



POLITECNICO DI MILANO

DIPARTIMENTO DI ENERGIA

Sintesi delle analisi dei flussi energetici
sulla rete di Distribuzione esercita da e-Distribuzione

Analisi comparata in relazione al DCO 515/2021/R/EEL

Marco Merlo
Aleksandar Dimovski
Matteo Moncecchi
Davide Falabretti
Alberto Berizzi

Dicembre 2021

Sommario

1. Introduzione	1
Nota metodologica	2
2. Sintesi delle evidenze numeriche rilevate nell'analisi dei flussi energetici relativi all'area di Foggia	3
Flussi energetici in Cabina Primaria.....	3
Flussi energetici delle utenze connesse in MT	9
Stima della potenza reattiva capacitiva corrispondete alle linee in cavo	18
Flussi energetici delle utenze connesse in BT	18
3. Sintesi delle evidenze numeriche rilevate nell'analisi dei flussi energetici relativi all'area di Napoli	30
Flussi energetici in Cabina Primaria.....	30
Flussi energetici delle utenze connesse in MT	35
Stima della potenza reattiva capacitiva corrispondete alle linee in cavo	42
Flussi energetici delle utenze connesse in BT	43
4. Sintesi delle evidenze numeriche rilevate nell'analisi dei flussi energetici relativi a CP selezionate a campione nel territorio italiano	52
Flussi energetici in Cabina Primaria.....	52
Flussi energetici delle utenze connesse in MT	57
Stima della potenza reattiva capacitiva corrispondete alle linee in cavo	58
Flussi energetici delle utenze connesse in BT	59
5. Analisi comparata dei flussi energetici ricostruiti nelle varie aree in analisi	68
6. Analisi comparata in relazione al DCO 515/2021/R/EEL	69

1. Introduzione

Il presente rapporto riporta, in modo sintetico, le evidenze rilevate da Politecnico di Milano nell'analisi dei flussi energetici su alcune Cabine Primarie (CP) della rete di distribuzione esercita da *e-Distribuzione*.

Le analisi sono state sviluppate a partire dai profili energetici, campionati ai 15 minuti, relativamente agli anni 2016, 2017 e 2019. Sono stati esclusi dall'analisi gli anni 2020 e 2021 in relazione ad una plausibile atipicità degli stessi, a causa della Pandemia COVID.

Le reti analizzate si riferiscono a tre fattispecie differenti:

- secondo motivazioni concordate con il TSO Nazionale (TERNA), sono state selezionate diverse CP nell'area territoriale di Foggia, corrispondenti a nodi ritenuti critici ai fini dell'interferenza fra la rete di distribuzione locale e la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN). Al fine di avere un numero rappresentativo di CP in analisi, si sono analizzate le CP corrispondenti ai nodi RTN ritenuti critici ed a quelli limitrofi;
- secondo motivazioni concordate con il TSO Nazionale (TERNA), sono state selezionate diverse CP nell'area della Regione Campania, corrispondenti a nodi ritenuti critici ai fini dell'interferenza fra la rete di distribuzione locale e la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN);
- sono poi state analizzate 2 ulteriori CP, selezionate a campione, secondo le seguenti motivazioni:
 - CP BRUSCIANO, selezionata in accordo fra e-Distribuzione e TERNA come CP del territorio campano caratterizzata da iniezioni di potenza reattiva (verso la RTN) particolarmente sostenute, ovvero selezionata a titolo di verifica delle analisi di cui al punto precedente;
 - CP PENNE, nella regione Abruzzo, caratterizzata da un rilevante incremento dell'estensione delle linee in cavo (tali interventi si contestualizzano nelle azioni di miglioramento della resilienza della rete di distribuzione rispetto al fenomeno dei manicotti di ghiaccio).

Le analisi sono state indirizzate allo studio dei flussi reattivi, andando a dettagliare:

- il transito complessivo registrato in CP;
- i flussi di potenza corrispondenti agli utenti, attivi e passivi, afferenti alla rete in Media Tensione (MT);
- i flussi di potenza corrispondenti agli utenti, attivi e passivi, afferenti alla rete in Bassa Tensione (BT) – limitatamente ai soggetti con potenza contrattuale superiore ai 55 kW (ovvero al sottoinsieme di utenti per i quali era disponibile la misura quarantaria);
- il contributo capacitivo corrispondente alle linee elettriche, stimato in funzione della lunghezza della rete MT in cavo (interrato e/o aereo);
Si precisa che quanto elaborato corrisponde ad una stima indicativa e non ad un calcolo esatto, in particolare è stato quantificato solo il contributo dovuto alle capacità di servizio, ovvero non è stato valutato il contributo induttivo corrispondente ai parametri longitudinali;
- i flussi energetici correlabili agli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW, stimati come differenza delle grandezze di cui ai punti precedenti.

Rispetto ai dati ottenuti sono state sviluppate opportune valutazioni analitiche volte a caratterizzare il comportamento energetico delle cabine primarie e dei clienti attivi e passivi ad esse sottese, andando ad individuare fattori tali da motivare eventuali evoluzioni nel tempo degli scambi energetici. Nel seguito del presente documento si sintetizzano le principali evidenze di tali analisi¹.

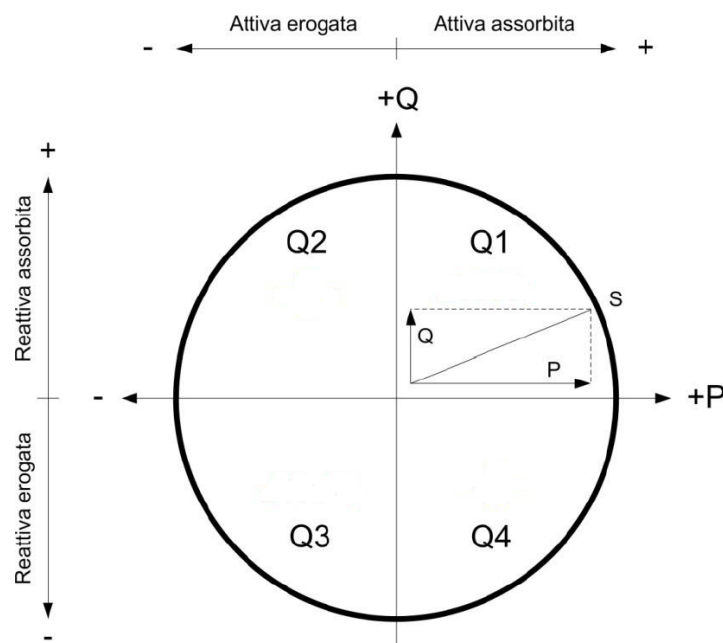
¹ Il rapporto di dettaglio, completo di tutte le analisi numeriche sviluppate, è a disposizione di e-Distribuzione, a cui si rimanda per ogni eventuale approfondimento.

In chiusura del rapporto si riportano inoltre alcune considerazioni comparative rispetto al Documento di Consultazione 515/2021/R/EEL, evidenziando congruenze e difformità fra l'evidenza numerica dei dati analizzati e quanto riportato e proposto nel DCO.

Nota metodologica

Nel presente rapporto ci si riferisce ad una misura dei flussi energetici su 4 quadranti, intendendo che:

- Potenze attive positive siano correlate ad un assorbimento da parte degli utenti, che quindi vanno a comportarsi come carichi (quadranti Q1 e Q4);
- Potenze attive negative siano correlate ad una iniezione da parte degli utenti, che quindi vanno a comportarsi come generatori (quadranti Q2 e Q4);
- Potenze reattive positive siano correlate ad un assorbimento da parte degli utenti, che quindi vanno a comportarsi come reattanze induttive (quadranti Q1 e Q2);
- Potenze reattive negative siano correlate ad una iniezione da parte degli utenti, che quindi vanno a comportarsi come reattanze capacitive (quadranti Q3 e Q4);



2. Sintesi delle evidenze numeriche rilevate nell'analisi dei flussi energetici relativi all'area di Foggia

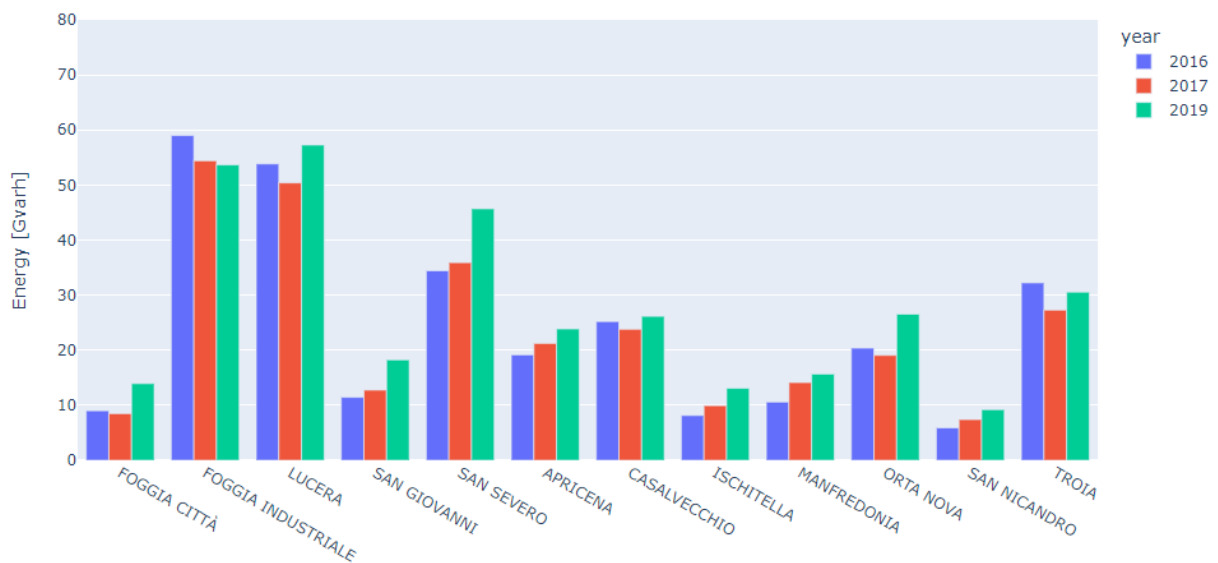
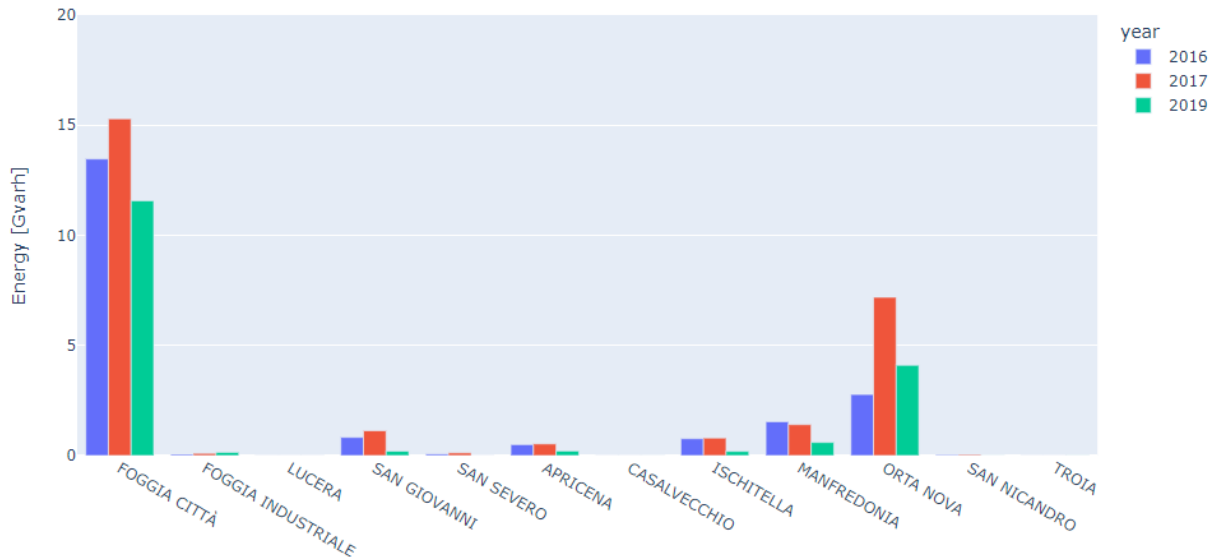
In relazione all'analisi dei flussi energetici registrati nell'area di FOGGIA, nei limiti dei dati disponibili e delle analisi numeriche (cfr. causa / effetto) sviluppabili, così come motivato nell'Introduzione del presente rapporto, si identificano le evidenze quantitative riportate nel seguito.

Flussi energetici in Cabina Primaria

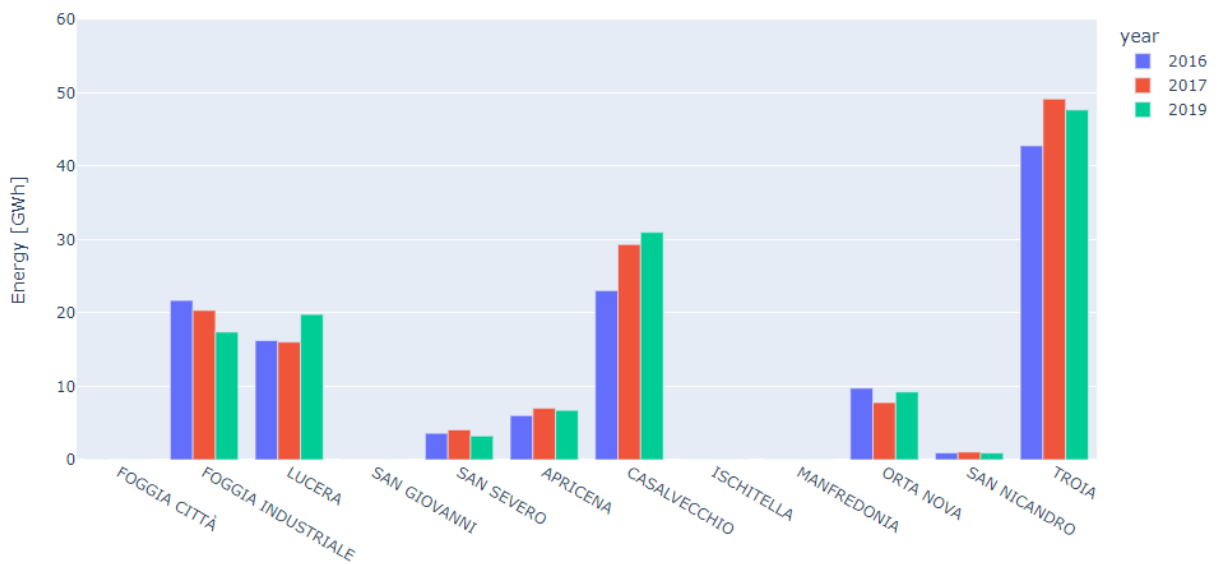
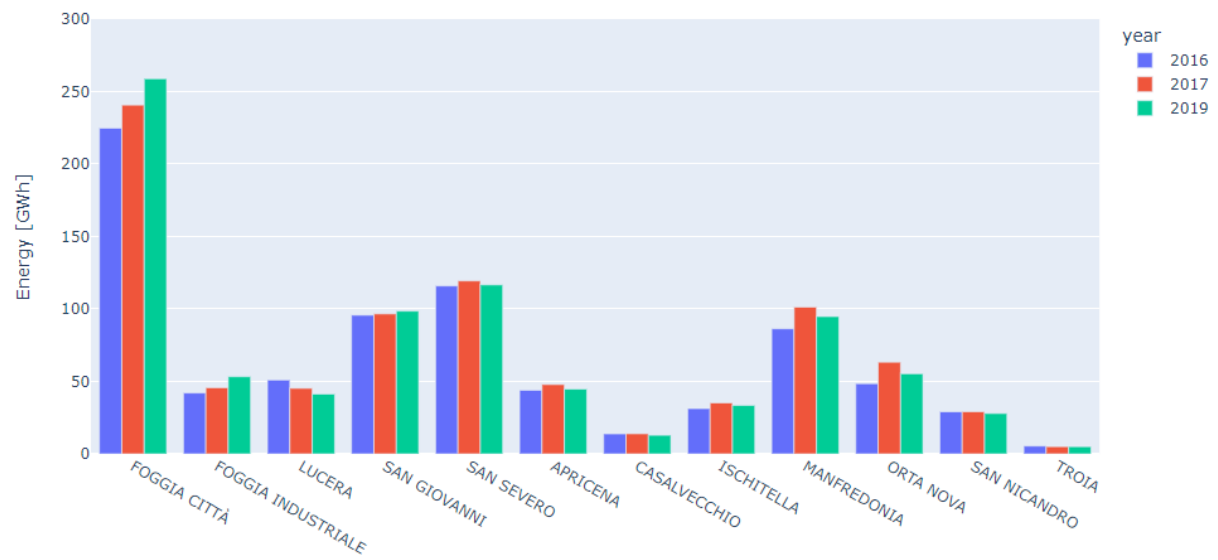
- Rispetto all'area territoriale di Foggia, si sono analizzati, nel dettaglio massimo disponibile, i flussi di potenza dall'anno 2016 al 2019 delle seguenti CP:
 - Foggia Città
 - Foggia Industriale
 - San Giovanni
 - San Severo
 - Lucera
 - Apricena
 - Casalvecchio
 - Manfredonia
 - San Nicandro
 - Orta Nova
 - Troia
 - Ischitella



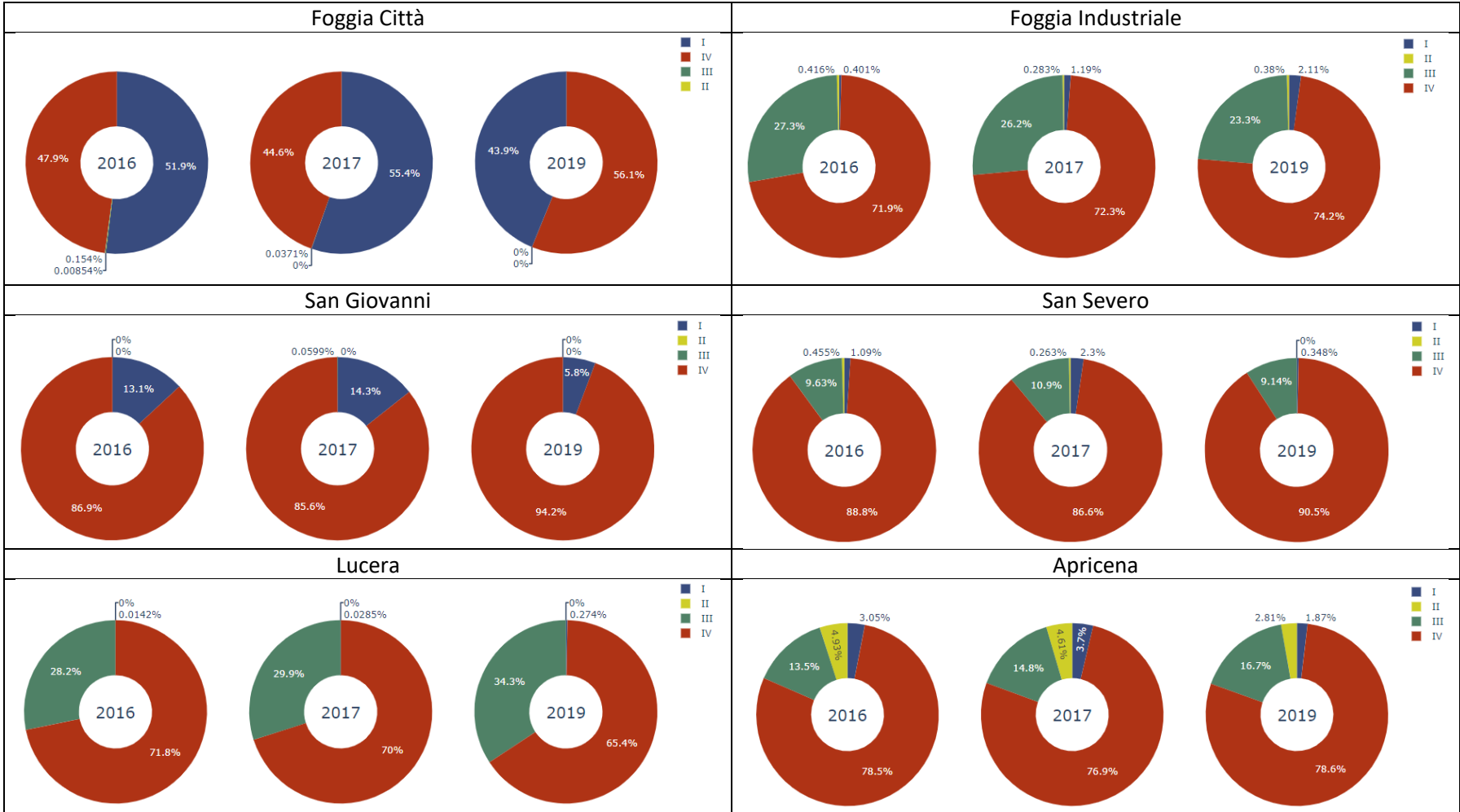
- Le Cabine Primarie analizzate entro l'area di Foggia evidenziano un comportamento marcatamente capacitivo, con rilevanti iniezioni reattive sulla RTN. Fa eccezione la CP FOGGIA CITTÀ dove il comportamento permane induttivo, anche se con trend decrescente negli anni. Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio numerico dei flussi di energia reattiva prelevata o iniettata nelle diverse CP (si presti attenzione alla differente scala delle ordinate, adottata per esigenze di leggibilità, dei due grafici).



