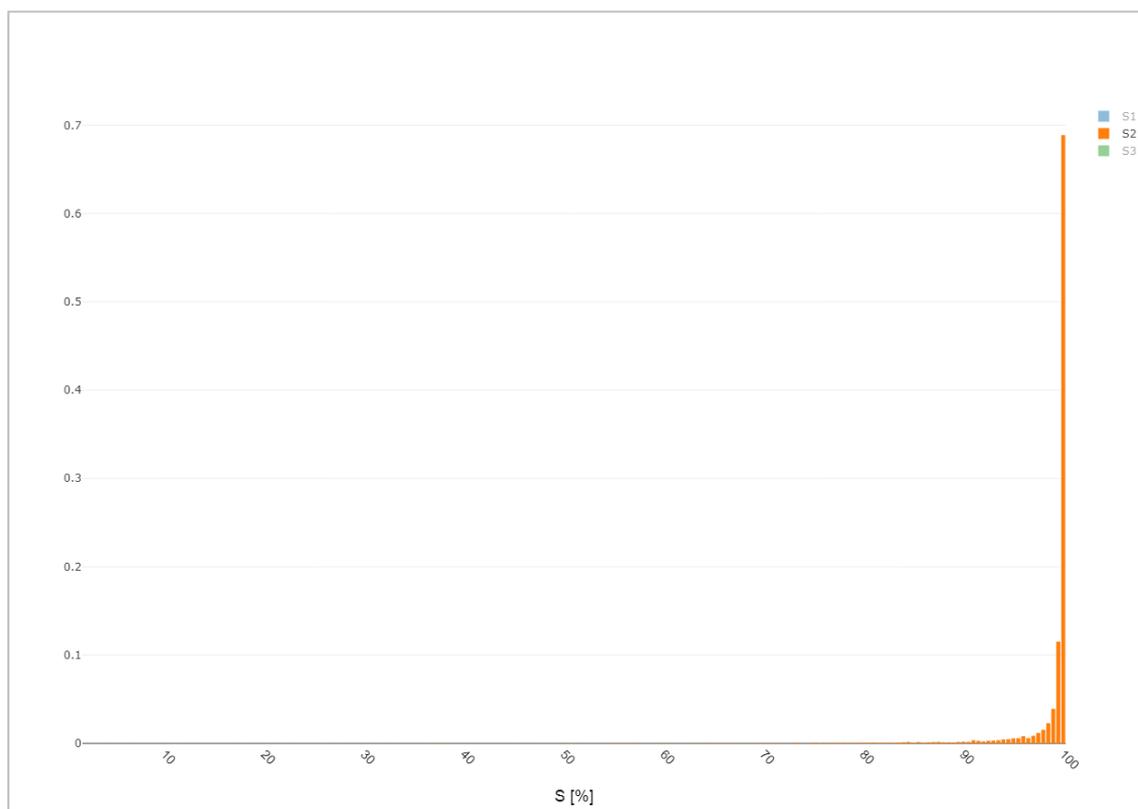


Figura 5.2 - Istogramma dei campioni del tasso di successo S2

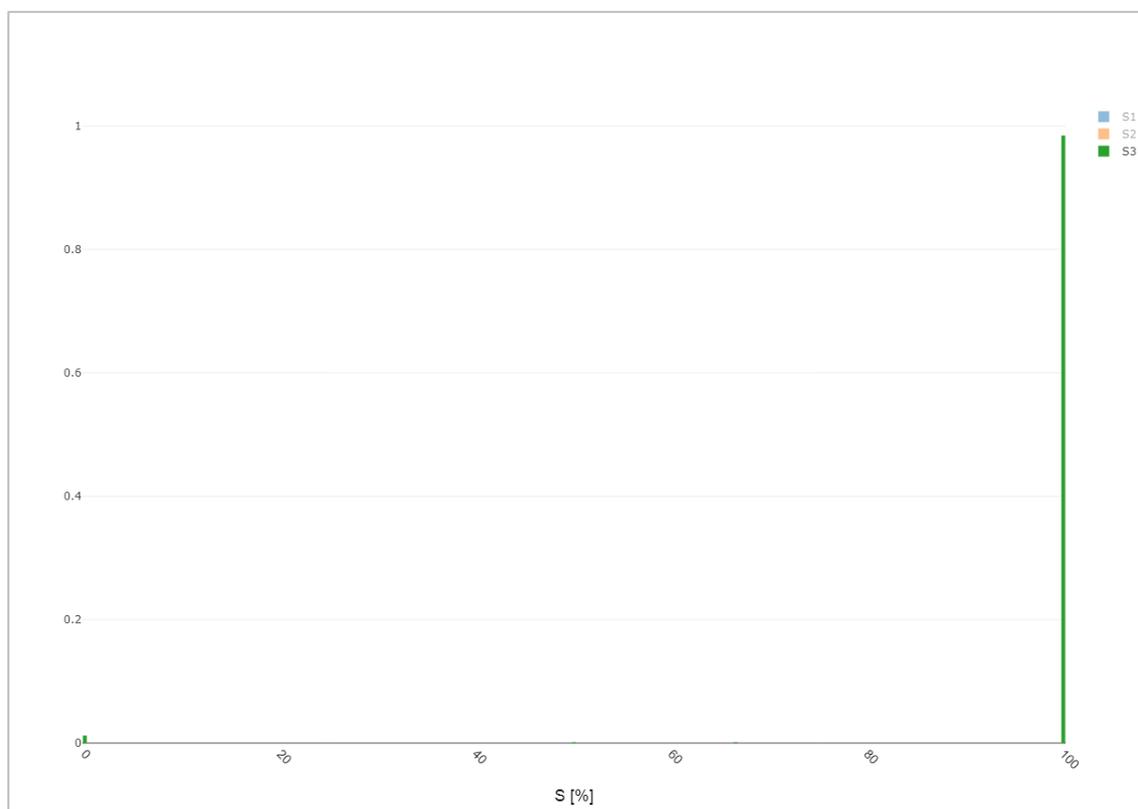


Figura 5.3 - Istogramma dei campioni del tasso di successo S3

5.2 Statistiche di dettaglio del tasso di successo S1

In questo paragrafo sono riportati una serie di grafici che rappresentano alcuni indicatori statistici calcolati su specifici sottoinsiemi del campione dei tassi di successo misurati. In particolare sono analizzati i dati relativi alle differenti tipologie di utenti, ai diversi modelli e fornitori di dispositivi utente, per tipologia di edificio, locale di installazione dei DU e le distanze dei collegamenti.

Nelle figure seguenti viene rappresentata la statistica del tasso di successo S1 in funzione di diversi parametri relativi alle installazioni. In particolare: le linee e i valori riportati in rosso rappresentano il valore medio del tasso di successo; gli estremi dei rettangoli colorati in blu e azzurro corrispondono rispettivamente al 1° e 3° quartile mentre la mediana è evidenziata dalla linea di cambiamento del colore; la barra gialla rappresenta la fascia compresa fra il 5° e il 95° percentile; infine, i tratti estremi della linea verticale delimitano l'intervallo min-max di tutti i valori misurati.

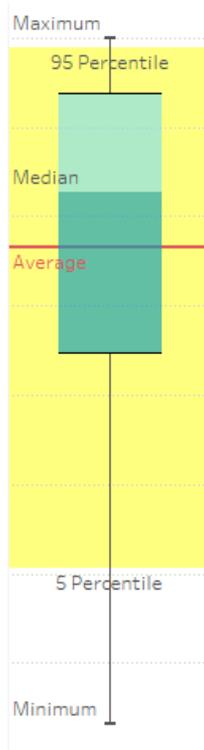


Figura 5.4 - Legenda per la rappresentazione statistica dei dati

In Figura 5.5 è rappresentata la statistica del tasso di successo S1 misurato in funzione della tipologia di utenza. L'analisi dei dati non rivela particolari influenze di questa caratteristica sulle prestazioni medie di comunicazione. L'intervallo min-max dei valori