- Eccettuata la CP FOGGIA CITTÀ, le Cabine Primarie analizzate entro l'area di Foggia evidenziano carichi ed iniezioni attive con variazioni, di anno in anno, piuttosto modeste. Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio numerico di tali flussi (si presti attenzione alla differente scala delle ordinate, adottata per esigenze di leggibilità, dei due grafici).



La serie di grafici in Figura 7 riporta, per ciascuna delle CP dell'area in analisi, un'indicazione percentuale della distribuzione delle misure quartinarie sui quattro quadranti delle energie scambiate con la RTN. Rispetto alla modalità di funzionamento che storicamente caratterizza le reti di distribuzione (energia attiva e reattiva che fluisce dalla RTN verso la CP, tipica di un sistema passivo che alimenta carichi ohmico-induttivi; quadrante Q1, in blu), si osserva che nel campione di reti in esame questa rappresenta una condizione di esercizio tendenzialmente minoritaria, con la maggior parte degli scambi nel quadrante Q4 (potenza attiva dalla RTN alla CP; comportamento prevalente della rete di distribuzione da condensatore).



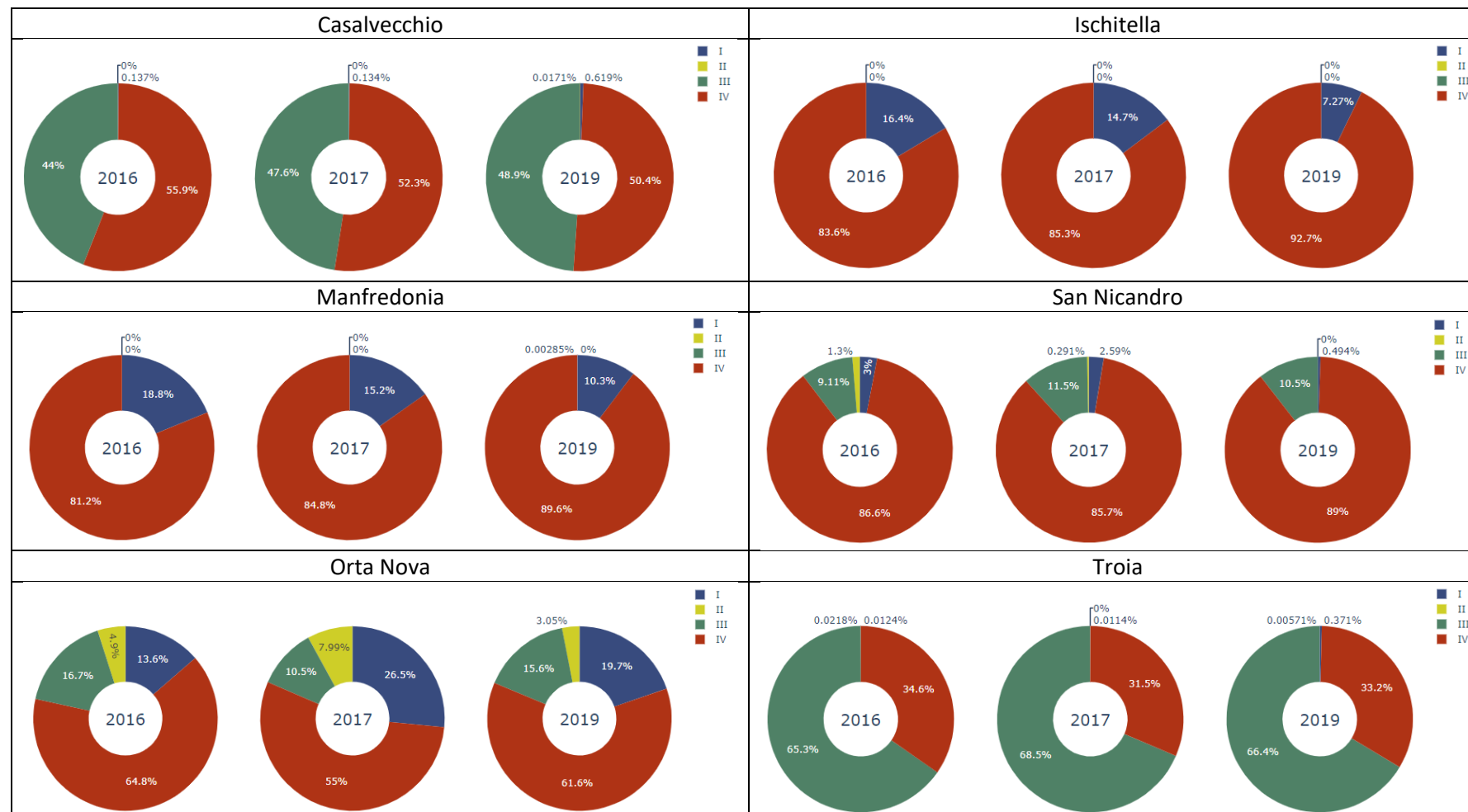


Figura 7. Distribuzione percentuale, ore anno, dei flussi energetici rilevati nelle varie CP rispetto ai 4 quadranti di misura – trend registrati negli anni 2016, 2017 e 2019

- Come sopra evidenziato, il comportamento energetico complessivo registrato nelle CP dell'area in analisi porta in evidenza un marcato fenomeno di iniezione di potenza reattiva, dalla rete di distribuzione verso la RTN, con un trend a crescere dal 2016 al 2019 (la crescita è indicativamente pari al 20%).

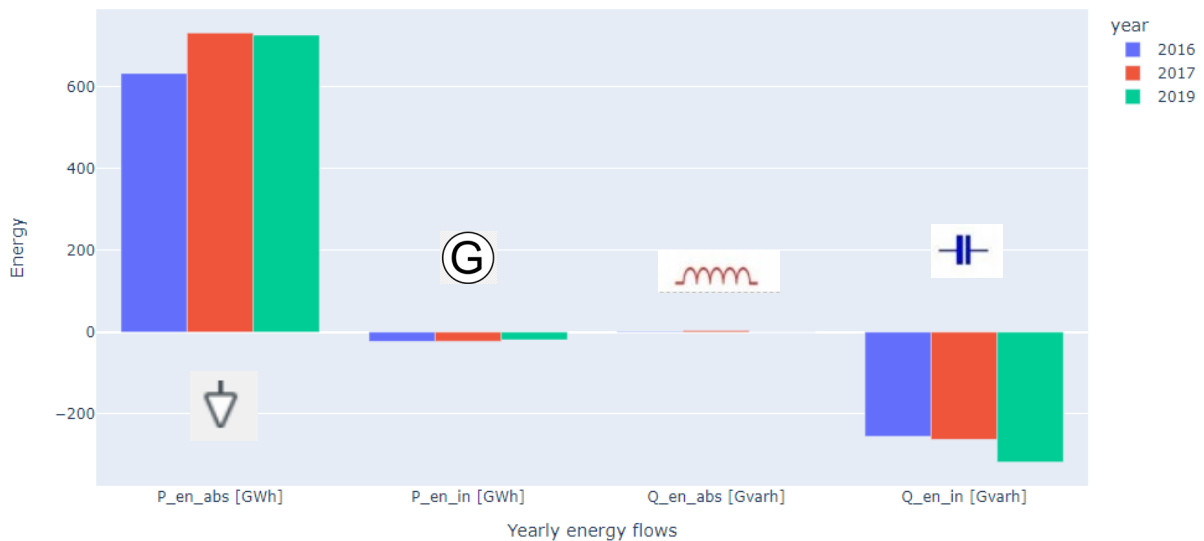


Figura 8. Comportamento energetico (i.e. flussi energetici complessivi) attivo (sulla sinistra) e reattivo (sulla destra), complessivo registrato sulle CP in analisi

Per meglio evidenziare il fenomeno descritto, nelle figure seguenti si riporta la distribuzione dei campioni dei flussi di potenza, attiva e reattiva, registrata sull'intero set di CP in analisi, nei tre anni in osservazione, 2016, 2017 e 2019, differenziando i campioni in base alla fascia oraria di riferimento (Fascia F1 in rosso, Fascia F2 in giallo, Fascia F3 in blu).

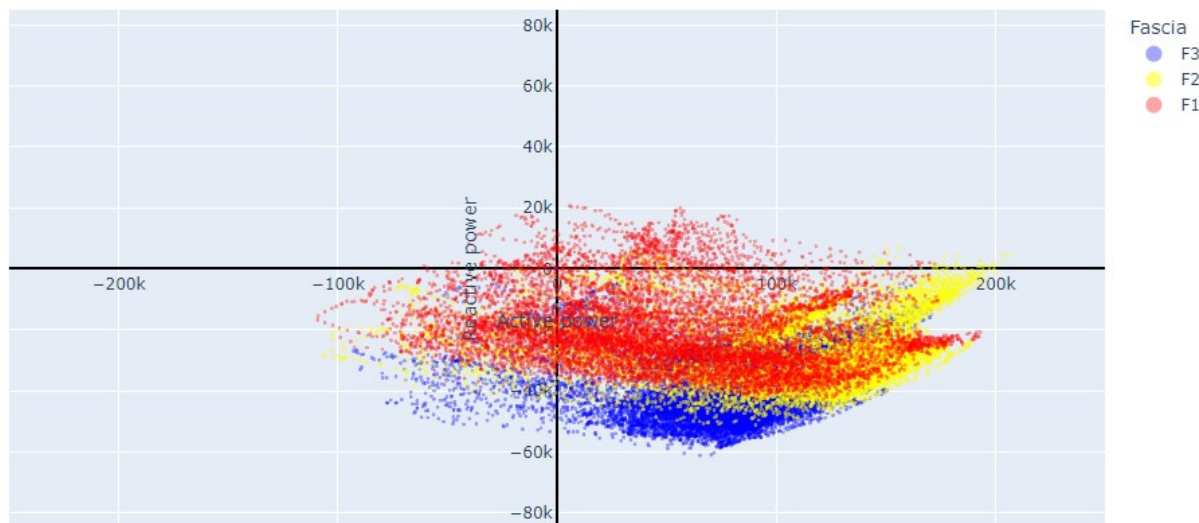


Figura 9. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quattoraria per l'anno 2016, nell'intero set di CP in analisi – area di Foggia (potenza in kW/kvar).

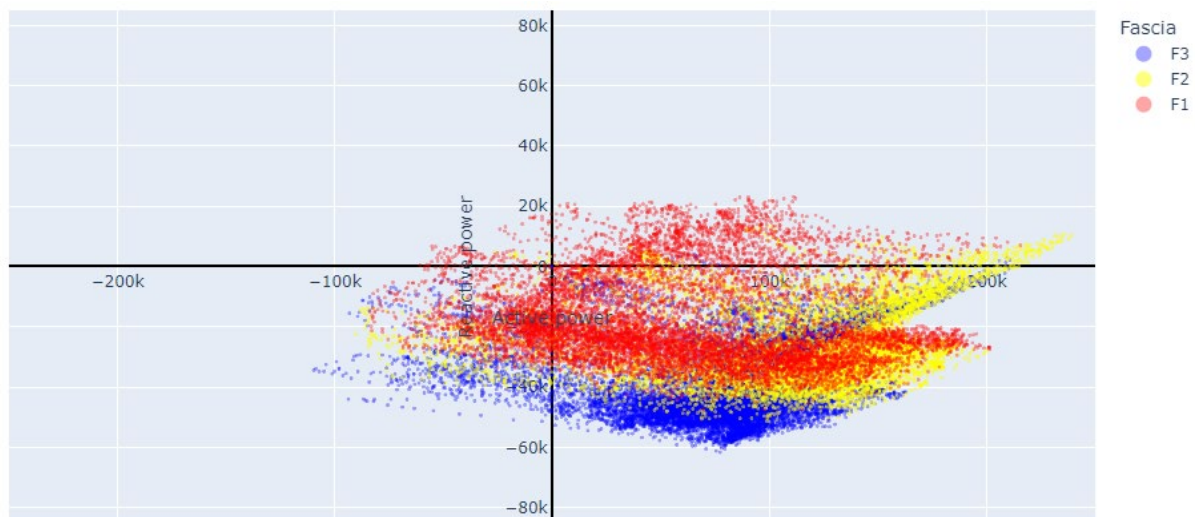


Figura 10. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2017, nell'intero set di CP in analisi – area di Foggia (potenza in kW/kvar).

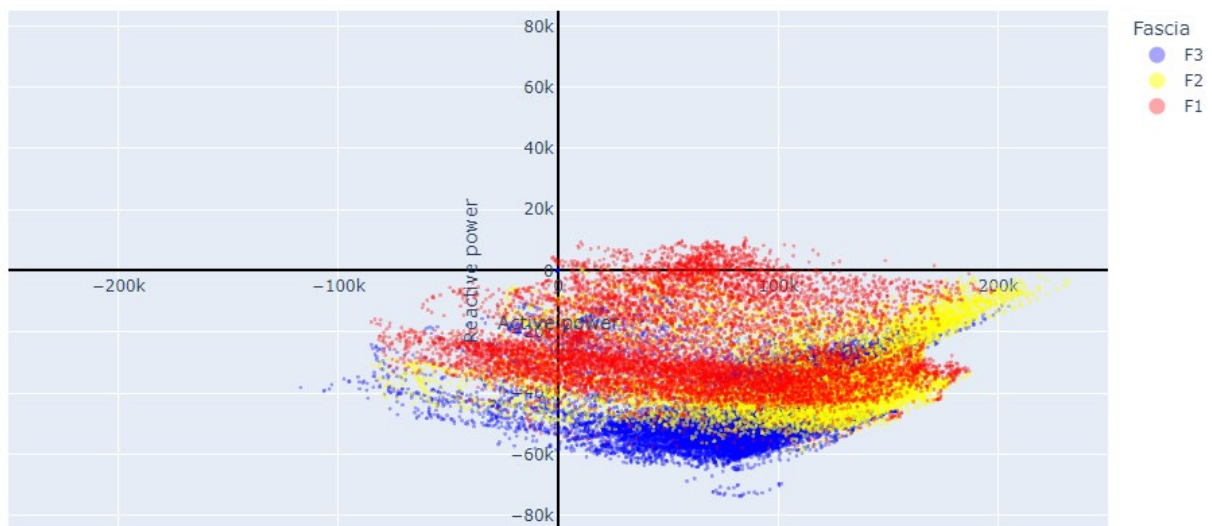


Figura 11. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2019, nell'intero set di CP in analisi – area di Foggia (potenza in kW/kvar).

Flussi energetici delle utenze connesse in MT

- Rispetto alle Cabine Primarie in analisi si è provveduto al calcolo dei flussi energetici reattivi relativi agli utenti, attivi e passivi, afferenti alla rete di Media Tensione. Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio numerico di tali flussi.
Quantitativamente si ritrova un comportamento induttivo degli utenti MT, purtuttavia si registrano (soprattutto nelle ore serali) iniezioni capacitive di minore entità.

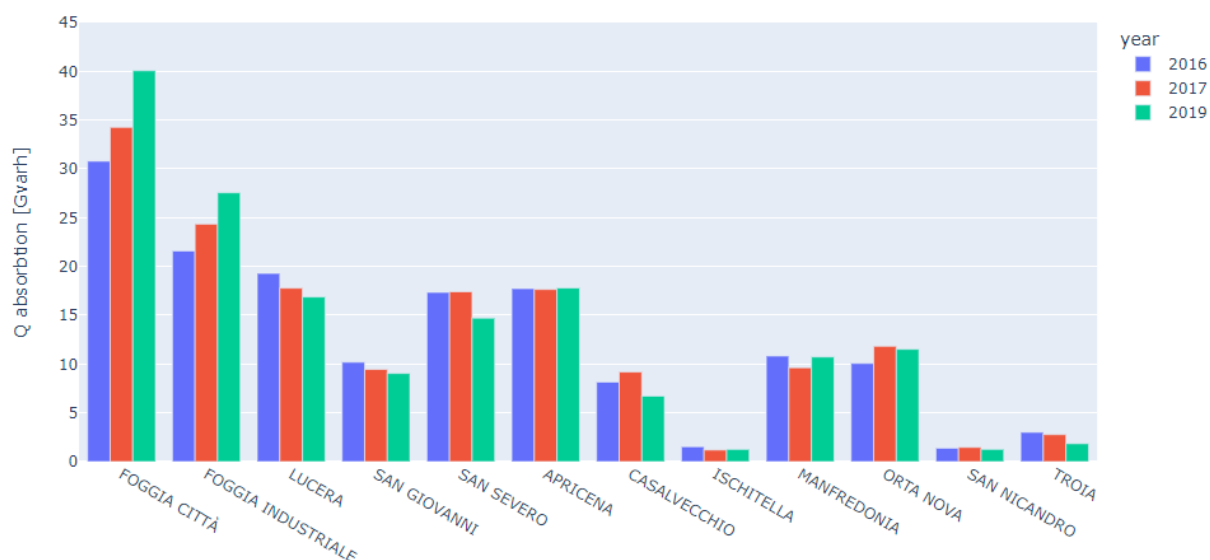


Figura 12. Energia reattiva assorbita (cfr. induttiva – Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

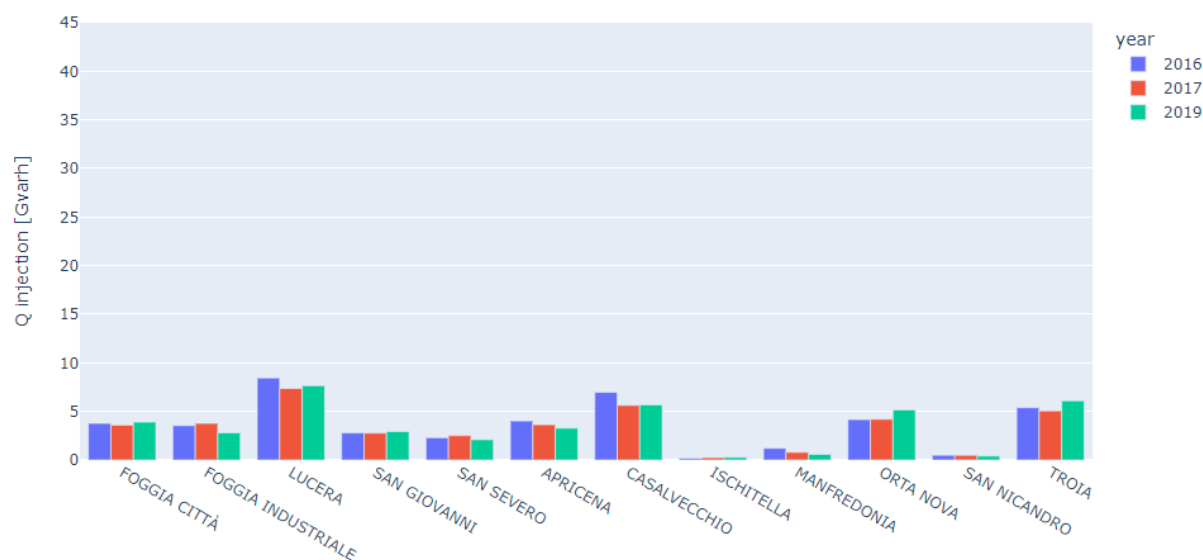


Figura 13. Energia reattiva iniettata (cfr. capacitiva – Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

- Rispetto alla CP analizzate, a livello generale non si registrano utenti MT che abbiano un comportamento marcatamente errato (i.e. ad iniettare potenza reattiva), purtuttavia nelle ore notturne si osservano diverse utenze con un comportamento capacitivo, utenze verso le quali si potrà (e si dovrà) andare ad intervenire secondo le modalità che verranno concordate fra e-Distribuzione ed ARERA.
- Nel dettaglio, i flussi reattivi capacitivi, registrati sugli utenti MT, sono tipicamente correlati ad iniezioni nelle ore notturne, o comunque alle ore di ridotto assorbimento, che probabilmente si possono attribuire al comportamento capacitivo della rete interna alle singole utenze. Nel seguito si riportano due esemplificazioni, una relativa ad un utente attivo ed una ad un utente passivo:



Figura 14. Comportamento capacitivo (nelle ore notturne) di un utente attivo (fotovoltaico), probabilmente associato alla natura capacitiva della rete interna dell'utenza in analisi (valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1).

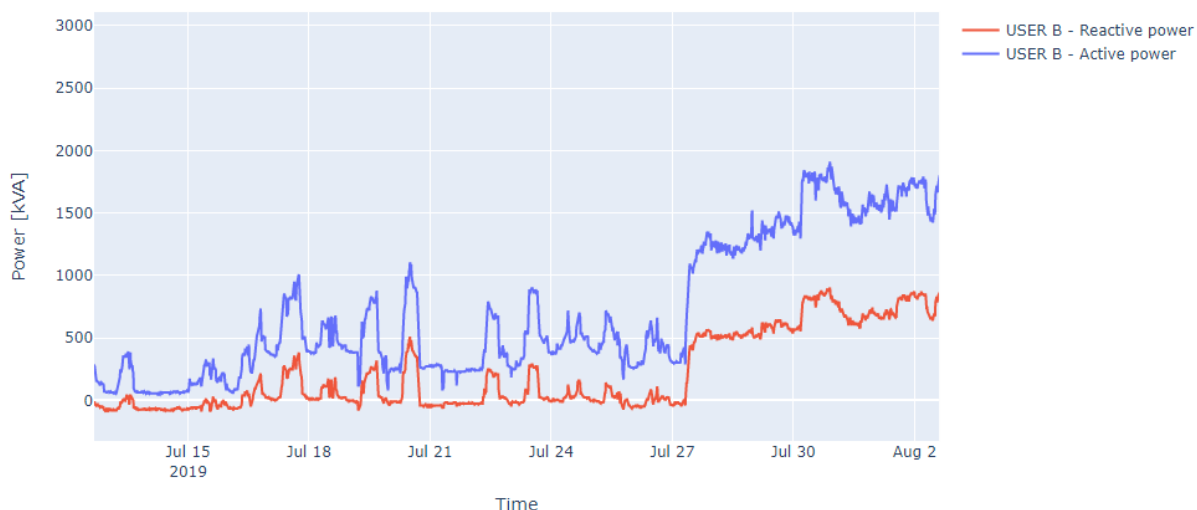


Figura 15. Comportamento capacitivo (nelle ore di basso assorbimento) di un utente passivo, probabilmente associato alla natura capacitiva della rete interna dell'utenza in analisi (valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1).

- Per approfondire e quantificare in modo trasparente il fenomeno, si è provveduto ad un'analisi statistica del numero di utenti MT che hanno evidenziato una qualche immissione di energia reattiva nell'arco dei tre anni evidenziati. Il dato, riportato nelle tabelle seguenti in termini di iniezioni di potenza reattiva per 100 Mvarh/anno piuttosto che per almeno 1 Gvarh/anno, evidenzia un ridottissimo numero di utenti MT che manifestano un reale problema in tale direzione (ovvero si registra solamente un ridotto numero di utenti che, nelle ore notturne, presentano modeste iniezioni reattive).

	2016	2017	2019
FOGGIA CITTÀ	9 su 82	10 su 82	10 su 89
FOGGIA INDUSTRIALE	10 su 70	9 su 73	8 su 72
LUCERA	15 su 92	11 su 87	10 su 81
SAN GIOVANNI	3 su 35	3 su 34	3 su 33
SAN SEVERO	5 su 104	5 su 96	4 su 94
APRICENA	11 su 122	12 su 120	10 su 118
CASALVECCHIO	16 su 46	14 su 42	15 su 42
ISCHITELLA	0 su 17	1 su 17	1 su 16
MANFREDONIA	5 su 35	5 su 33	4 su 34
ORTA NOVA	7 su 44	7 su 44	9 su 45
SAN NICANDRO	0 su 19	1 su 19	0 su 18
TROIA	6 su 26	5 su 26	5 su 20

Figura 16. Numero di utenti MT, rispetto ai totali presenti, che hanno registrato iniezioni di potenza reattiva per almeno 100 Mvarh/anno

	2016	2017	2019
FOGGIA CITTÀ	1 su 82	1 su 82	1 su 89
FOGGIA INDUSTRIALE	0 su 70	0 su 73	0 su 72
LUCERA	2 su 92	2 su 87	2 su 81
SAN GIOVANNI	1 su 35	1 su 34	1 su 33
SAN SEVERO	0 su 104	0 su 96	0 su 94
APRICENA	0 su 122	0 su 120	0 su 118
CASALVECCHIO	1 su 46	0 su 42	0 su 42
ISCHITELLA	0 su 17	0 su 17	0 su 16
MANFREDONIA	0 su 35	0 su 33	0 su 34
ORTA NOVA	1 su 44	1 su 44	1 su 45
SAN NICANDRO	0 su 19	0 su 19	0 su 18
TROIA	2 su 26	2 su 26	3 su 20

Figura 17. Numero di utenti MT, rispetto ai totali presenti, che hanno registrato iniezioni di potenza reattiva per almeno 1 Gvarh/anno

- Rispetto ai medesimi utenti MT si sono valutati anche i flussi di potenza attiva, rilevando un sostanziale equilibrio delle iniezioni ed un generale incremento degli assorbimenti, in particolare per le CP relative ad aree più densamente popolate (e.g. CP FOGGIA CITTÀ).

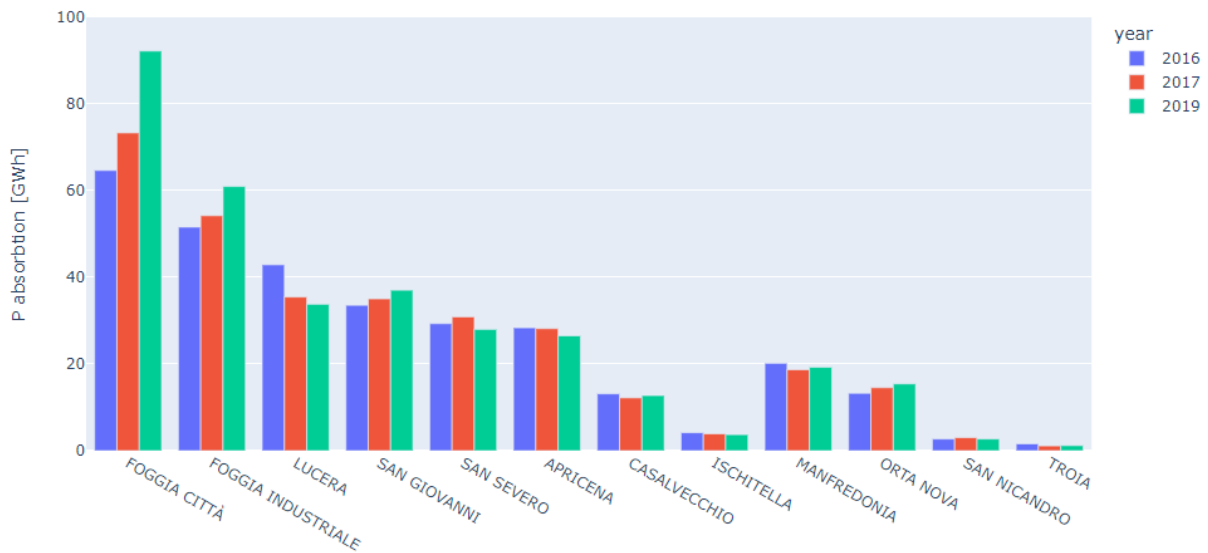


Figura 18. Energia attiva prelevata (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

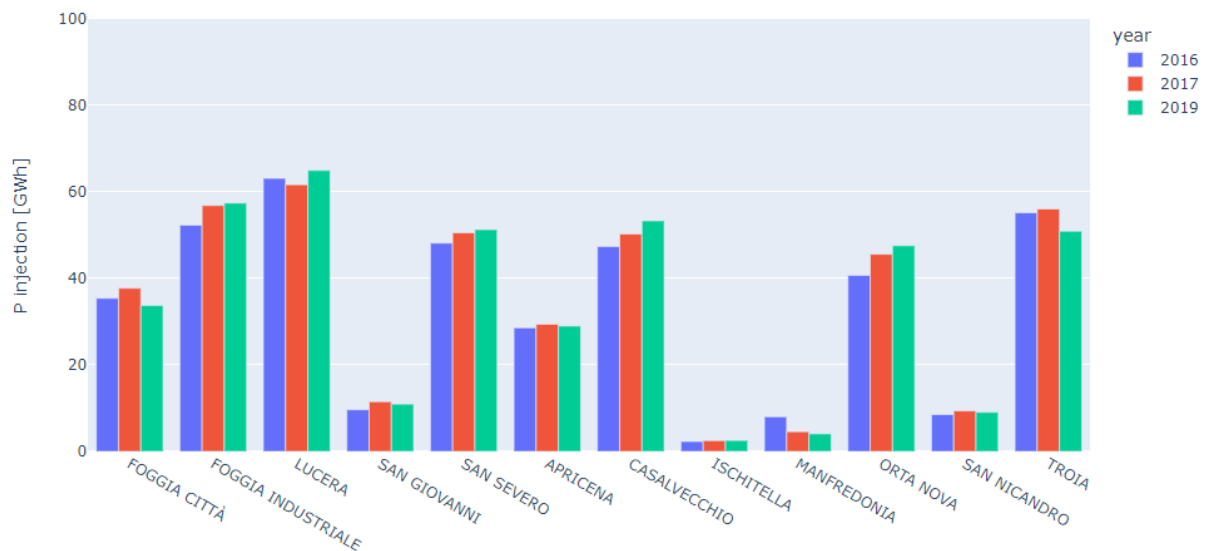


Figura 19. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

- Riportando i risultati su un diagramma a 4 quadranti, e differenziando i singoli campioni con colori corrispondenti alle fasce orarie della tariffa energetica, si nota un marcato trend verso iniezioni capacitive nella fascia F3, purtuttavia tali iniezioni non si ritrovano (se non marginalmente) negli utenti MT.

Nel seguito si riporta il dettaglio relativo alla CP FOGGIA CITTÀ ed alla CP SAN SEVERO. La prima corrisponde ad una configurazione ad elevata densità abitativa e presenta un profilo complessivo marcatamente passivo (i.e. ad assorbire potenza attiva); la seconda corrisponde ad una configurazione in cui si ha invece una maggiore presenza di utenti attivi connessi alla rete in MT (da intendersi come rapporto rispetto agli utenti passivi) ed in cui si è registrato un regolare incremento delle iniezioni di energia reattiva nella RTN.

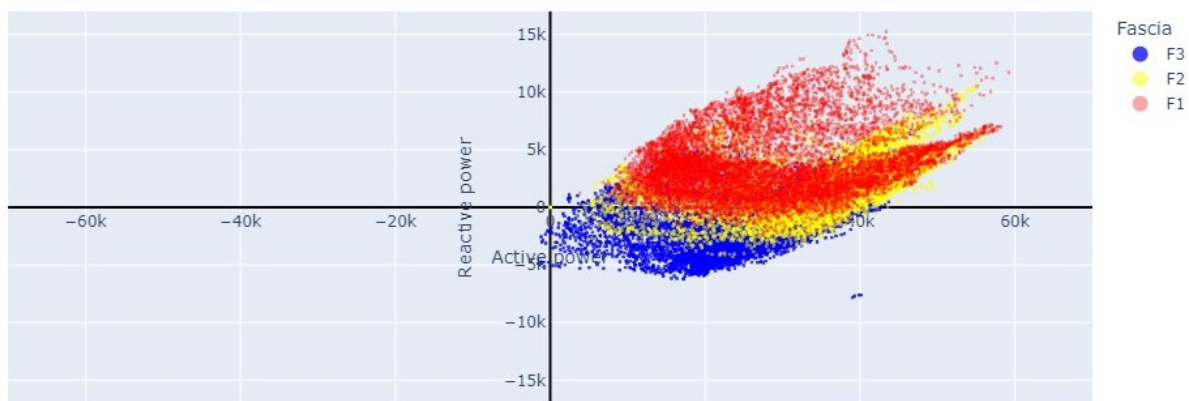


Figura 20. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, registrati nella CP FOGGIA CITTÀ nell'anno 2017

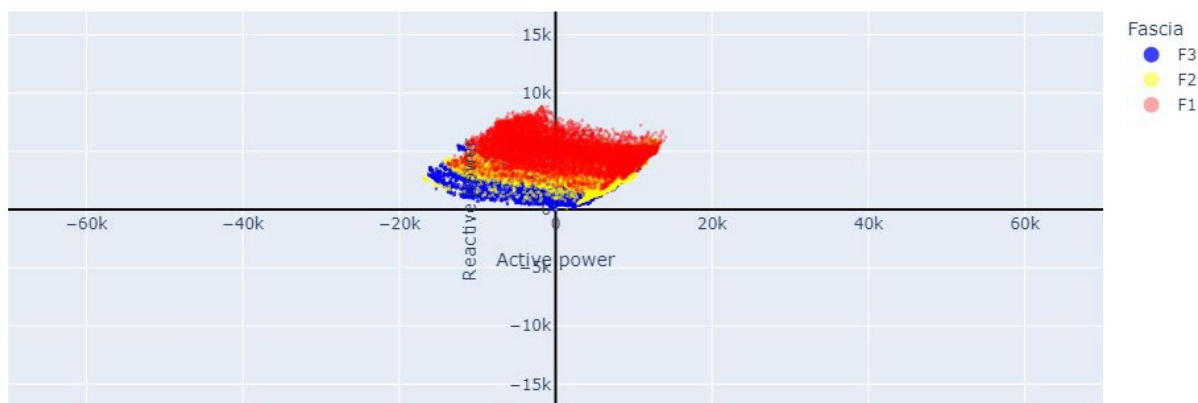


Figura 21. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, correlati agli utenti MT afferenti alla CP FOGGIA CITTÀ nell'anno 2017

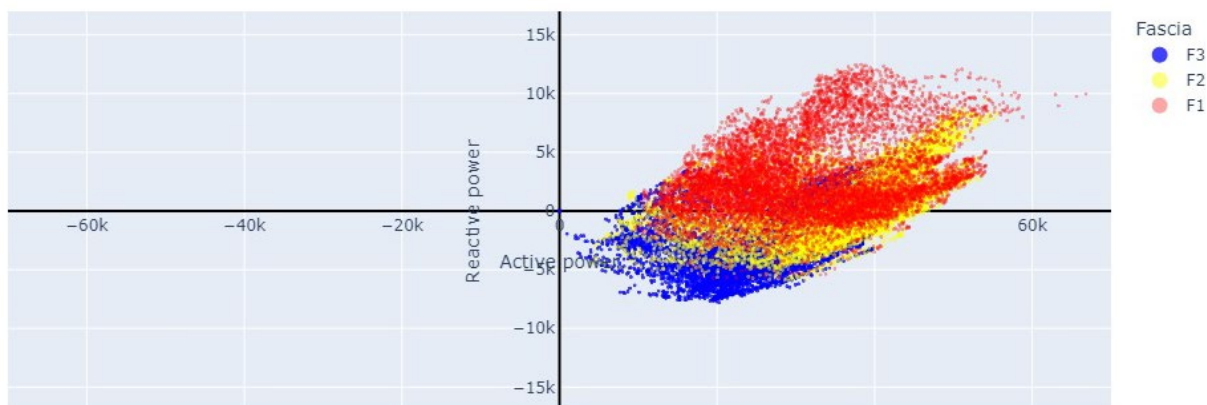


Figura 22. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, registrati nella CP FOGGIA CITTÀ nell'anno 2019

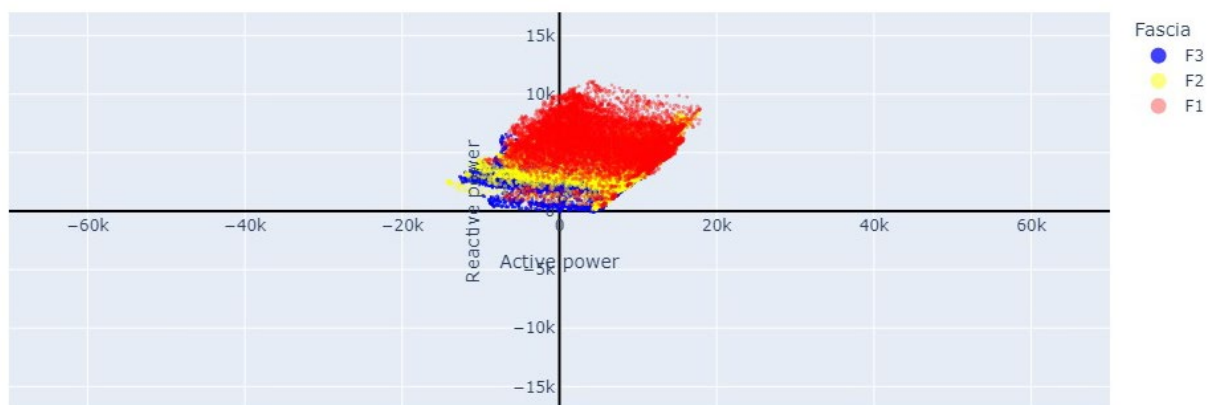


Figura 23. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, correlati agli utenti MT afferenti alla CP FOGGIA CITTÀ nell'anno 2019

- Nella CP FOGGIA CITTÀ si registra un marcato incremento dell'energia reattiva immessa nella RTN, in particolare, come evidenziato dalla figura seguente, questo fenomeno è concentrato nella fascia oraria F3.