misurati risulta molto ampio, in particolare per il caso residenziale, che è anche quello con il maggior numero di campioni. A questo proposito si evidenzia che i valori minimi sono dovuti a poche misure, in genere corrispondenti al giorno di attivazione del dispositivo utente⁶, e che non influenzano in modo significativo il risultato medio. La banda fra il 1° e 3° quartile è collassata intorno al 100% indicando che meno del 25% di tutti i valori ha un tasso di successo inferiore al 100%.

⁶ Il primo giorno in cui il dispositivo utente viene utilizzato il numero di messaggi da lui ricevuti dipende ovviamente dal momento in cui è stato collegato mentre il misuratore è normalmente già attivo e conteggia i messaggi dall'inizio della giornata. Può quindi succedere che si registri un basso tasso di successo, dovuto in realtà a dati non corrispondenti alle prestazioni della comunicazione.

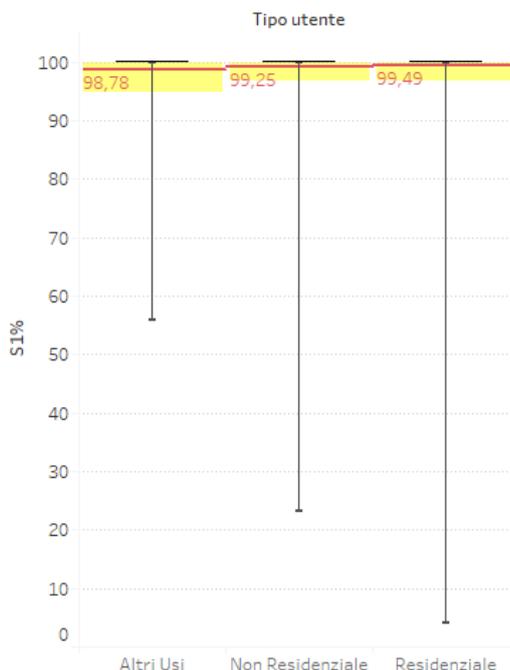


Figura 5.5 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per tipologia di utente

In Figura 5.6 è rappresentata la statistica del tasso di successo S1, distinta per ogni modello di dispositivo utente utilizzato. Dal grafico si nota un valore medio di S1 molto simile per i 5 modelli di DU, con un valore leggermente inferiore agli altri per il modello MDU_2. L'intervallo min-max dei valori misurati risulta molto ampio per i primi quattro modelli e solo il modello MDU-5 presenta valori di S1 sempre molto vicini al valore medio. Tuttavia, a commento di questo risultato, si fa notare che le misure relative a MDU_5 sono riferite ad un solo collegamento e il loro numero è molto inferiore rispetto a quello degli altri modelli.