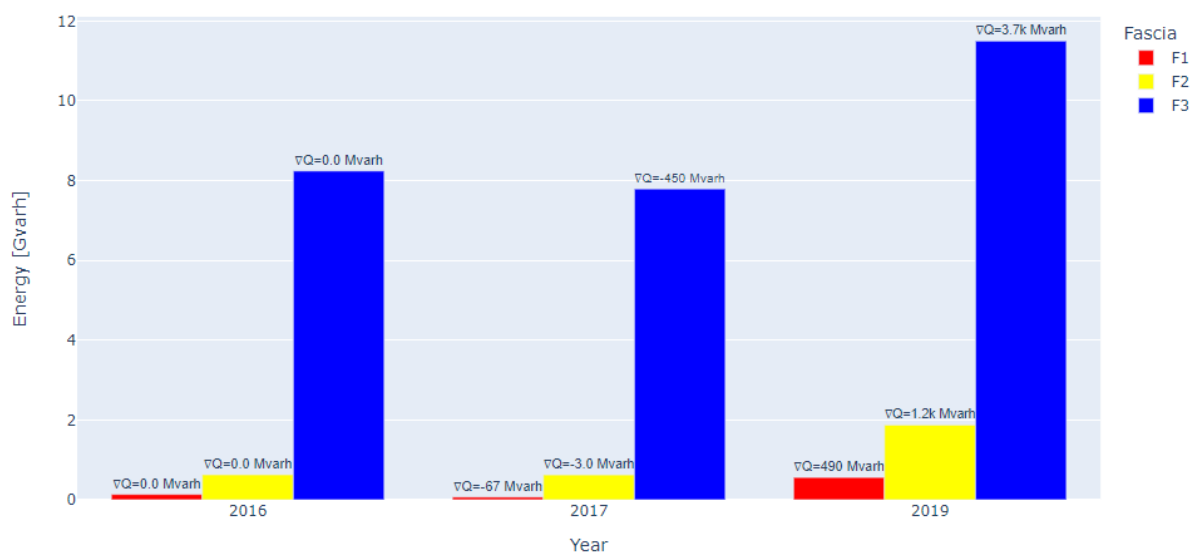


Figura 24. Variazioni incrementali (rispetto all'anno precedente) delle iniezioni di energia reattiva nella RTN per la CP FOGGIA CITTÀ

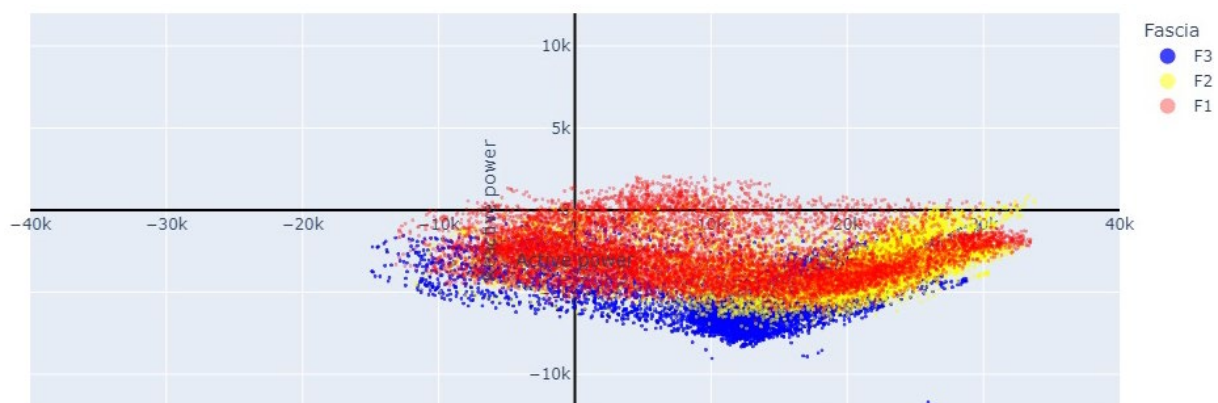


Figura 25. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, registrati nella CP SAN SEVERO nell'anno 2017

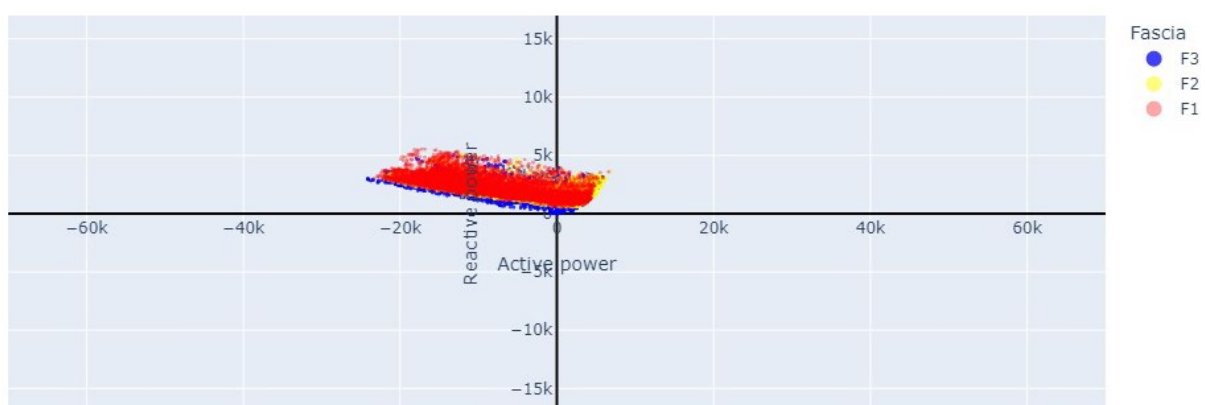


Figura 26. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, correlati agli utenti MT afferenti alla CP SAN SEVERO nell'anno 2017

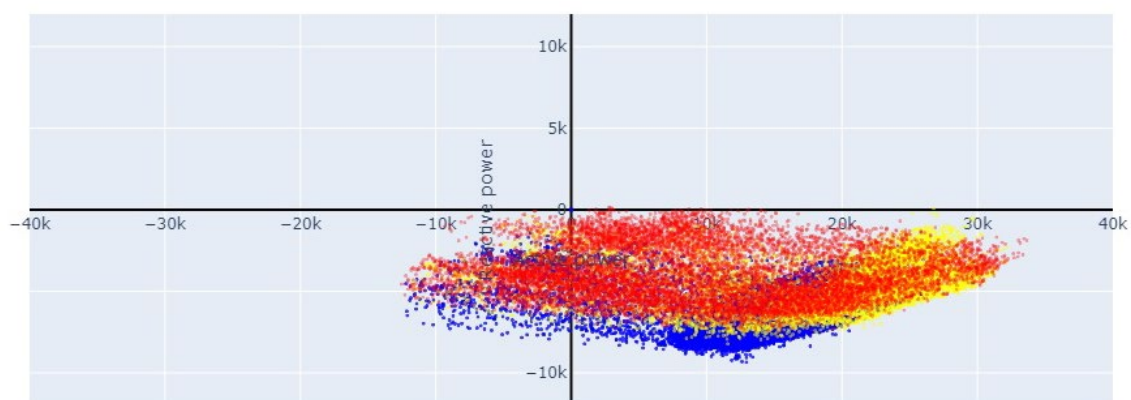


Figura 27. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, registrati nella CP SAN SEVERO nell'anno 2019

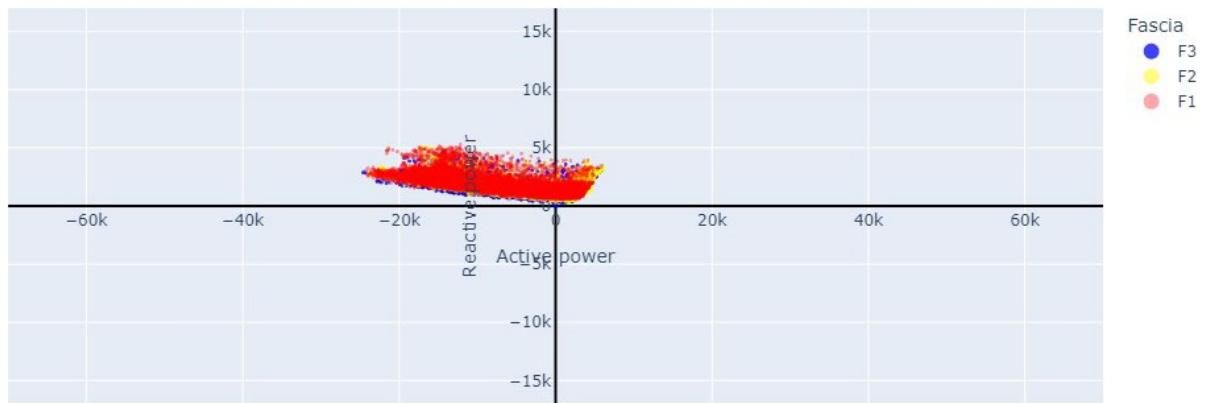


Figura 28. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, correlati agli utenti MT afferenti alla CP SAN SEVERO nell'anno 2019

- Nella CP SAN SEVERO si registra parimenti un marcato incremento dell'energia reattiva immessa nella RTN, in particolare, come evidenziato dalla figura seguente, questo fenomeno è maggiore nella fascia oraria F3 rispetto alle altre fasce orarie.

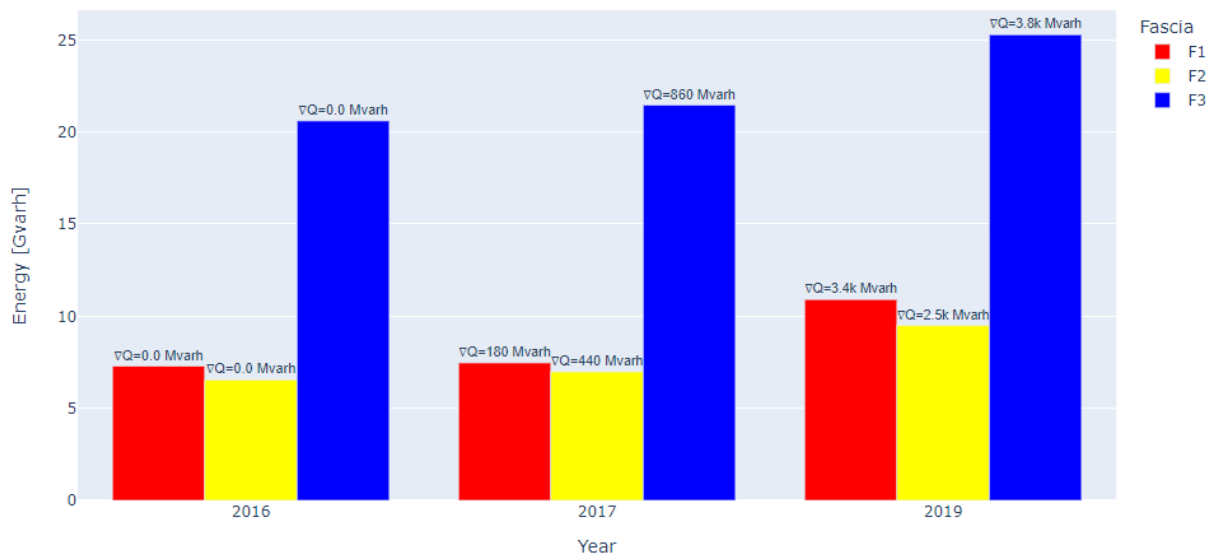


Figura 29. Variazioni incrementali (rispetto all'anno precedente) delle iniezioni di energia reattiva nella RTN per la CP SAN SEVERO

- In entrambi i casi analizzati è utile sottolineare come l'insieme degli utenti MT non presenti un comportamento capacitivo, ovvero eventuali fenomeni di iniezioni di potenza reattiva da parte di alcuni utenti sono compensati a livello di aggregato complessivo.

Stima della potenza reattiva capacitiva corrispondete alle linee in cavo

- In ragione della lunghezza delle linee in cavo, interrato e/o aereo, rilevate per ogni CP, si è quindi stimato il contributo capacitivo associato a tali elementi, ipotizzando gli stessi in esercizio continuativo (24 ore al giorno, 7 giorni alla settimana) alla tensione nominale (in particolare è stato stimato un contributo pari a 40 kvar/km). In figura è dettagliata l'estensione della rete in cavo per ogni CP.

Rispetto all'area in analisi si registra una lunghezza totale delle linee in cavo sostanzialmente invariata. In alcune CP il trend è marginalmente a crescere, in altre (probabilmente oggetto di riconfigurazione) il trend è opposto.

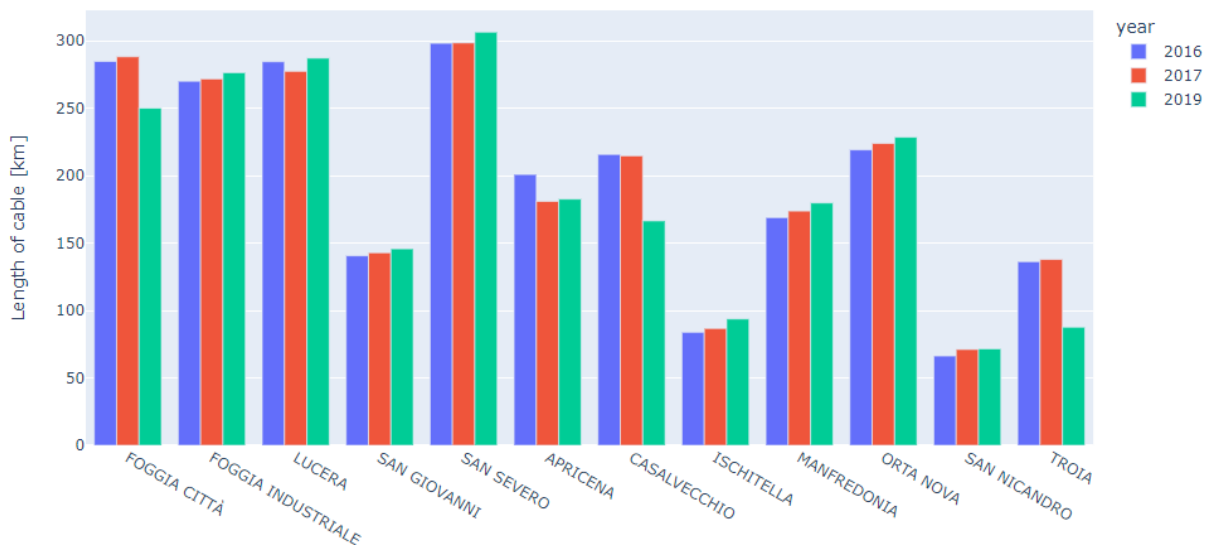


Figura 30. Estensione [km] della rete MT in cavo afferente alle CP in analisi – area di Foggia

Flussi energetici delle utenze connesse in BT

- Al fine di una ricostruzione dei flussi energetici con il dettaglio massimo possibile, sono state quindi elaborate le misure correlate con gli utenti afferenti alla rete di distribuzione in Bassa Tensione (BT), con potenza contrattuale superiore ai 55 kW (per i quali si hanno appunto a disposizione le misure quartorarie). In merito alle iniezioni di potenza capacitiva, dettagliate in Figura 32, si porta in evidenza la scala adottata per l'asse delle ordinate, ovvero la modesta entità di tali iniezioni.

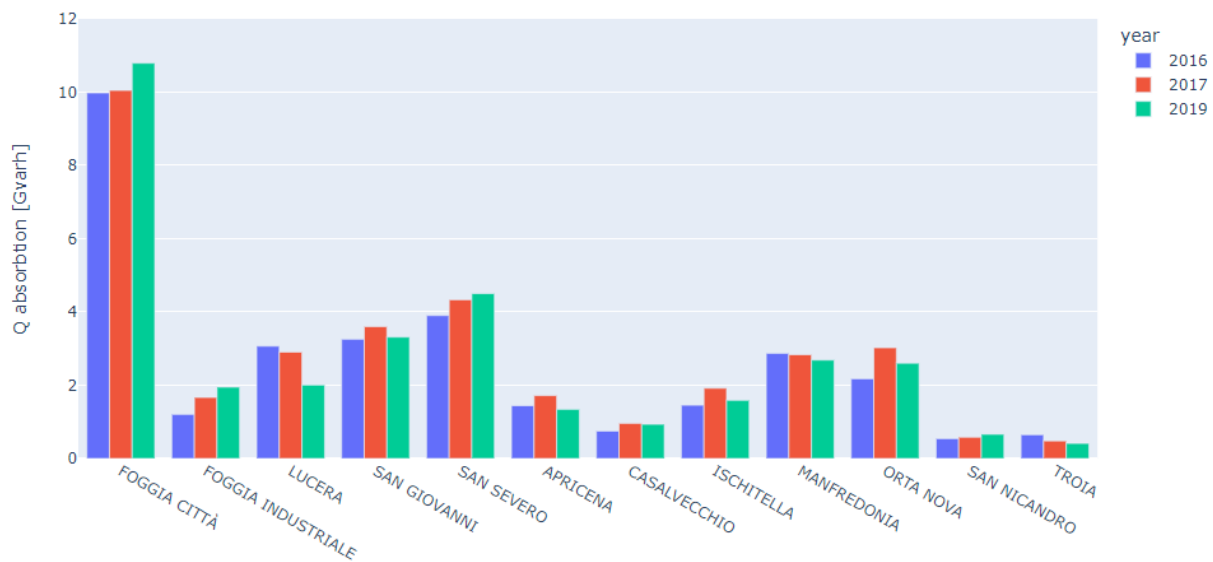


Figura 31. Energia reattiva assorbita (Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

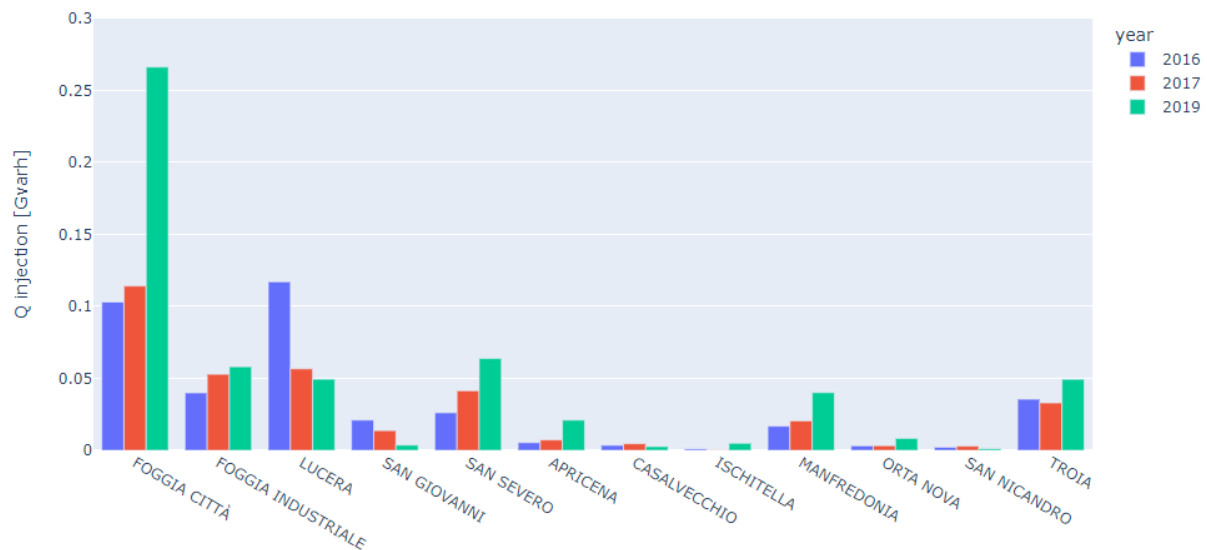


Figura 32. Energia reattiva iniettata (Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

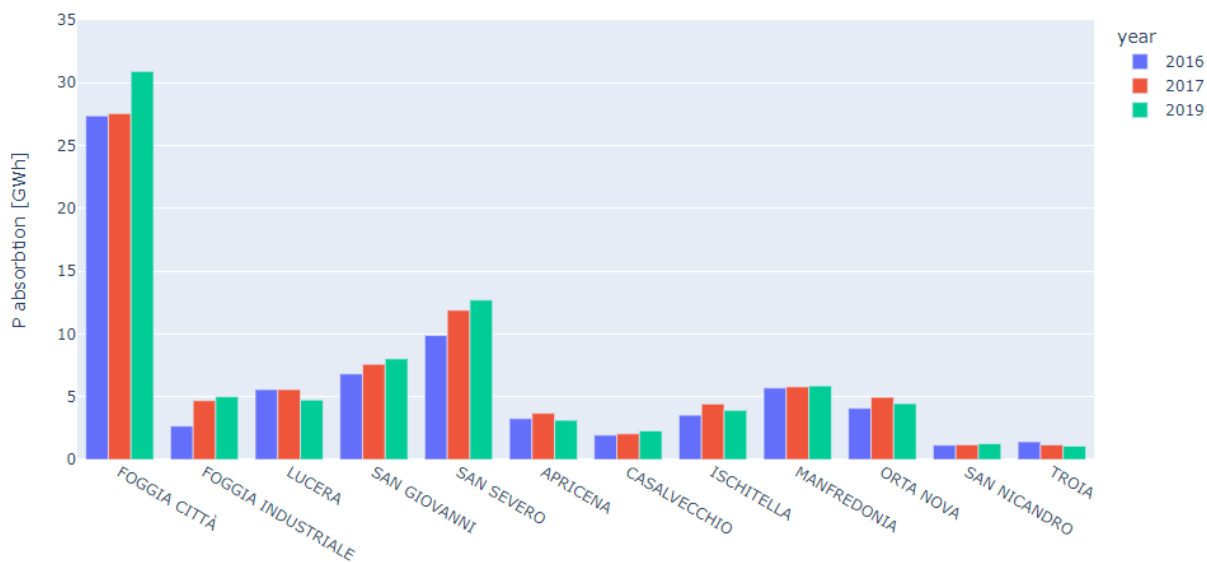


Figura 33. Energia attiva assorbita (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

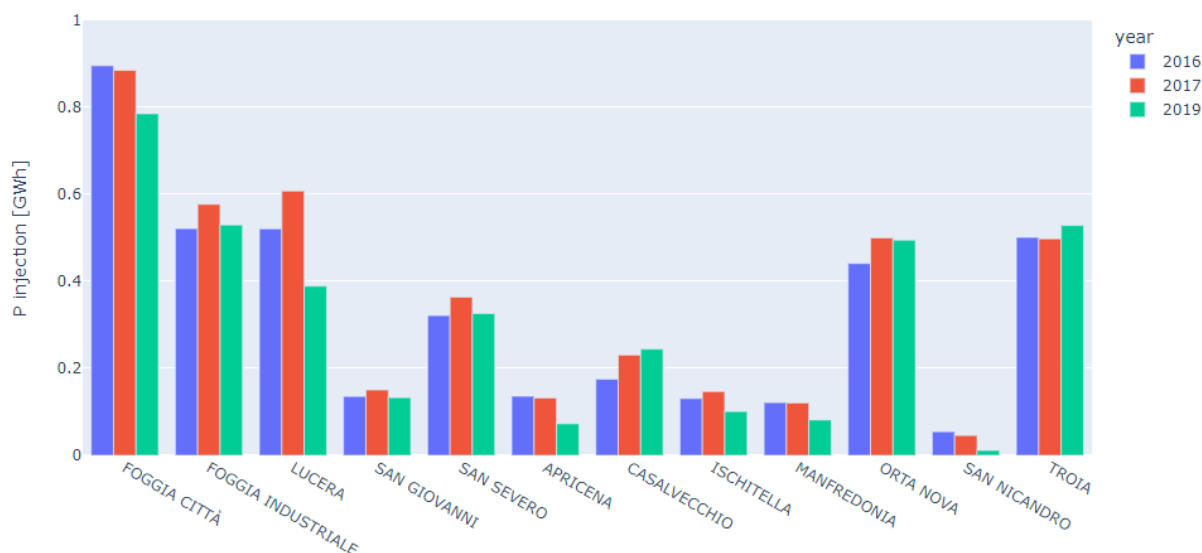


Figura 34. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

- I dati raccolti descrivono un comportamento meramente induttivo degli utenti BT (>55 kW), con un trend a crescere circa gli assorbimenti attivi e relativamente costante circa i flussi reattivi (si presti sempre attenzione alla differente scala, adottata per esigenze di leggibilità, riportata sull'asse delle ordinate per le energie).

Nella figura seguente si riporta un esempio di comportamento capacitivo relativo ad un utente BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW. Come si nota le iniezioni di potenza reattiva sono presenti, probabilmente correlate ad una non corretta gestione del sistema di rifasamento locale, ma comunque di entità limitata.

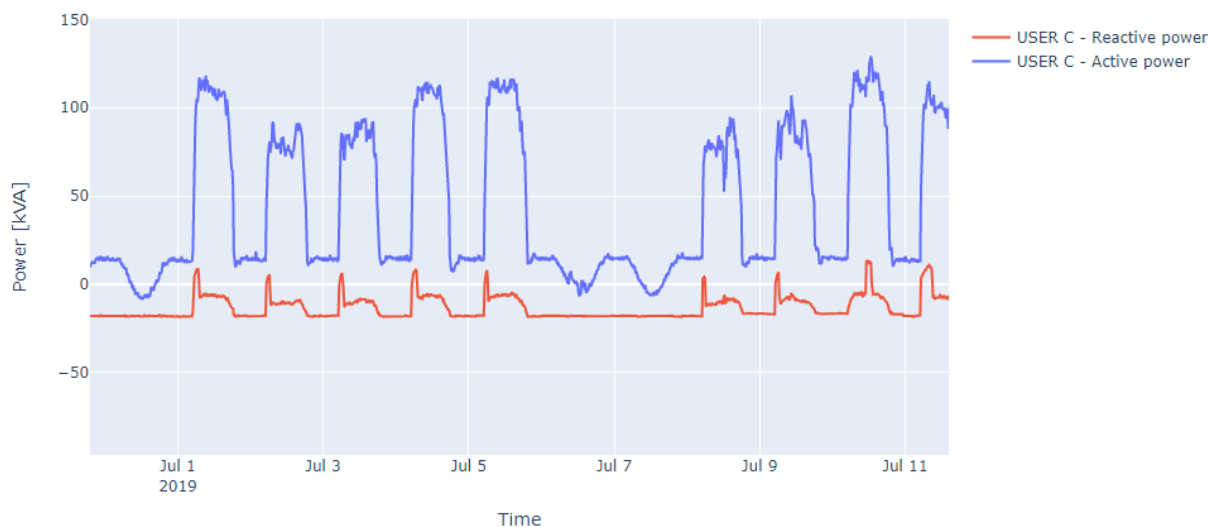


Figura 35. Comportamento capacitivo di un utente BT (>55 kW), probabilmente da correlarsi ad una errata regolazione del sistema di rifasamento locale – area di Foggia (valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1).

- Per completezza, si rimarca come il peso degli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW sia minoritario rispetto a quello degli utenti di taglia inferiore. Nella tabella seguente si riporta il dettaglio della suddivisione energetica fra utenti con potenza contrattuale superiore ai 55 kW ed utenti di taglia minore.

Cabina Primaria	Rapporto fra l'energia assorbita delle utenze BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW e quella assorbita dalle utenze di taglia minore [%]
FOGGIA CITTÀ	15.03
FOGGIA IND.	13.82
LUCERA	8.26
SAN GIOVANNI	10.88
SAN SEVERO	9.05
APRICENA	7.56
CASALVECCHIO	9.03
ISCHITELLA	11.81
MANFREDONIA	7.26
ORTA NOVA	5.06
SAN NICANDRO GARGANICO	3.74
TROIA	7.53

Figura 36. Rapporto fra l'energia assorbita dalle utenze BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW e quella assorbita dalle utenze di taglia minore [%]

- Per differenza fra
 - i) i transiti rilevati in CP,
 - ii) i transiti relativi agli utenti MT,
 - iii) i transiti relativi agli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW,
 - iv) il contributo capacitivo stimato per le linee in cavo,

è stata elaborata una stima indicativa dei flussi energetici relativi agli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW. Si rimarca come il dato risulta essere una stima approssimativa, trascurandone le perdite di potenza attiva sulle linee e, similmente, trascurando il contributo reattivo dei parametri longitudinali, nonché quello capacitivo delle linee aeree. Si puntualizza inoltre che, sia per le potenze attive che reattive, il contributo dei parametri delle macchine elettriche (cfr. trasformatori) è stato trascurato. Tali fattori, la cui quantificazione non è possibile in ragione dei dati a disposizione, sono ritenuti di entità inferiore a quella degli altri parametri in analisi.

Nella figura seguente si esemplifica il processo adottato, con riferimento alla CP di FOGGIA CITTÀ ed alla CP di SAN SEVERO, secondo le medesime motivazioni dettagliate in precedenza.

Figura 37. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) nella CP FOGGIA CITTÀ (dato misurato - valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)

Con tratto giallo punteggiato è riportata la stima del contributo capacitivo dovuto alle linee MT in cavo (si nota come questo sia sempre superiore allo scambio in CP)

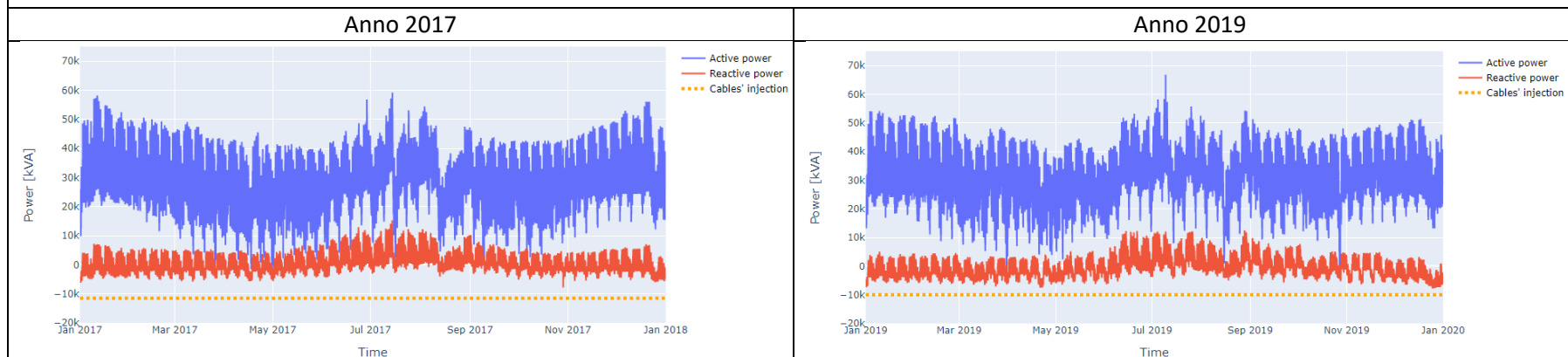


Figura 38. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) degli utenti MT afferenti alla CP FOGGIA CITTÀ (dato misurato)

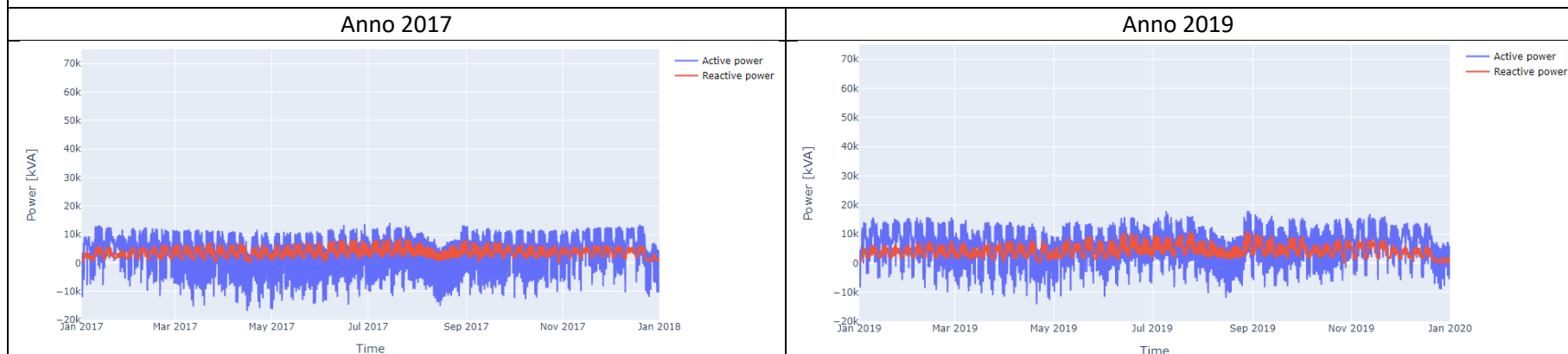


Figura 39. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto verde) degli utenti BT (grandi e piccoli) afferenti alla CP FOGGIA CITTÀ. In figura il tratto rosso corrisponde al profilo residuale fra i transiti in CP e gli utenti MT, scorporando poi la stima del contributo reattivo della rete si ricostruisce il profilo in tratto verde (ovvero la differenza fra il profilo rosso e quello verde è la stima del contributo capacitivo della rete).

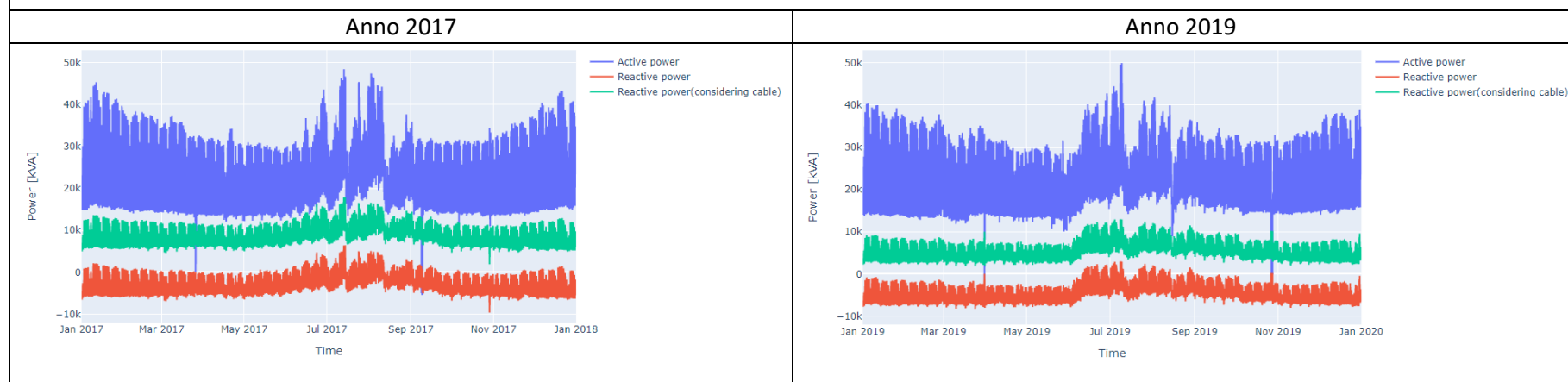
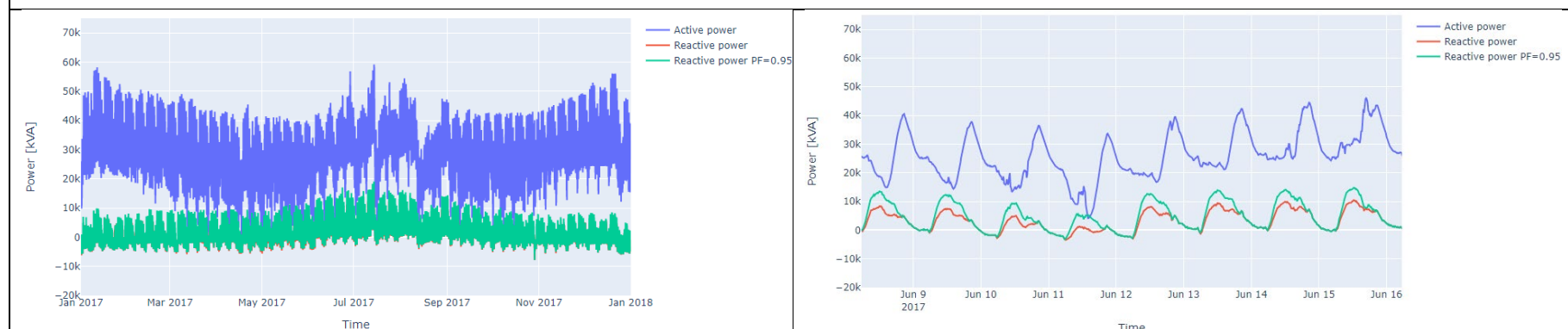


Figura 40. Profilo di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso – poco distinguibile in figura) della CP FOGGIA CITTÀ – anno 2019

Con tratto verde si riporta il profilo di potenza reattiva corrispondente ad una regolazione a fattore di potenza 0.95 degli utenti attivi afferenti alla rete MT. La soluzione risulta essere non efficace e, nei fatti, non porta contributi nella fascia F3. Nella figura di destra si riporta un dettaglio.



Il processo di ricostruzione dei flussi energetici degli utenti BT, riportati con tratto verde, porta ad evidenziare un comportamento induttivo che però denota un sensibile trend a decrescere fra il 2017 e il 2019, come meglio dettagliato nel seguito del rapporto.

Figura 41. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) nella CP SAN SEVERO (dato misurato - valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)
Con tratto giallo punteggiato è riportata la stima del contributo capacitivo dovuto alle linee MT in cavo (si nota come questo sia sempre superiore allo scambio in CP)

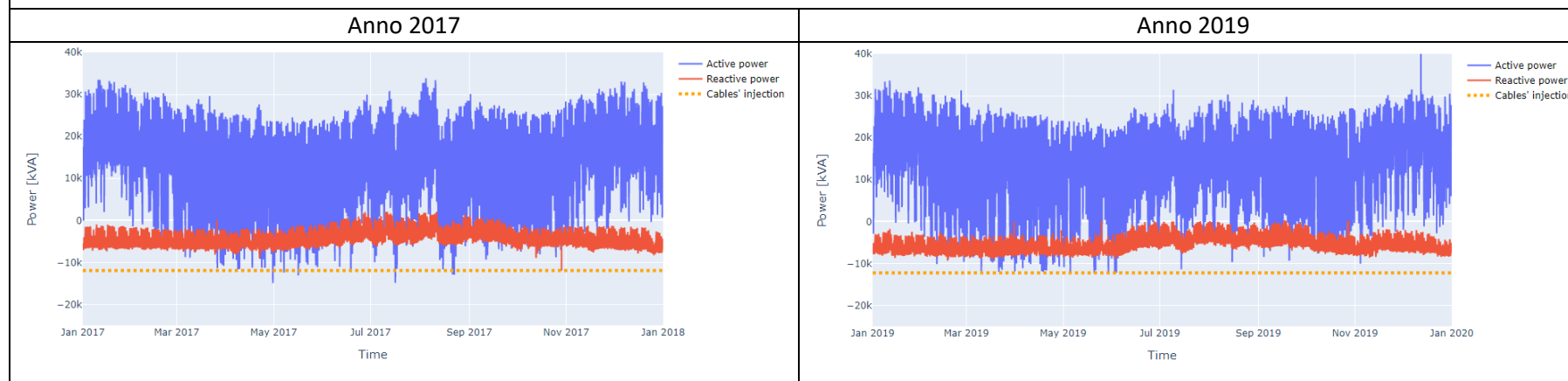


Figura 42. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) degli utenti MT afferenti alla CP SAN SEVERO (dato misurato)

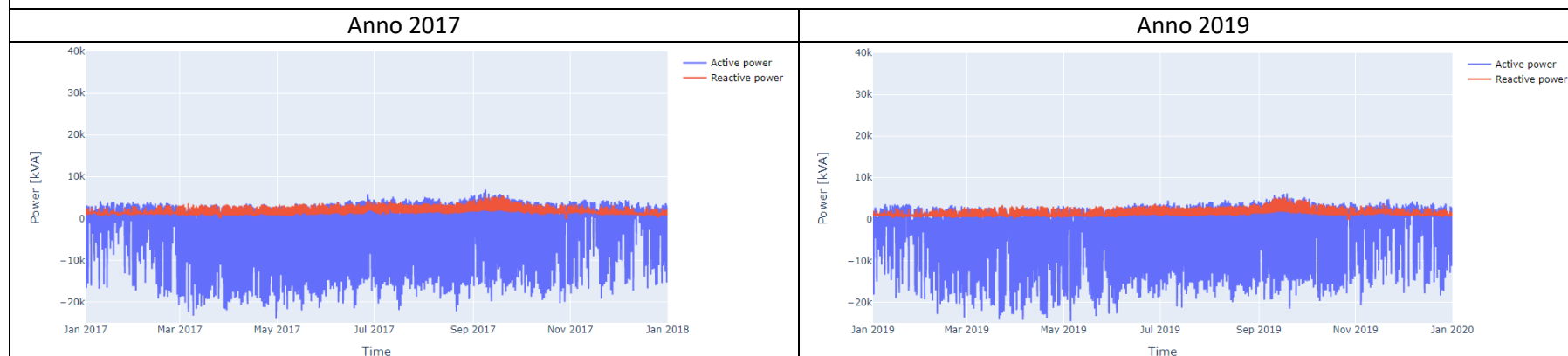


Figura 43. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto verde) degli utenti BT (grandi e piccoli) afferenti alla CP SAN SEVERO. In figura il tratto rosso corrisponde al profilo residuale fra i transiti in CP e gli utenti MT, scorporando poi la stima del contributo reattivo della rete si ricostruisce il profilo in tratto verde (ovvero la differenza fra il profilo rosso e quello verde è la stima del contributo capacitivo della rete).