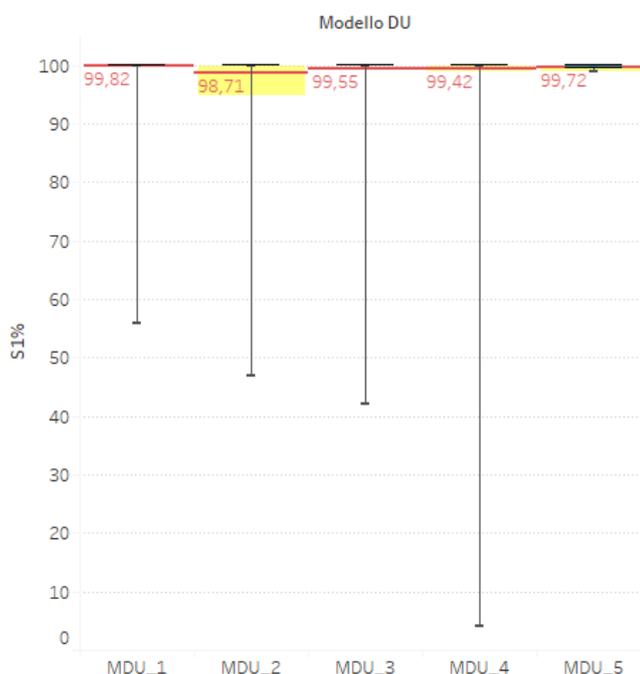


Figura 5.6 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per i diversi modelli di dispositivo utente

Analogamente alle figure precedenti, la Figura 5.7 riporta la statistica del tasso di successo S1, calcolata questa volta per ogni fornitore dei dispositivi utente. Dai grafici si nota, per i fornitori B e C, un valore medio di S1 leggermente inferiore agli altri.

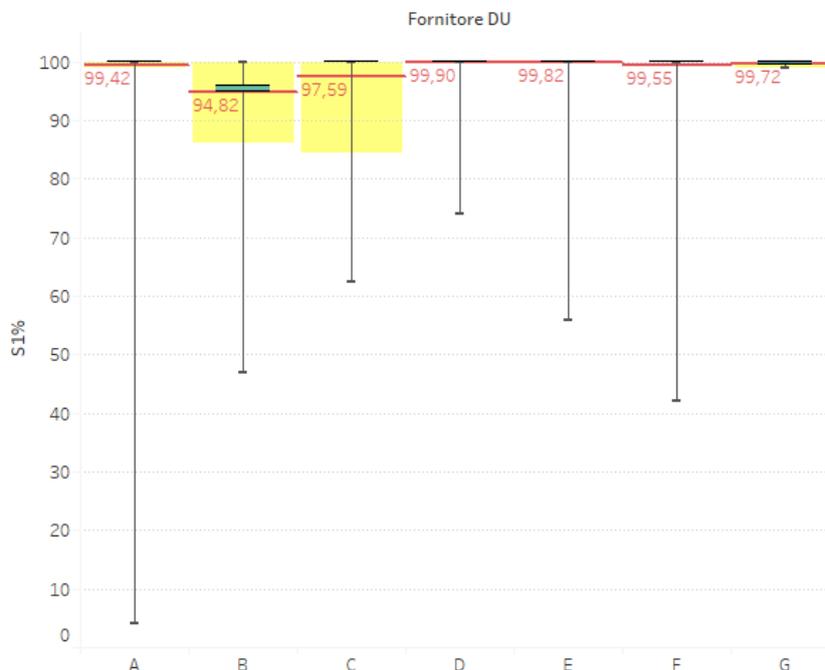


Figura 5.7 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per fornitore di dispositivi utente

Verificando i modelli di DU utilizzati, il fornitore B ha usato il modello MDU_2 mentre il fornitore C ha utilizzato sia il modello MDU_2 sia MDU_4. Inoltre, i fornitori B e D, pur utilizzando entrambi lo stesso modello MDU_2 presentano differenti valori di S1 medio. Il modello di DU non è quindi sufficiente a spiegare le differenze di prestazione misurate. Queste sono probabilmente dovute anche ad una diversa modalità di monitoraggio ed assistenza all'utente finale da parte del fornitore, ad esempio per assicurarsi che il dispositivo utente non fosse scollegato da parte dell'utente per vari periodi di tempo e spostato in differenti locali, con il conseguente effetto di false misure come nel giorno dell'attivazione.

In Figura 5.8 la statistica del tasso di successo S1 è calcolata per le diverse tipologie di edificio coinvolte nelle installazioni del monitoraggio. L'analisi non rivela particolari influenze di questa caratteristica sulle prestazioni di comunicazione.

In Figura 5.9 è rappresentata la statistica del tasso di successo S1 per le diverse tipologie di locale di installazione del DU nei collegamenti del monitoraggio. Si evidenzia un leggera diminuzione delle prestazioni medie per il caso di installazione in capannone, rispetto ad altri locali tipici di un'abitazione residenziale.

In Figura 5.10 e Figura 5.11 è rappresentata la statistica del tasso di successo S1 per le diverse classi di distanza, rispettivamente fra misuratore elettronico e quadro elettrico, e fra quadro elettrico e dispositivo utente. Per le installazioni che hanno partecipato al monitoraggio, che comprendono una significativa tipologia di casi per la tipologia di edifici e per la collocazione dei contatori e dei dispositivi utente, i dati misurati non rivelano particolari influenze della lunghezza dei collegamenti sulle prestazioni di comunicazione.