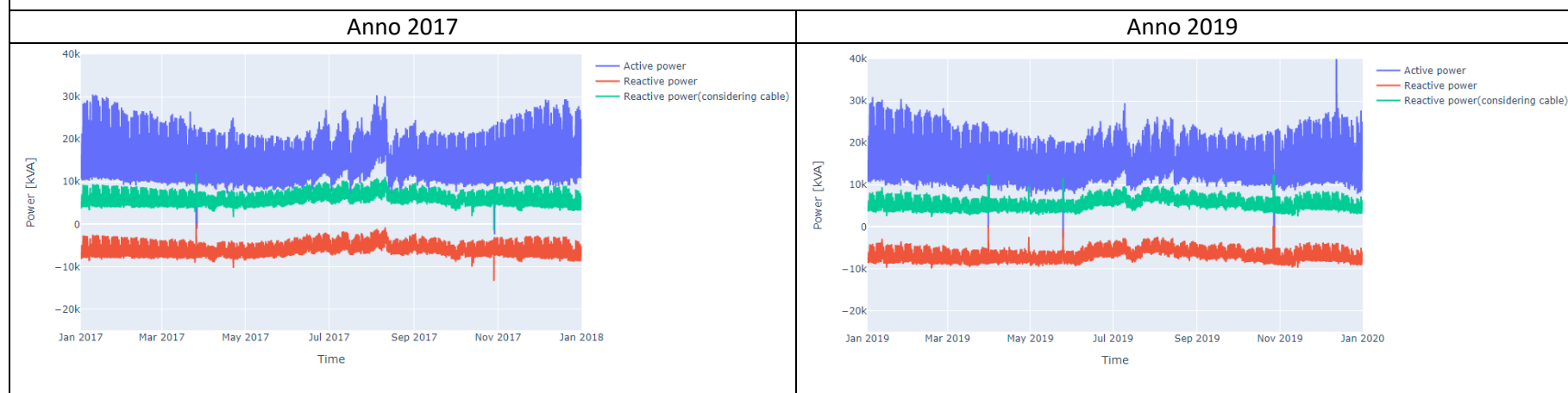


Figura 44. Profilo di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso – poco distinguibile in figura) della CP SAN SEVERO – anno 2019

Con tratto verde si riporta il profilo di potenza reattiva corrispondente ad una regolazione a fattore di potenza 0.95 degli utenti attivi afferenti alla rete MT. La soluzione risulta essere non efficace e, nei fatti, non porta contributi nella fascia F3. Nella figura di destra si riporta un dettaglio.



Anche nel caso della CP SAN SEVERO si nota (Figura 44) la limitata efficacia del controllo dei flussi reattivi tramite regolazione locale della tensione sulle iniezioni reattive della rete MT, ovvero nelle ore in fascia F3, il contributo ottenibile è modesto; eventualmente sarebbe necessario ipotizzare logiche di controllo più articolate, in cui i generatori locali, a prescindere dalla produzione attiva, siano chiamati a fornire un vero e proprio servizio locale di rete (compatibilmente con i propri vincoli di capability).

- Lo studio qui sintetizzato per la CP FOGGIA CITTÀ e per la CP SAN SEVERO è stato ripetuto sull'intero set di CP in analisi, andando poi a produrre una sintesi aggregata dei risultati ottenuti. In sintesi, le analisi eseguite sull'intero set di CP hanno evidenziato come, in termini di potenza attiva gli utenti BT (<55kW) manifestano un comportamento marcatamente passivo. Si ricorda come tale dato non sia però misurato ma stimato, ovvero affetto dall'incertezza delle ipotesi adottate.

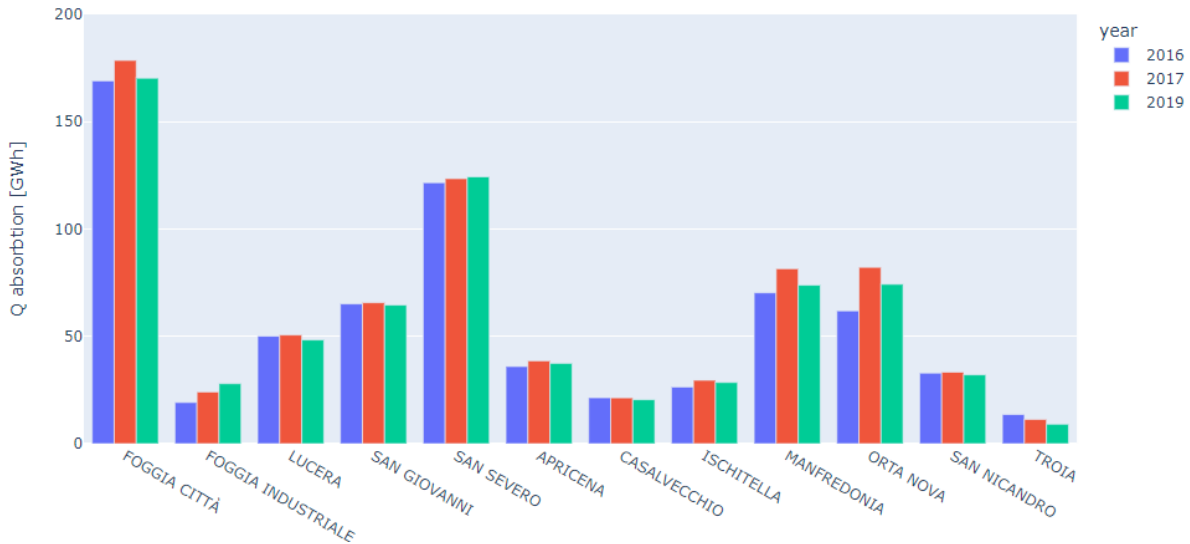


Figura 45. Energia attiva assorbita (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

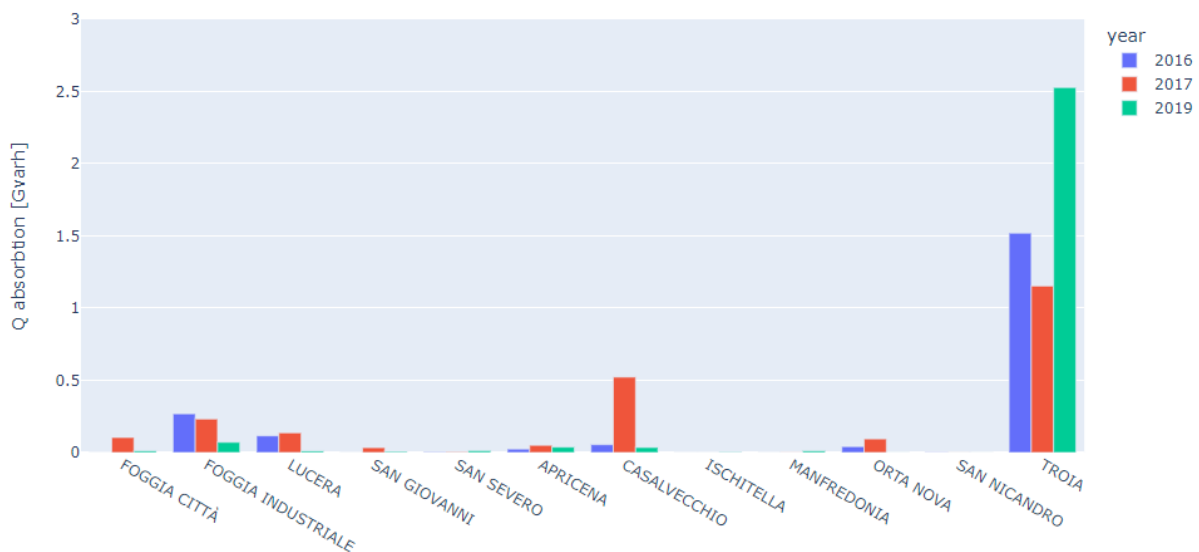


Figura 46. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

- In termini di comportamento reattivo, gli utenti BT (<55kW) hanno un comportamento marcatamente induttivo, con un trend a decrescere negli anni. Per apprezzare tale trend è opportuno riferirsi al fattore di potenza risultante, quantità che va a crescere 0.86 a 0.89 passando dall'anno 2017 all'anno 2019 (il dato rappresenta la media pesata del valore cumulativo su nelle varie CP). Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio della distribuzione di tale fattore di potenza, stimato numericamente nelle diverse condizioni di lavoro registrate nell'anno 2017 e nell'anno 2019. Si precisa come, in ragione del processo di calcolo, eventuali iniezioni di potenza attiva a questo livello (ovvero per utenze con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW) comportano una riduzione dei flussi netti di potenza attiva, ovvero una riduzione del fattore di potenza.



Figura 47. Distribuzione di probabilità del fattore di potenza ricostruito per gli utenti BT di taglia inferiore ai 55 kW per l'anno 2017 – area di Foggia



Figura 48. Distribuzione di probabilità del fattore di potenza ricostruito per gli utenti BT di taglia inferiore ai 55 kW per l'anno 2019 – area di Foggia

- I dati a disposizione, come già motivato, non consentono un'analisi di dettaglio relativamente alle perdite (attive e reattive) sulla rete MT e sulla rete BT. Ne consegue che la stima formulata ha solo valenza indicativa circa la variazione aggregata del comportamento degli utenti BT (<55 kW) e degli altri valori non misurati, purtuttavia si evidenzia quanto segue:
 - A livello di utenze attive (cfr. produttori) presenti sulla rete sono state rilevate solo delle variazioni minori (i.e. con un leggero trend a crescere);
 - Non è stata rilevata una particolare variazione nella totale estensione e/o nella natura della rete elettrica di distribuzione;
 - Si ritiene quindi che i fattori “non misurati” (appunto le perdite attive e reattive sulla rete di distribuzione), al meglio delle informazioni a disposizione, siano da considerarsi poco variabili dall'anno 2016 all'anno 2019, ovvero la variazione del fattore di potenza stimata nel presente studio sia da ascrivere alle utenze BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW.

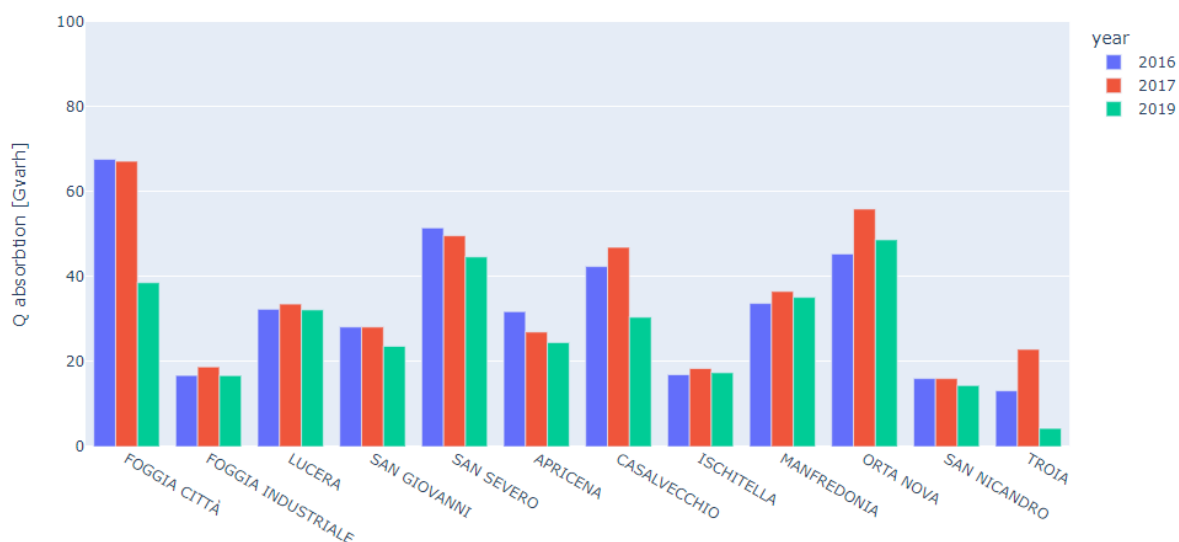


Figura 49. Energia reattiva assorbita (Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

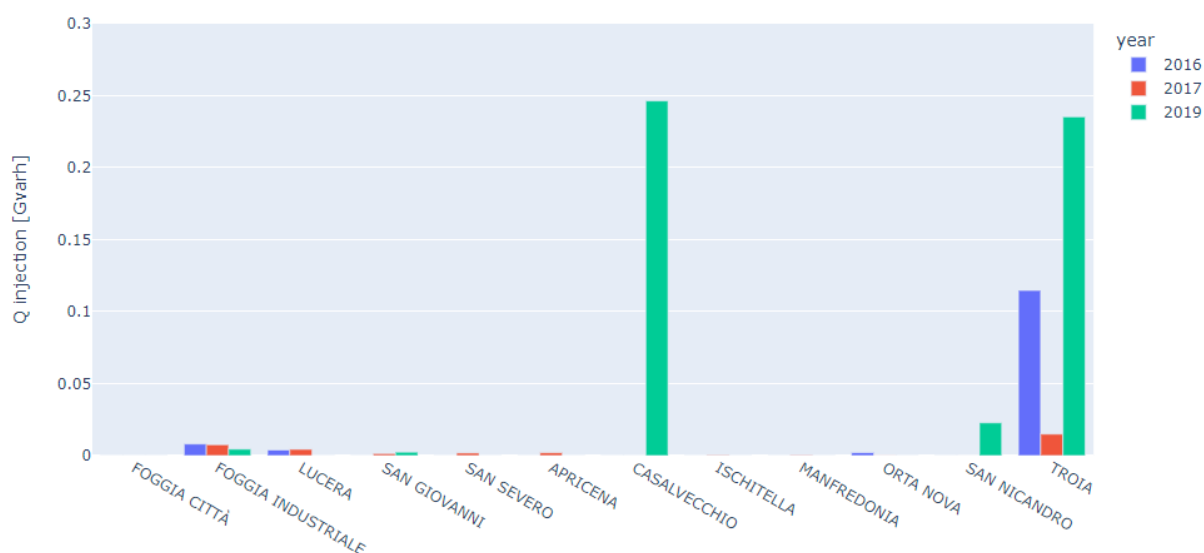


Figura 50. Energia reattiva iniettata (Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Foggia

A titolo di sintesi conclusiva, nell'area di Foggia si rileva uno scenario in cui:

- I flussi di potenza reattiva hanno natura marcatamente capacitiva, con forti fenomeni di iniezioni di potenza reattiva sulla RTN e, ancor più, con trend a crescere dall'anno 2016 all'anno 2019;
- Gli utenti MT registrano, soprattutto nelle ore notturne, delle iniezioni reattive, purtuttavia il contributo di ogni singolo utente è relativamente modesto;
- Il contributo capacitivo della rete elettrica (cfr. linee in cavo) è considerevole, ma risulta stabile negli anni, ovvero l'incremento di tale fattispecie lungo il periodo in analisi è stato particolarmente modesto;
- La principale causa del trend a crescere delle iniezioni capacitive nell'area di Foggia pare correlata al comportamento degli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW. Tali utenze presentano un fattore di potenza che è andato a crescere nel tempo, portando quindi ad una mancata compensazione del comportamento capacitivo della rete di distribuzione (come dettagliato in Figura 47 e Figura 48). Pur tuttavia si rimarca come la quantità energetica corrispondente a tali utenti non risulti da misura diretta ma da ricostruzione numerica, inoltre nel

processo di analisi utilizzato sono state introdotte diverse ipotesi metodologiche, ovvero l'affermazione riportata è da rileggersi come potenziale concausa del fenomeno rilevato (cfr. incremento delle iniezioni reattive), a giustificare l'opportunità di verifiche tramite misura diretta.

- Il fenomeno potrebbe essere stato amplificato da un incremento (che purtroppo nell'area in analisi non pare essere di grande entità) delle iniezioni correlate alla Generazione Distribuita (GD), iniezioni che concorrono alla riduzione dei flussi di potenza attiva sulle linee, riducendo quindi le perdite (attive e reattive) sui parametri longitudinali.

A completamento dello studio si è valutata la possibilità di correggere i flussi reattivi andando a controllare in sotto-eccitazione gli utenti attivi connessi alla rete MT, in particolare si è ipotizzato di andarli a vincolare ad un fattore di potenza pari a 0.95 (si è cioè ricostruito il profilo di reattivo addizionale a partire dall'iniezione attiva registrata, correlandola ad un fattore di potenza costante, appunto 0.95).

I risultati ottenuti sono stati mediocri in relazione al fatto che le iniezioni reattive si concentrano nella fascia F3, mentre le produzioni attive (probabilmente con forte connotazione fotovoltaica) sono concentrate in F1. In Figura 40 e in Figura 44 sono riportati due esempi indicativi per la CP FOGGIA CITTÀ e per la CP SAN SEVERO.

In termini generali (Figura 51), nella maggioranza delle CP analizzate (fanno eccezione la CP di CASALVECCHIO e la CP di TROIA), solo una quota minore dell'energia reattiva (10-20% al variare della CP) potrebbe essere compensata (nell'ipotesi, ottimistica, di poter controllare l'intero set di utenti attivi connessi alla rete in MT).

CABINA PRIMARIA	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh]	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] controllando le iniezioni attive a PF 0.95	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] - solo per fascia F3	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] controllando le iniezioni attive a PF 0.95 - solo per fascia F3
FOGGIA CITTÀ	13.94	11.73	11.5	10.34
FOGGIA IND	53.66	43.32	27.6	25.3
LUCERA	57.28	36.72	28.96	22.66
SAN GIOVANNI	18.25	15.4	10.21	9.33
SAN SEVERO C	45.69	33.83	25.28	22.17
APRICENA	23.88	19.68	14.66	13.39
CASALVECCHIO	26.17	11.91	12.59	6.12
ISCHITELLA	13.08	12.56	6.65	6.56
MANFREDONIA	15.67	14.81	9.35	9.18
ORTA NOVA	26.55	18.37	14.49	11.77
SAN NICANDRO GARGANICO	9.21	7.09	4.58	4.17
TROIA	30.56	15.59	14.34	8.5

Figura 51. Iniezioni di potenza reattiva nelle CP dell'area di Foggia, considerando l'eventuale possibilità di regolare a fattore di potenza 0.95 le iniezioni di potenza attiva.

3. Sintesi delle evidenze numeriche rilevate nell'analisi dei flussi energetici relativi all'area di Napoli

In relazione all'analisi dei flussi energetici registrati nell'area di NAPOLI, nei limiti dei dati disponibili e delle analisi numeriche (cfr. causa / effetto) sviluppabili, così come motivato nell'Introduzione del presente rapporto, si identificano le evidenze quantitative riportate nel seguito.

Flussi energetici in Cabina Primaria

- Rispetto all'area territoriale di Napoli, si sono analizzati, nel dettaglio massimo disponibile, i flussi di potenza dall'anno 2016 all'anno 2019 delle seguenti CP:
 - Casalnuovo
 - Direzionale
 - Doganella
 - Nola220
 - Patria150
 - Torre Nord



Figura 52. Geo-localizzazione delle CP in Analisi – area di Napoli

- Le Cabine Primarie analizzate entro l'area di Napoli evidenziano un comportamento prevalentemente induttivo, ma con una tendenza a ridurre gli assorbimenti di energia reattiva. Entro il set di CP analizzate, risultante dal confronto fra e-Distribuzione e TERNA, solo la CP PATRIA denota un comportamento marcatamente capacitivo, mentre le CP CASALNUOVO, NOLA220 e TORRE NORD sono in un qualche modo bilanciate fra iniezioni induttive e capacitive. A integrazione, si precisa come nell'area in analisi, altre CP (non selezionate per questo studio) presentano marcate iniezioni di

energia reattiva verso la RTN. Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio numerico dei flussi di energia reattiva prelevata o iniettata nelle diverse CP.