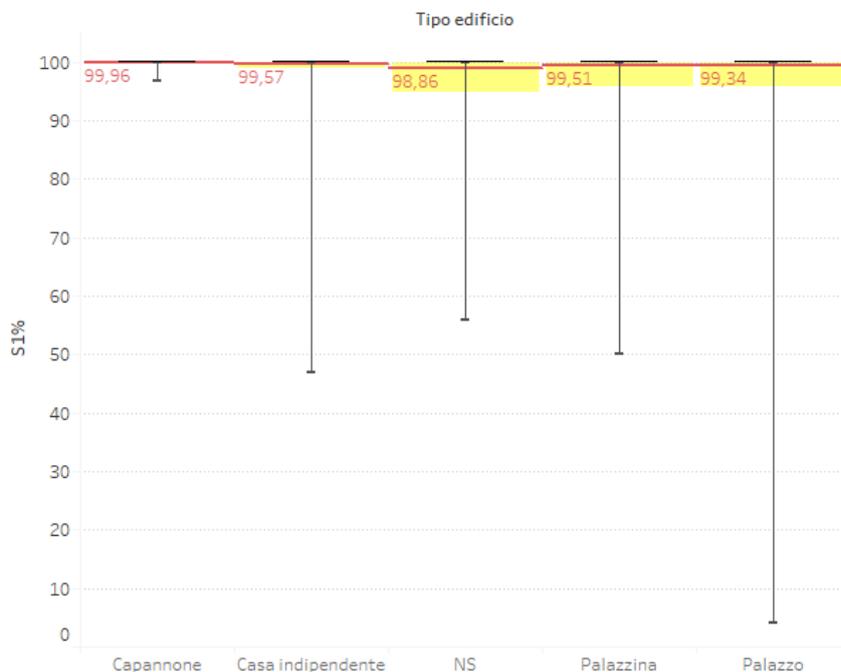


Figura 5.8 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per tipologia di edificio

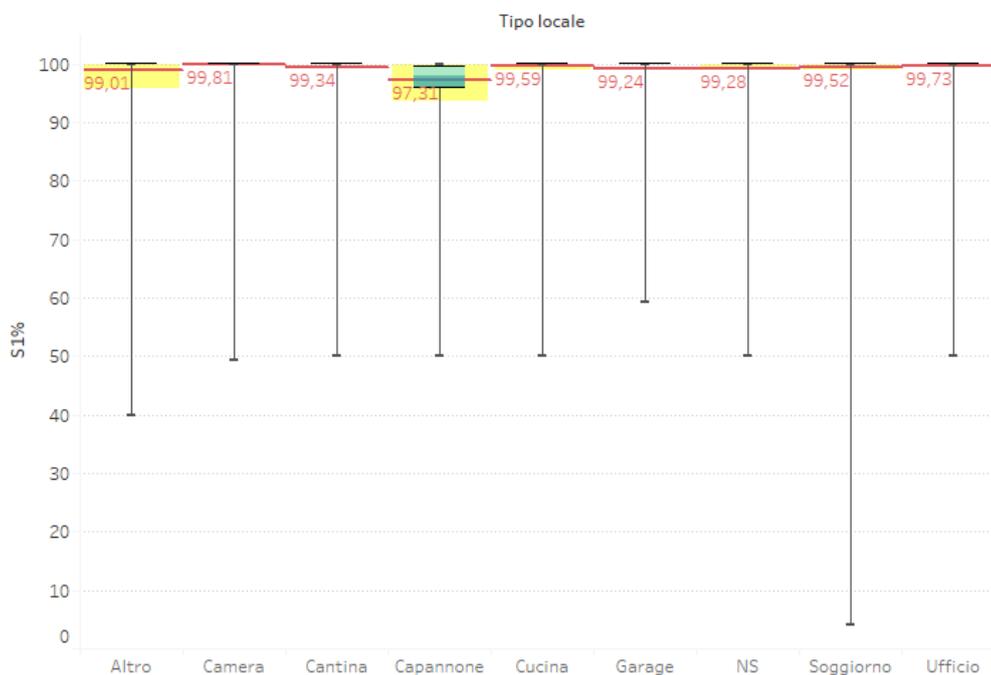


Figura 5.9 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per locale di installazione del DU

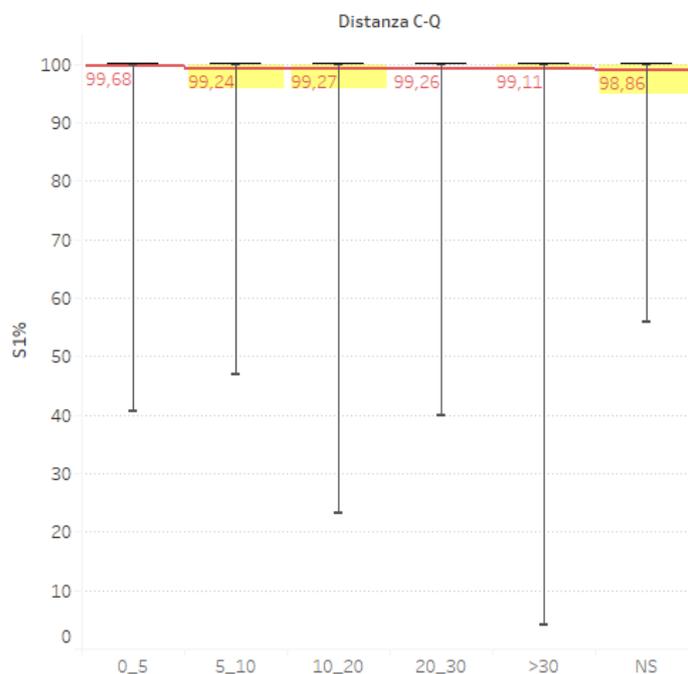


Figura 5.10 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per la distanza stimata in metri fra misuratore elettronico e il quadro elettrico dell'impianto dell'utente

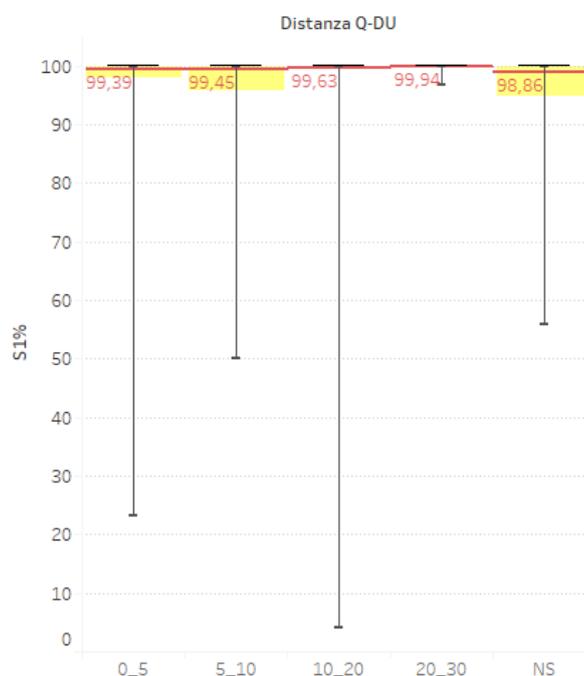


Figura 5.11 - Tasso di successo di comunicazione dei consumi al quarto d'ora per la distanza stimata in metri fra il quadro elettrico dell'impianto dell'utente e il dispositivo utente

5.3 Statistiche di dettaglio del tasso di successo S2

In Figura 5.12 è rappresentata la statistica del tasso di successo S2 misurato in funzione della tipologia di utenza.

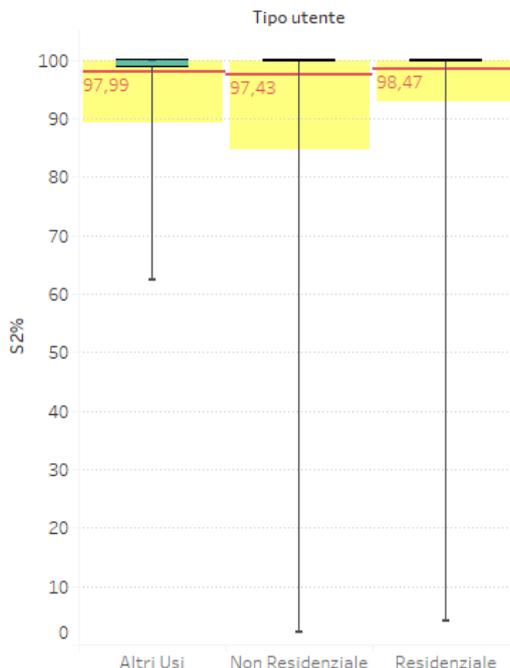


Figura 5.12 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per tipologia di utente

Come per S1, anche in questo caso l'analisi dei dati non rivela particolari influenze di questa caratteristica sulle prestazioni di comunicazione. Rispetto alla corrispondente statistica per S1, in questo caso le bande fra il 5° e 95° percentile risultano più ampie, in accordo con la maggior dispersione dei valori misurati.

In Figura 5.13 è rappresentata la statistica del tasso di successo S2, distinta per ogni modello di dispositivo utente utilizzato. Dal grafico si nota un valore medio di S2 molto simile per i 5 modelli di DU, con un valore leggermente inferiore agli altri per il modello MDU_5.



Figura 5.13 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per i diversi modelli di DU

Analogamente alle figure precedenti, la Figura 5.14 riporta la statistica del tasso di successo S2, calcolata questa volta per ogni fornitore dei dispositivi utente. Dai grafici si nota per i fornitori A, B, e soprattutto C e G, un valore medio di S2 leggermente inferiore agli altri.