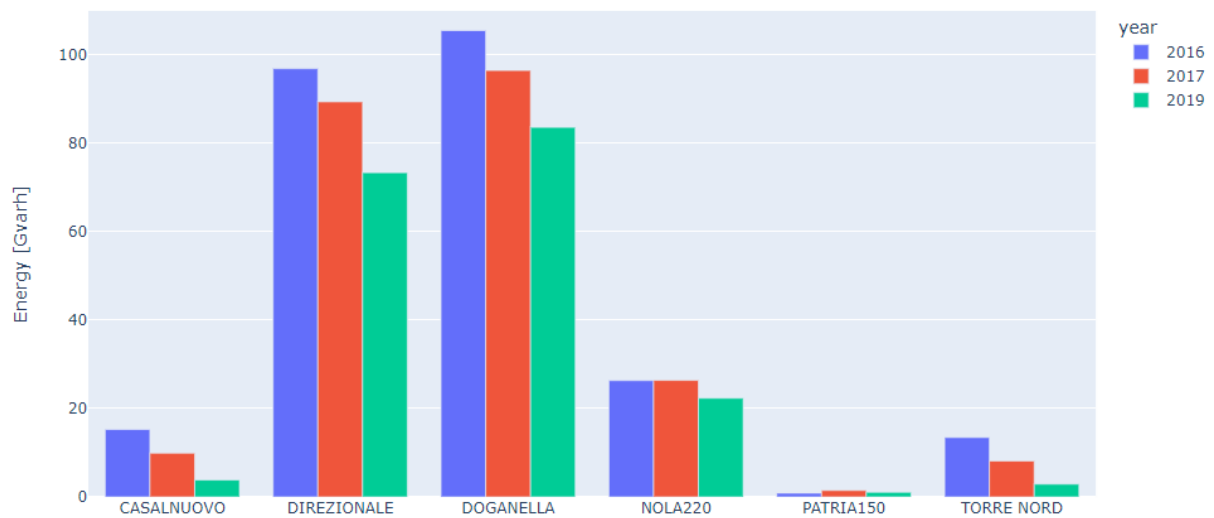


Figura 53. Energia reattiva assorbita (cfr. induttiva – Q1 e Q2), annualmente, dalle CP in analisi – area di Napoli

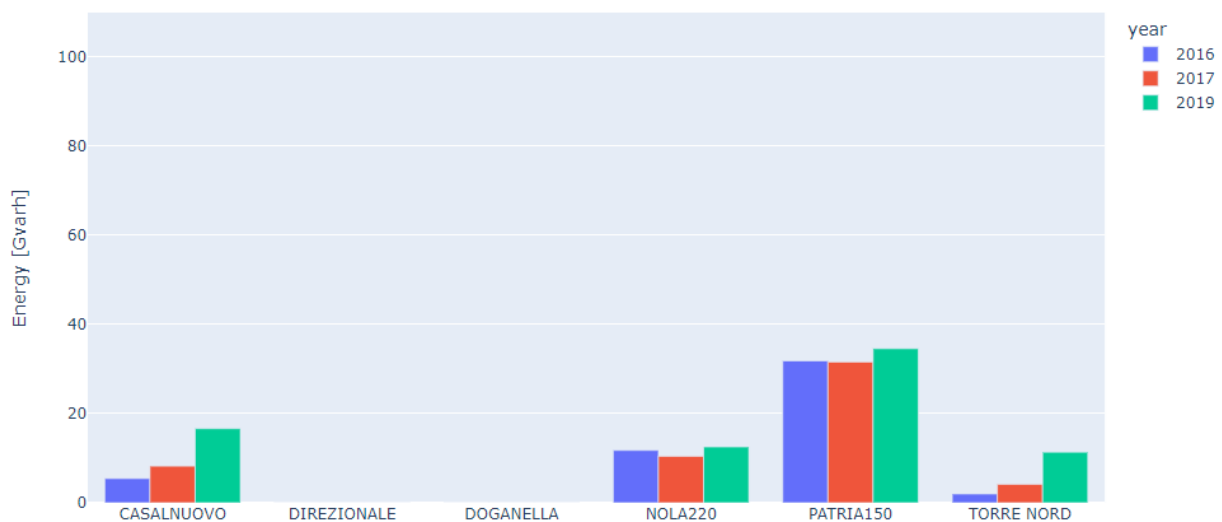


Figura 54. Energia reattiva iniettata (cfr. capacitiva – Q3 e Q4), annualmente, dalle CP in analisi – area di Napoli

- Le CP in analisi presentano poi assorbimenti di energia attiva di una certa consistenza, con un trend a crescere (anche se solo leggermente) negli anni. Non si registrano invece iniezioni di energia attiva verso la RTN.

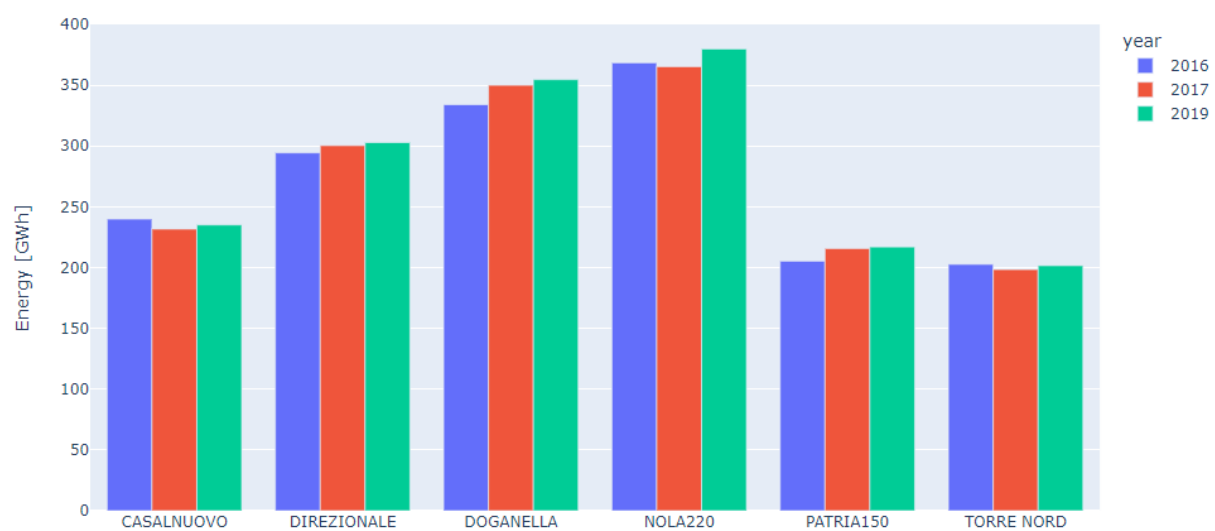


Figura 55. Energia attiva prelevata (Q1 e Q4), annualmente, dalle CP in analisi – area di Napoli

La serie di grafici in Figura 56 riporta, per ciascuna delle CP dell’area in analisi, un’indicazione percentuale della distribuzione delle misure quartorarie sui quattro quadranti delle energie scambiate con la RTN. Le CP DOGANELLA e DIREZIONALE confermano un comportamento induttivo, viceversa le rimanenti CP evidenziano un comportamento via via più capacitivo passando dall’anno 2016 all’anno 2019. La CP PATRIA presenta infine un trend opposto, purtuttavia tale CP è caratterizzata da rilevanti iniezioni capacitive verso la RTN.

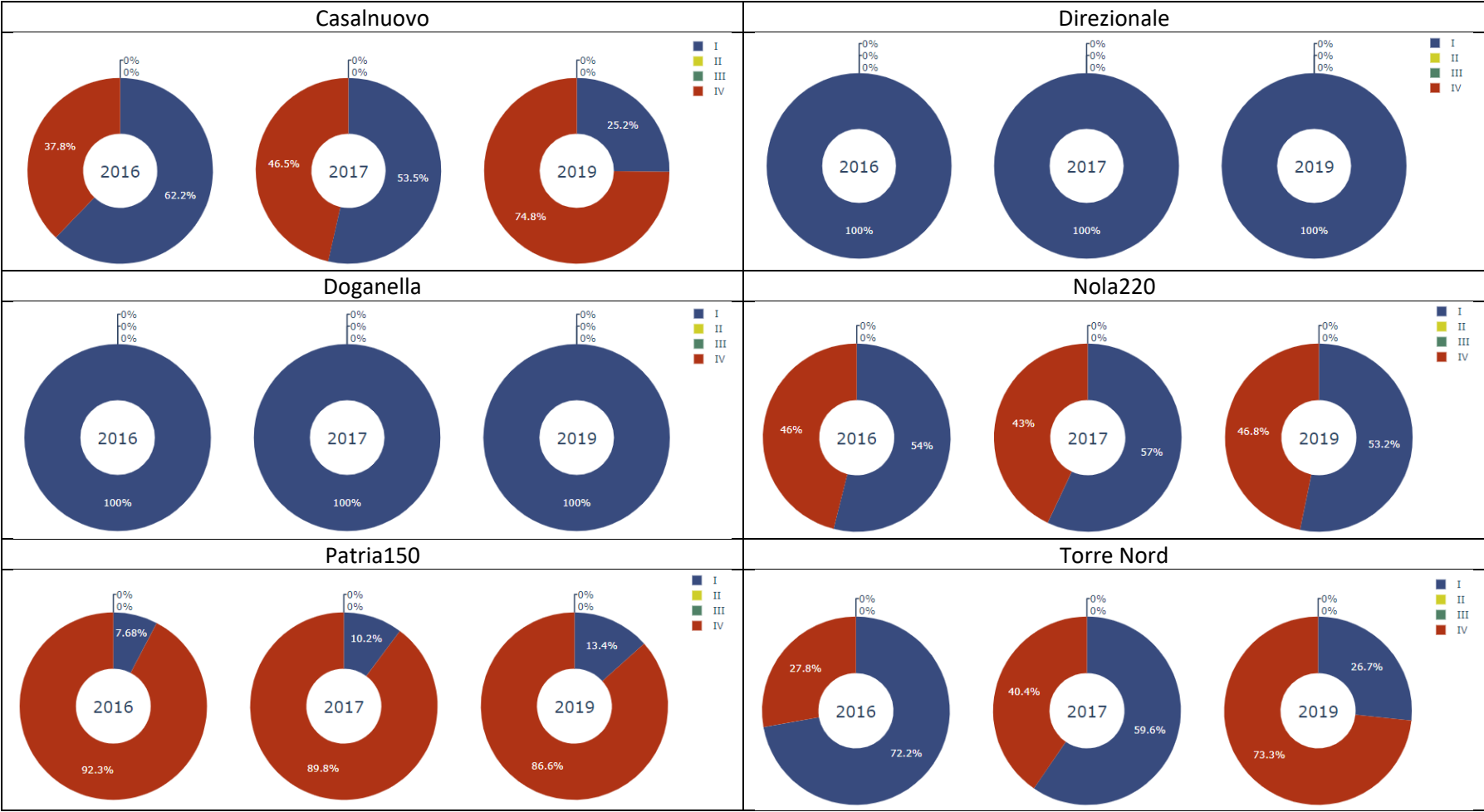


Figura 56. Distribuzione percentuale, ore anno, dei flussi energetici rilevati nelle varie CP rispetto ai 4 quadranti di misura – trend registrati negli anni 2016, 2017 e 2019

Il comportamento energetico complessivo registrato nelle CP dell'area in analisi risulta induttivo, purtuttavia con un trend a ridurre gli assorbimenti.

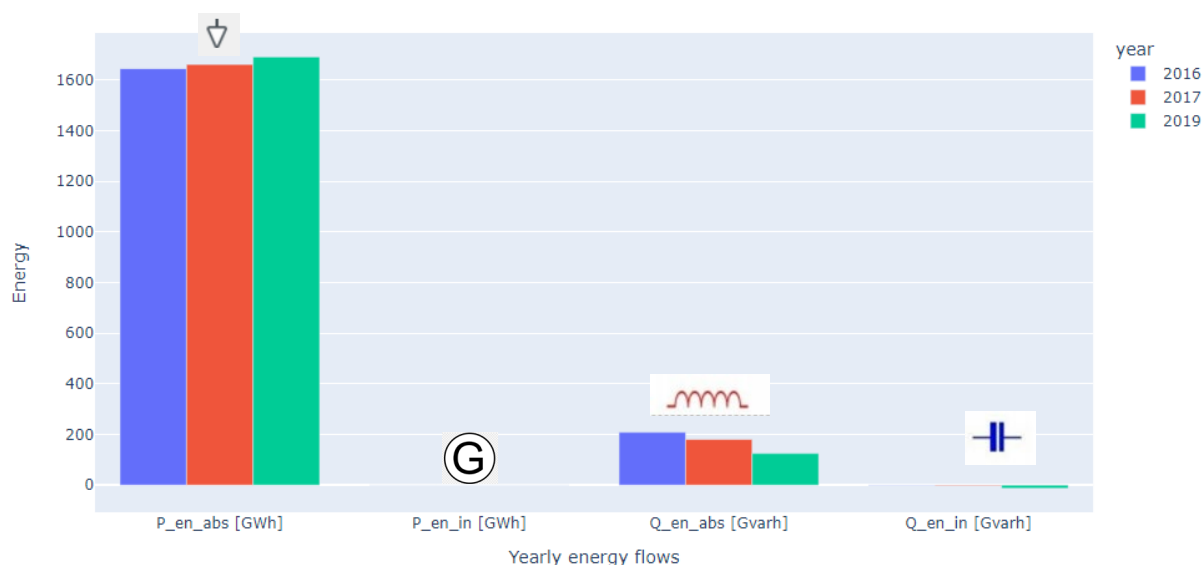


Figura 57. Comportamento energetico, attivo (sulla sinistra) e reattivo (sulla destra), complessivo registrato sulle CP in analisi

Per meglio evidenziare il fenomeno descritto, nelle figure seguenti si riporta la distribuzione dei campioni dei flussi di potenza, attiva e reattiva, registrata sull'intero set di CP in analisi, nei tre anni in osservazione, 2016, 2017 e 2019, differenziando i campioni in base alla fascia oraria di riferimento (Fascia F1 in rosso, Fascia F2 in giallo, Fascia F3 in blu).



Figura 58. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2016, nell'intero set di CP in analisi – area di Napoli (potenza in kW/kvar).

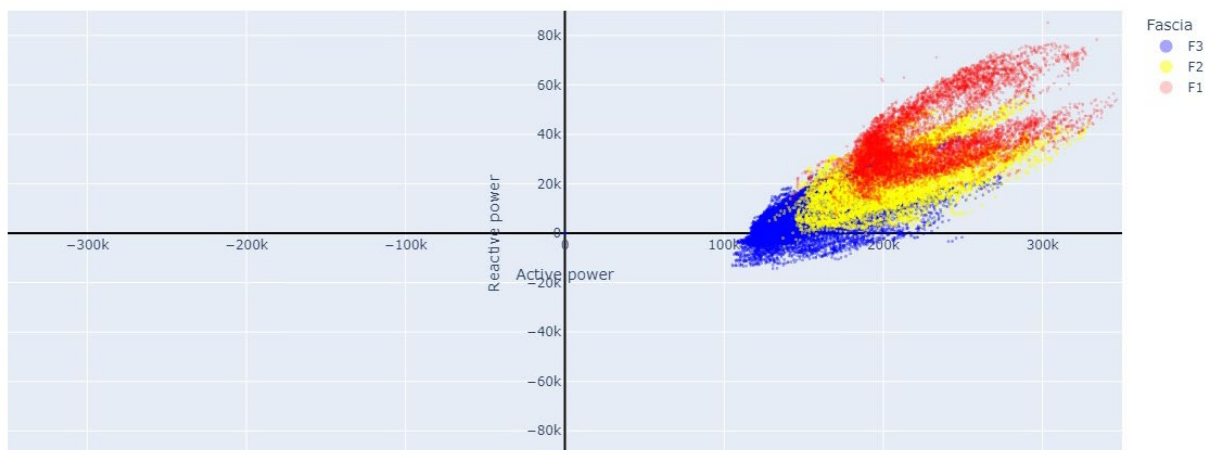


Figura 59. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2017, nell'intero set di CP in analisi – area di Napoli (potenza in kW/kvar).

Primary substation cumulative profile in NAPOLI per tariff for 2019

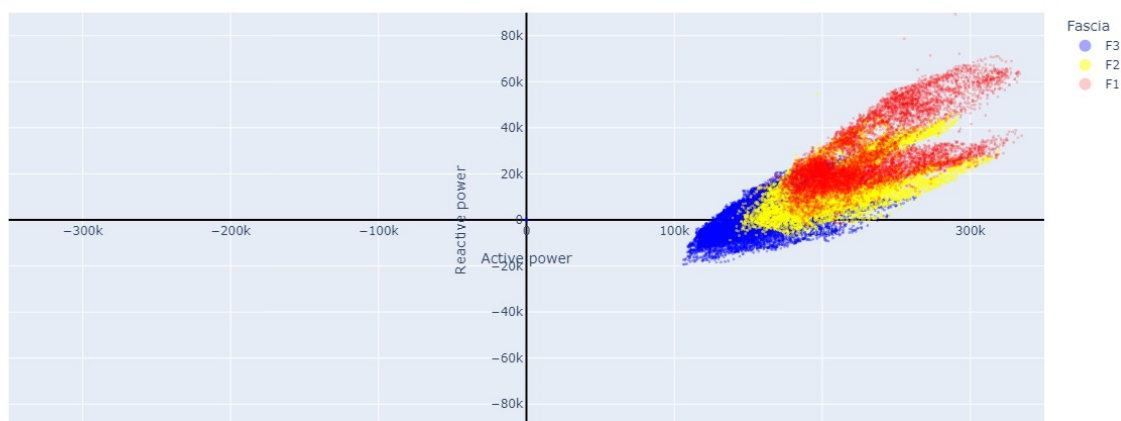


Figura 60. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2019, nell'intero set di CP in analisi – area di Napoli (potenza in kW/kvar).

Flussi energetici delle utenze connesse in MT

- Rispetto alle Cabine Primarie in analisi si è provveduto al calcolo dei flussi energetici reattivi relativi agli utenti, attivi e passivi, afferenti alla rete di Media Tensione. Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio numerico di tali flussi.

Quantitativamente, come già evidenziato nelle analisi eseguite per l'area di Foggia, si ritrova un comportamento induttivo degli utenti MT, purtuttavia si registrano (soprattutto nelle ore serali) iniezioni capacitive di minore entità. Il fenomeno presenta una qualche rilevanza, ovvero quantitativamente non si può definire minore, solo per la CP di NOLA220.

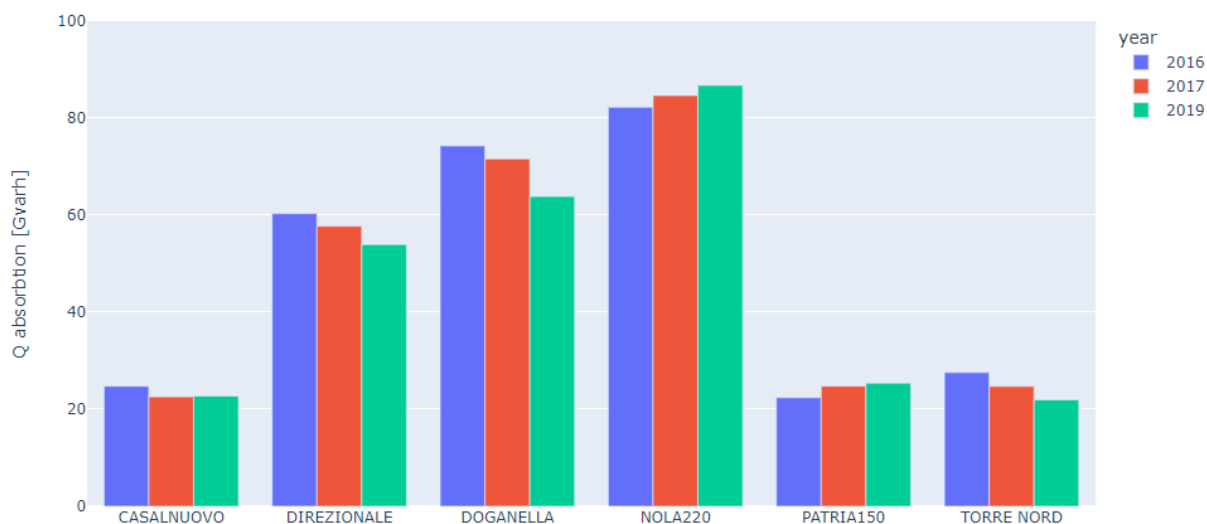


Figura 61. Energia reattiva assorbita (cfr. induttiva – Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

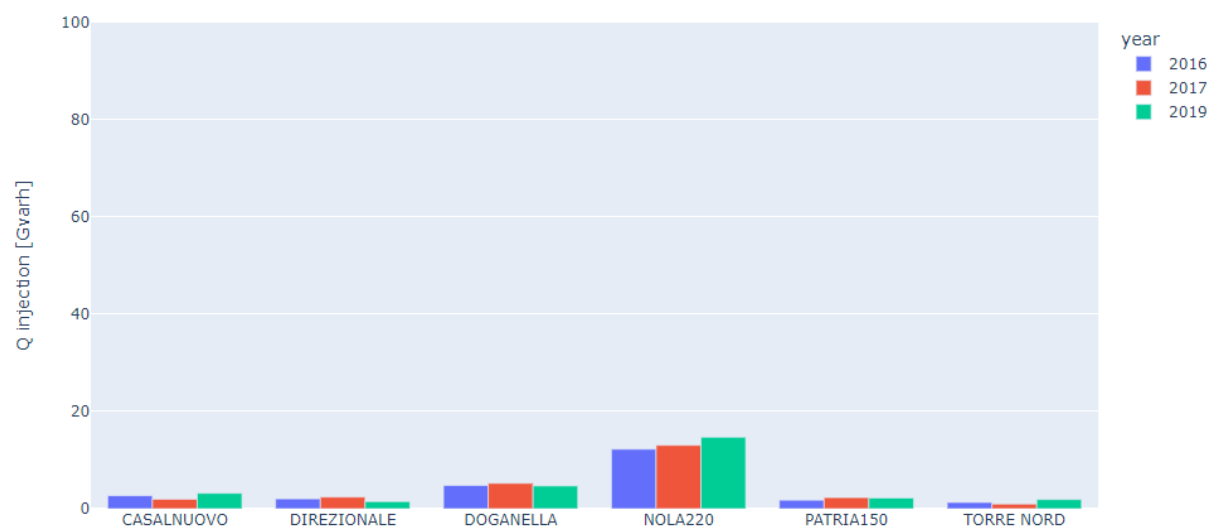


Figura 62. Energia reattiva iniettata (cfr. capacitativa – Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

- Rispetto al comportamento reattivo delle utenze MT si sono riscontrate alcune anomalie da parte di un numero ridotto di utenze, alcune di non immediata interpretazione, ovvero ascrivibili ad errori nel dimensionamento dei sistemi di compensazione se non addirittura ad errori di regolazione capacitativa per qualche utenza attiva, nel seguito si riportano degli esempi.
- Il contributo singolo delle varie utenze raggiunge valori limitati ad un centinaio di kvar, purtuttavia la loro aggregazione può risultare per quantità non minori.