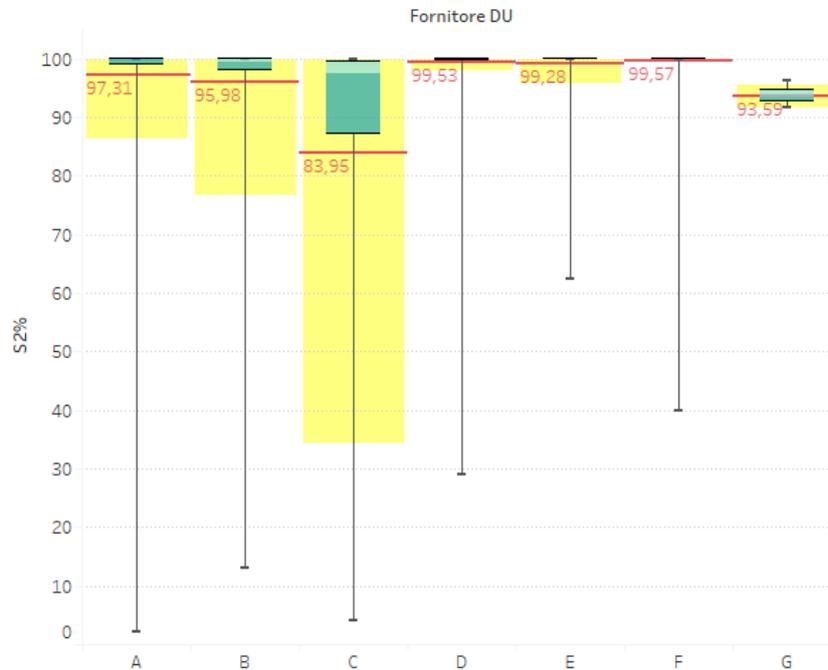


Figura 5.14 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per fornitore di DU

In Figura 5.15 la statistica del tasso di successo S2 è calcolata per le diverse tipologie di edificio coinvolte nelle installazioni del monitoraggio. L'analisi non rivela particolari influenze di questa caratteristica sulle prestazioni di comunicazione.

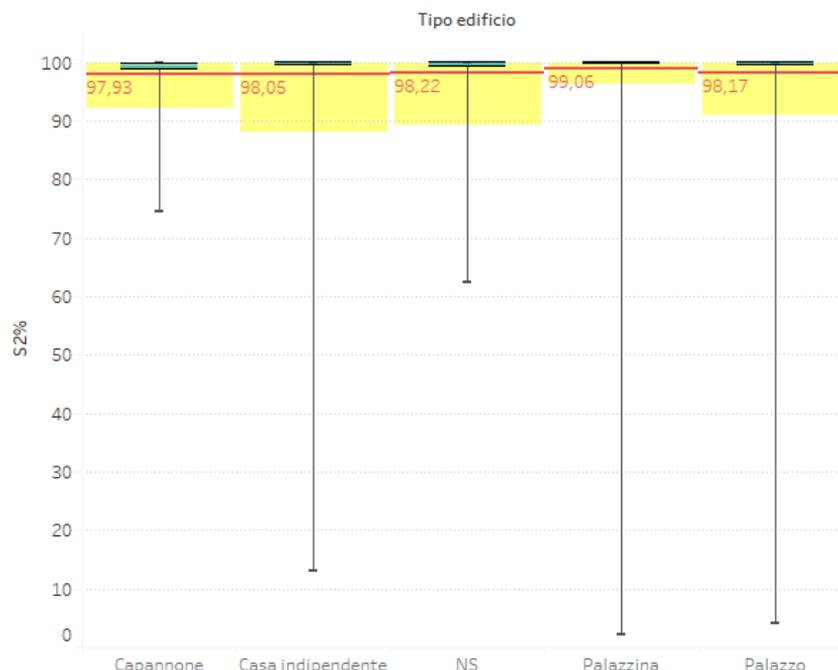


Figura 5.15 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per tipologia di edificio

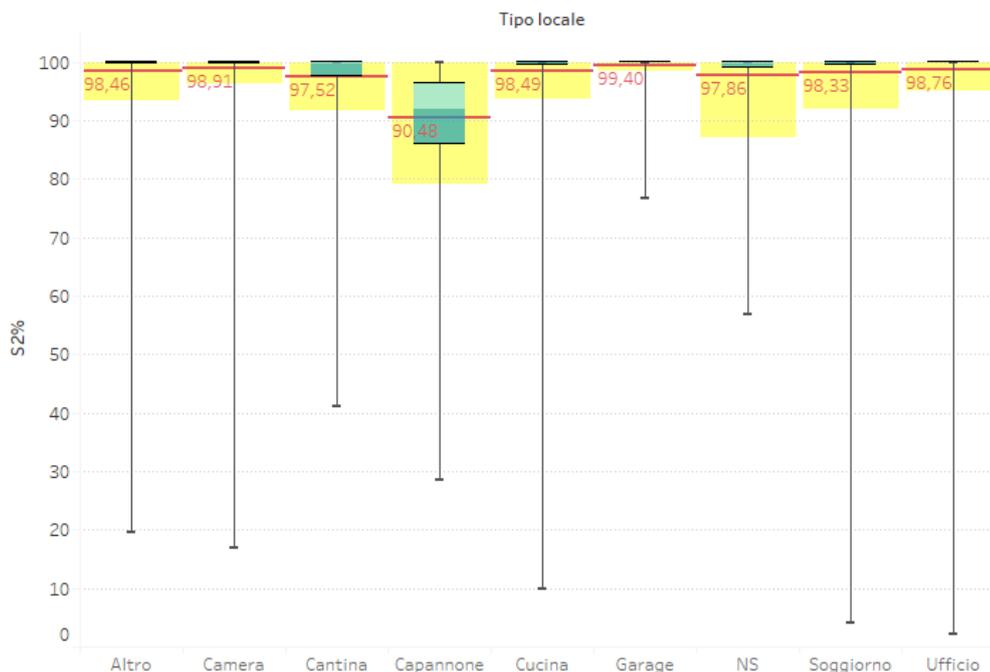


Figura 5.16 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per locale di installazione del DU

In Figura 5.16 è rappresentata la statistica del tasso di successo S2 per le diverse tipologie di locale di installazione del DU nei collegamenti del monitoraggio. Si evidenzia un leggera diminuzione delle prestazioni medie per il caso di installazione in capannone, rispetto ad altri locali tipici di un’abitazione residenziale.

In Figura 5.17 e Figura 5.18 è rappresentata la statistica del tasso di successo S2 per le diverse classi di distanza, rispettivamente fra misuratore elettronico e quadro elettrico, e fra quadro elettrico e dispositivo utente.

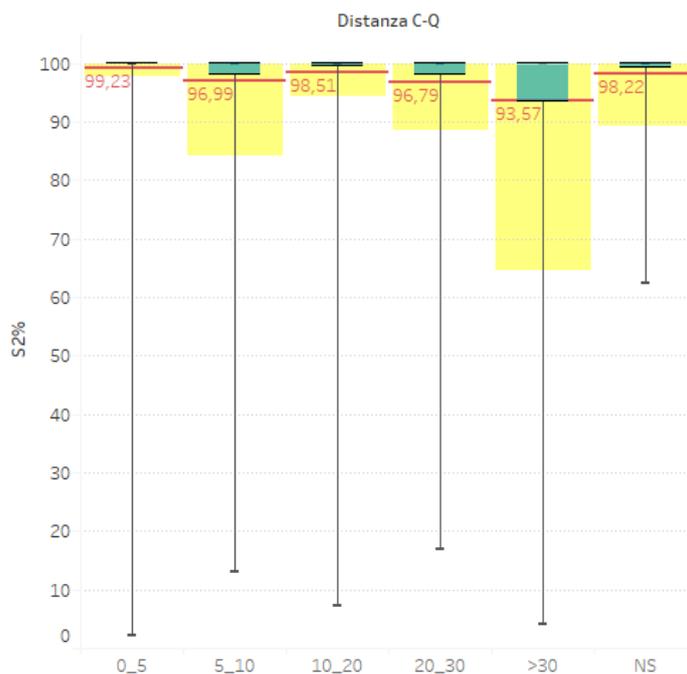


Figura 5.17 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per la distanza stimata in metri fra misuratore elettronico e il quadro elettrico dell’impianto dell’utente

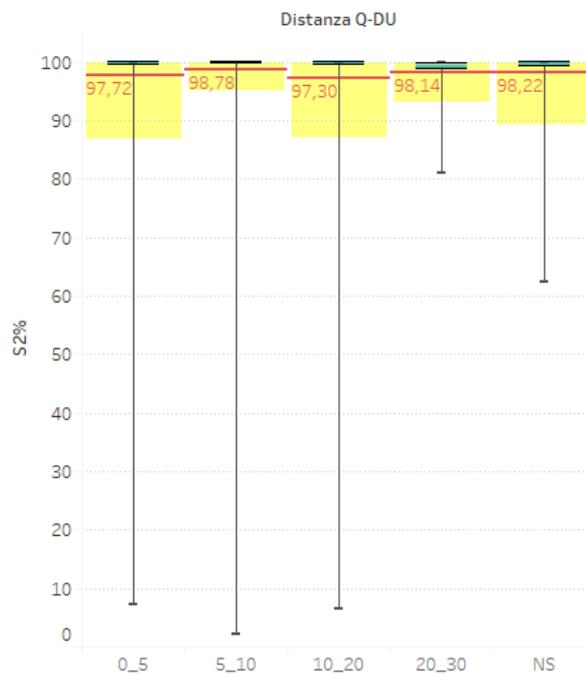


Figura 5.18 - Tasso di successo di comunicazione dei campioni di potenza istantanea per la distanza stimata in metri fra il quadro elettrico dell'impianto dell'utente e il dispositivo utente

6 CONCLUSIONI

Il monitoraggio delle prestazioni della comunicazione *chain 2* con tecnologia PLC in banda C è durato poco più di un anno e ha interessato complessivamente 100 collegamenti fra misuratore elettronico e dispositivo utente di cui 98 hanno fornito dati validi per l'elaborazione statistica dei risultati di prestazione. Il coinvolgimento di utenti finali ha permesso di considerare collegamenti *chain 2* in differenti condizioni reali di installazione, tipologie di utente, tipo di edificio, carichi collegati.

La campagna di monitoraggio ha incontrato un elevato interesse da parte dei fornitori di dispositivi utente; hanno infatti partecipato 7 soggetti, utilizzando complessivamente 5 tipi diversi di dispositivo utente.

Il tasso di successo della comunicazione è stato valutato per tre tipi di messaggi:

- **S1**: tasso di successo dei messaggi inviati ogni quarto d'ora relativi ai campioni della curva di carico di energia attiva;
- **S2**: tasso di successo dei messaggi inviati su evento di attraversamento di soglie di potenza istantanea;
- **S3**: tasso di successo dei messaggi inviati su evento di superamento della potenza disponibile o al raggiungimento di una soglia di consumo programmata.

I tassi di successo giornalieri medi misurati sono rispettivamente: S1= 99,43%, S2= 98,32% e S3= 98,64%.

Le prestazioni di comunicazione per la *chain 2*, osservate sul canale PLC in banda C in condizioni reali di esercizio, risultano quindi ampiamente superiori al 90%, valore corrispondente alle aspettative degli operatori di mercato, come riconosciuto da ARERA nella Delibera 289/2017/R/eel [7] e nel DCO 245-2018 [8], confermando la piena affidabilità del canale di comunicazione.

L'analisi dei risultati non ha evidenziato dipendenze significative del tasso di successo medio da particolari caratteristiche relative alle installazioni: tipo di edificio, tipologie di impianto elettrico di utenza, carichi collegati, ecc.

La distribuzione dei valori del tasso S1 è risultata molto concentrata mentre quella di S2 più dispersa, evidenziando una maggior variabilità delle prestazioni della comunicazione. Questo comportamento può trovare una spiegazione nel fatto che, per il monitoraggio, i messaggi di tipo 1 hanno utilizzato un numero di ripetizioni maggiore di quelli di tipo 2, e quindi hanno una maggiore probabilità di successo. L'effetto del numero di ripetizioni dei messaggi sul tasso di successo della comunicazione potrebbe essere valutato attraverso una sperimentazione della comunicazione in condizioni controllate, in modo da poter quantificare l'incremento del tasso di successo all'aumentare del numero di ripetizioni, a parità di rapporto segnale-rumore sul canale di comunicazione PLC in banda C.

Nella prospettiva di una diffusione su larga scala dell'utilizzo di dispositivi utente, che comporta quindi la presenza di numerosi collegamenti *chain 2* attivi contemporaneamente sulla stessa rete di bassa tensione, un approfondimento relativo all'influenza del numero di ripetizioni dei messaggi sulle prestazioni potrebbe contribuire a stabilire adeguati criteri di configurazione di questo parametro, riducendolo al valore minimo necessario per limitare il traffico e garantendo al contempo il tasso di successo desiderato.

L'architettura di comunicazione sperimentata per la raccolta dei dati del monitoraggio rappresenta un modello applicabile anche per la fornitura agli utenti di servizi per la gestione dei loro consumi energetici e, più in generale, per la partecipazione attiva degli utenti finali ai processi di gestione del sistema elettrico. Per la fornitura di tali servizi, l'esperienza di monitoraggio ha permesso di osservare che l'efficacia complessiva della *chain 2* dipende non solo dalle prestazioni tecniche del canale di comunicazione e dal tipo di dispositivo impiegato, ma anche dalla capacità del fornitore del dispositivo utente di coinvolgere attivamente e assistere con continuità l'utilizzatore, rendendolo consapevole delle piene potenzialità della soluzione.

7 BIBLIOGRAFIA

- [1] ARERA, Deliberazione 222/2017/R/eel, «Sistemi di smart metering di seconda generazione (2G): decisione sul piano di messa in servizio e sulla richiesta di ammissione al riconoscimento degli investimenti in regime specifico di e-distribuzione S.p.a.» 6 aprile 2017.
- [2] e-distribuzione, «Open Meter - Piano di messa in servizio del sistema di smart metering 2G (PMS2)» Giugno 2017.
- [3] CEI, «TS 13-82 Sistemi di misura dell'energia elettrica – Comunicazione con i dispositivi utente. Parte 1: Casi d'uso» CEI, 2017-08.
- [4] CEI, «TS 13-83 Sistemi di misura dell'energia elettrica – Comunicazione con i dispositivi utente. Parte 2: Modello dati e livello applicativo» CEI, 2017-08.
- [5] CEI, «TS 13-84 Sistemi di misura dell'energia elettrica – Comunicazione con i dispositivi utente. Parte 3.1: Profilo protocollare PLC nella banda 125-140 kHz (banda C)» CEI, 2017-08.
- [6] ARERA, Deliberazione 307/2018/R/eel, «Ulteriore estensione della durata del monitoraggio della performance della comunicazione tramite “Chain 2” nel sistema di smart metering di seconda generazione (2G) di e-distribuzione.» 1 Giugno 2018.
- [7] ARERA, Deliberazione 289/2017/R/eel, «Integrazione di procedimento per la valutazione della disponibilità di soluzioni tecnologiche standardizzate volte a supportare funzionalità incrementali dei sistemi di smart metering di energia elettrica in bassa tensione di seconda generazione» 28 aprile 2017.
- [8] ARERA, Documento per la consultazione DCO 245/2018/R/eel, «Funzionalità incrementali della versione 2.1 degli smart meter di seconda generazione per la misura di energia elettrica in bassa tensione» 11 aprile 2018.

8 GLOSSARIO

Termine / Acronimo	Descrizione
ARERA	Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente
AP	Asset Provider
CAP	Codice di Avviamento Postale
CEI	Comitato Elettrotecnico Italiano
CENELEC	Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique – European Committee for Electrotechnical Standardization
CF	Compact Frame
DU	Dispositivo Utente
ESCO	Energy Service Company
FV	Fotovoltaico
MAC	Media Access Control
MQTT	Message Queue Telemetry Transport
NS	Non specificato
PLC	Power Line Communication
PLC-C	Power Line Communication in Banda C (125 kHz - 140 kHz) – CENELEC
POD	Point of Delivery
RSE	Ricerca sul Sistema Energetico – RSE SpA