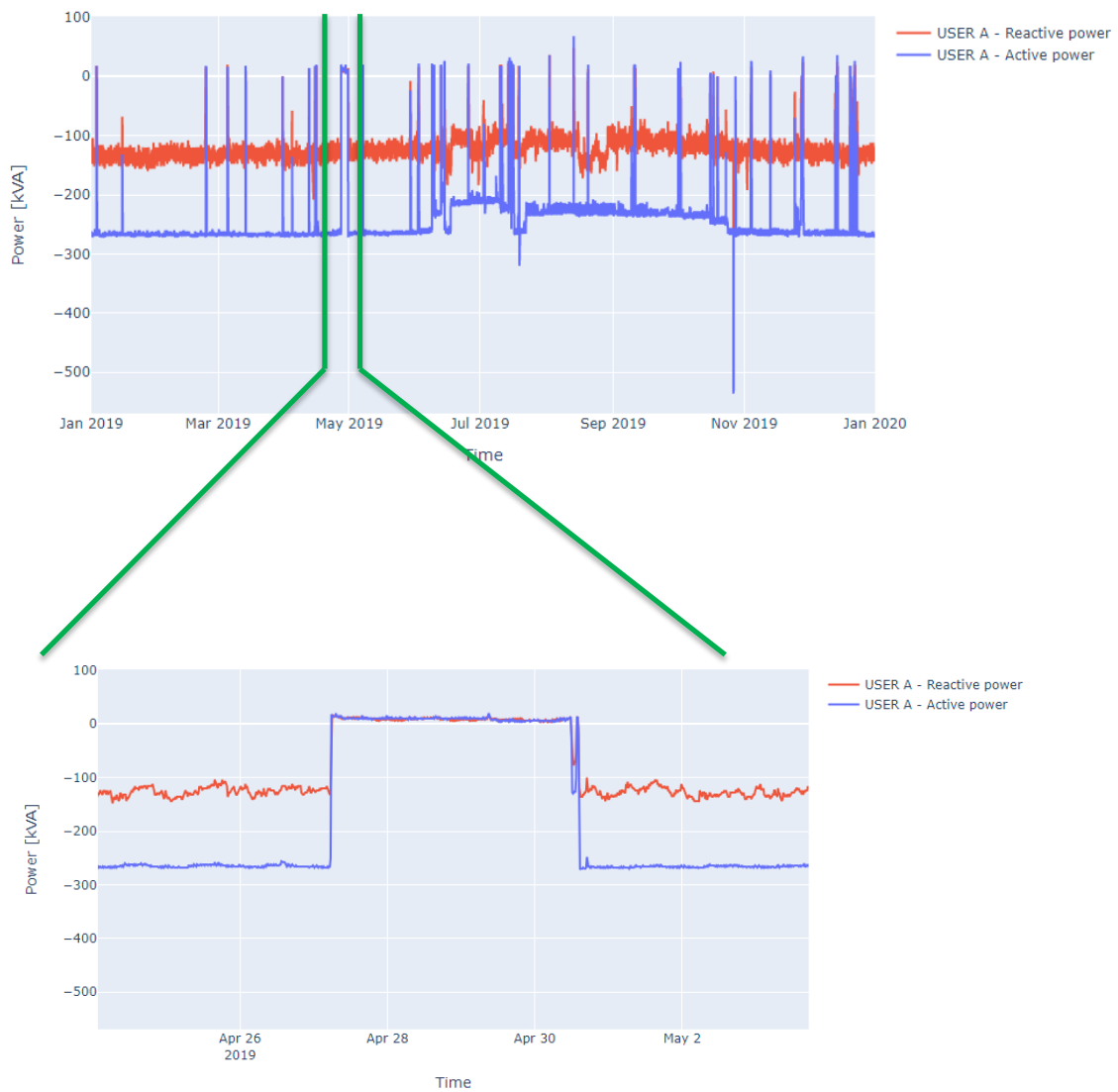


Figura 63. Comportamento capacitivo di un utente attivo la cui interpretazione, basata sull'analisi dei tracciati di potenza attiva e di potenza reattiva, risulta non immediata (valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)

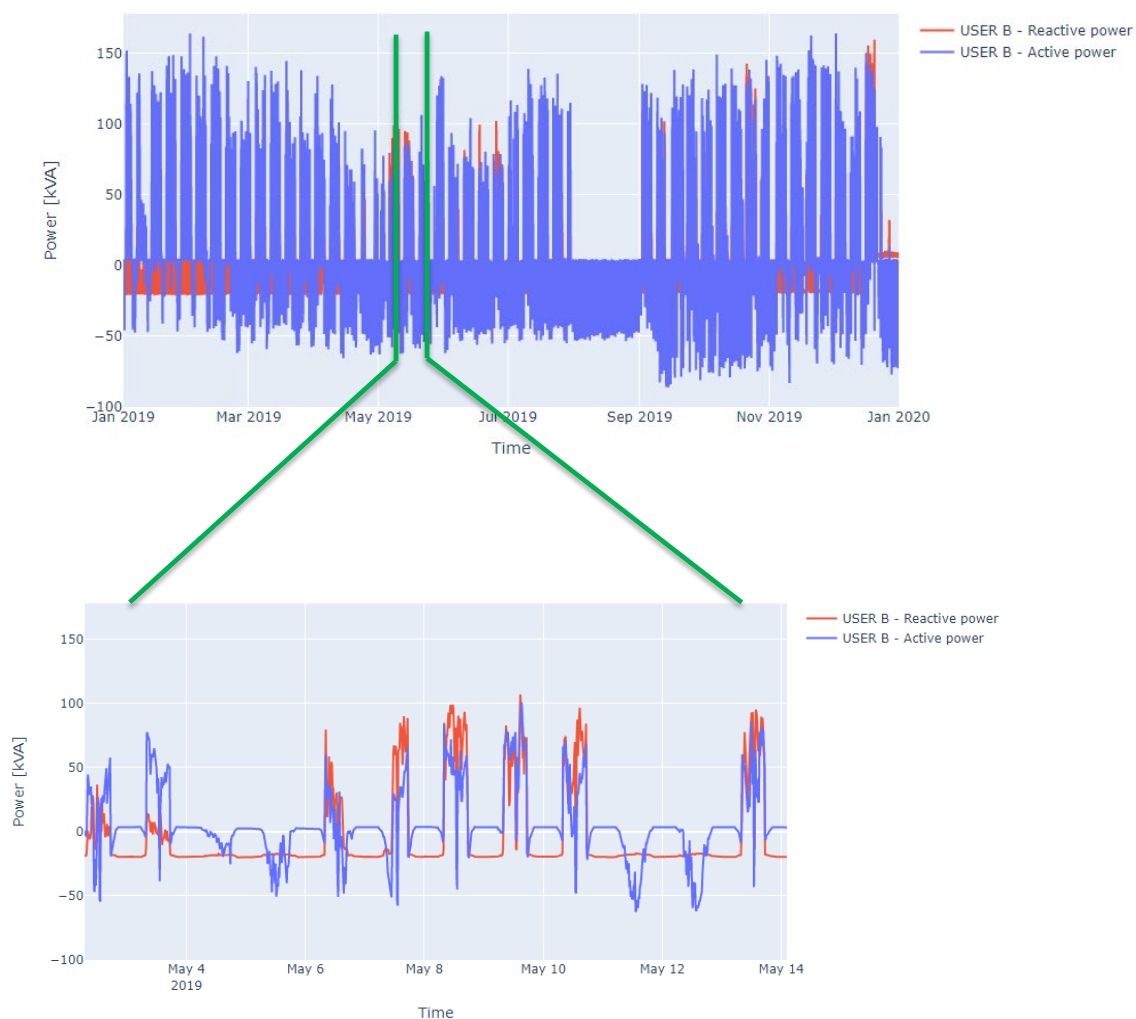


Figura 64. Comportamento capacitivo di un prosumer (i.e. un utente che presenta sia un comportamento attivo che passivo) probabilmente dovuto alla presenza di cavi MT nella pertinenza dell'utente stesso, piuttosto che ad un errato dimensionamento degli apparati di compensazione (valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)

- Per approfondire e quantificare in modo trasparente il fenomeno, si è provveduto ad un'analisi statistica del numero di utenti MT che hanno evidenziato una qualche immissione di energia reattiva nell'arco dei tre anni analizzati. Il dato, riportato nelle tabelle seguenti in termini di iniezioni di potenza reattiva per 100 Mvarh/anno piuttosto che per almeno 1 Gvarh/anno, evidenzia un ridotto numero di utenti MT che manifestano un reale problema in tale direzione, purtuttavia il fenomeno è in essere e dovrà essere gestito secondo le modalità concordate fra e-Distribuzione ed ARERA.

	2016	2017	2019
CASALNUOVO	5 su 65	3 su 60	5 su 61
DIREZIONALE	6 su 117	7 su 115	6 su 113
DOGANELLA	14 su 186	14 su 206	11 su 185
NOLA220	18 su 150	19 su 151	16 su 156
PATRIA150	5 su 78	5 su 77	4 su 71
TORRE NORD	5 su 58	3 su 57	2 su 58

Figura 65. Numero di utenti MT, rispetto ai totali presenti, che hanno registrato iniezioni di potenza reattiva per almeno 100 Mvarh/anno

	2016	2017	2019
CASALNUOVO	1 su 65	1 su 60	1 su 61
DIREZIONALE	0 su 117	0 su 115	0 su 113
DOGANELLA	0 su 186	0 su 206	1 su 185
NOLA220	3 su 150	3 su 151	3 su 156
PATRIA150	0 su 78	0 su 77	1 su 71
TORRE NORD	0 su 58	0 su 57	1 su 58

Figura 66. Numero di utenti MT, rispetto ai totali presenti, che hanno registrato iniezioni di potenza reattiva per almeno 1 Gvarh/anno

- In termini di iniezioni ed assorbimenti di potenza attiva da parte delle utenze MT, viceversa, si registra una sostanziale stabilità nel tempo. In particolare, è da tenere in considerazione la diversa scala dei due grafici seguenti, ovvero il comportamento delle utenze MT è prevalentemente passivo, riportando solo minori iniezioni di potenza attiva.

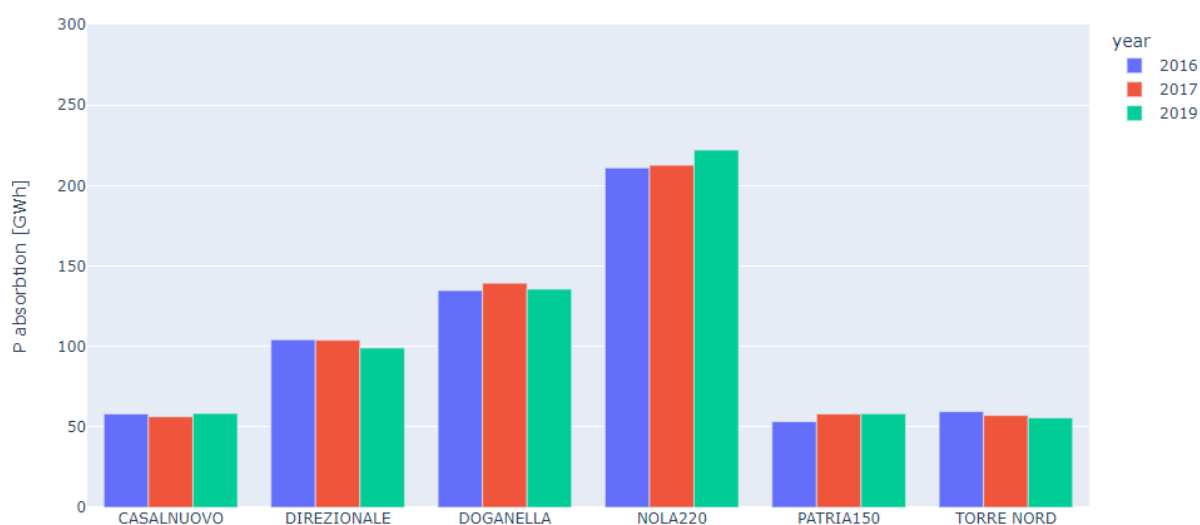


Figura 67. Energia attiva assorbita (cfr. induttiva – Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

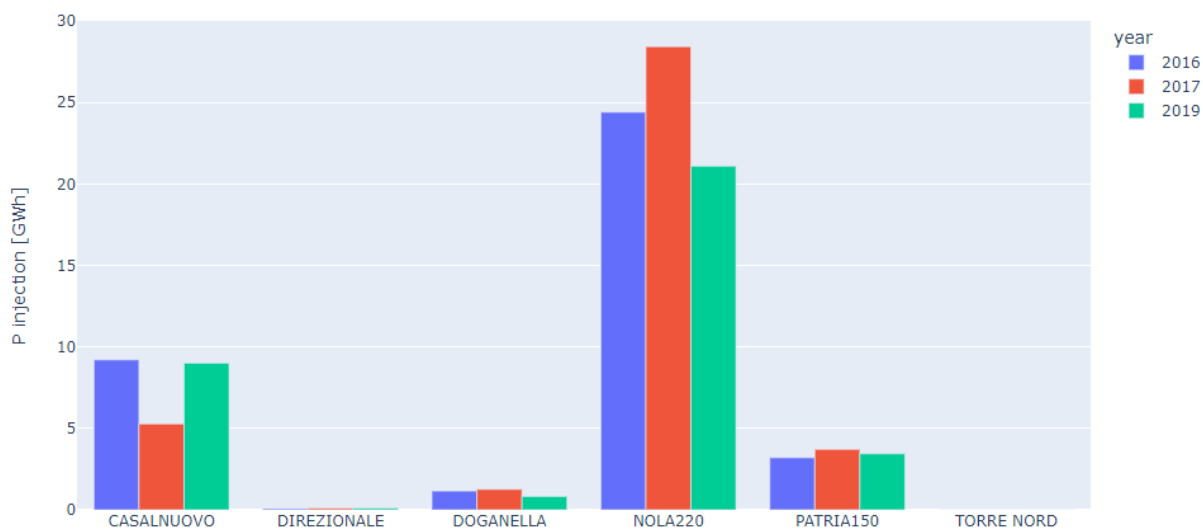


Figura 68. Energia attiva iniettata (cfr. induttiva – Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

- Riportando i risultati su un diagramma a 4 quadranti, e differenziando i singoli campioni con colori corrispondenti alle fasce orarie della tariffa energetica, si nota un marcato trend verso iniezioni

capacitive nella fascia F3, purtuttavia tali iniezioni non si ritrovano (se non marginalmente) negli utenti MT.

Nel seguito si riporta il dettaglio relativo alla CP NOLA220, ovvero ad una CP dove si inizia a manifestare un fenomeno di iniezioni di potenza reattiva, per quanto non marcato come in altre CP (e.g. PATRIA 150, o altre CP limitrofe che, come precedentemente introdotto, manifestano maggiori transiti di potenza reattiva capacitiva).

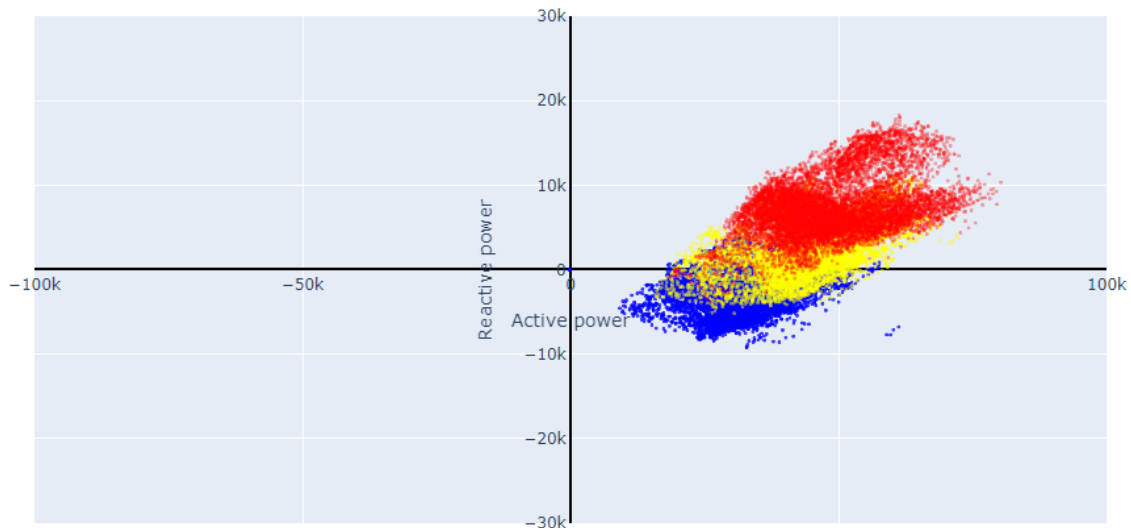


Figura 69. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, registrati nella CP NOLA220 nell'anno 2017

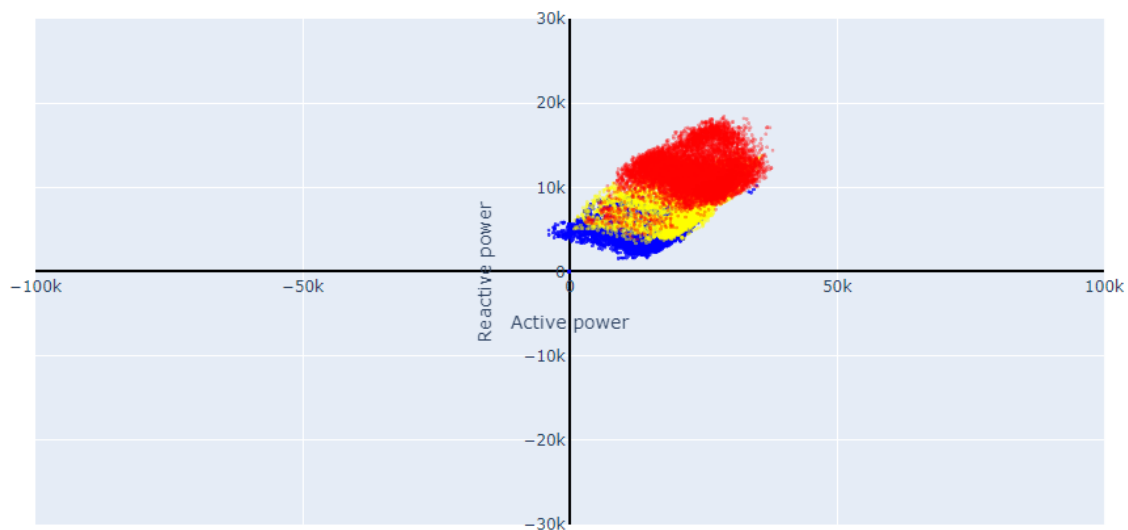


Figura 70. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, correlati agli utenti MT afferenti alla CP NOLA220 nell'anno 2017

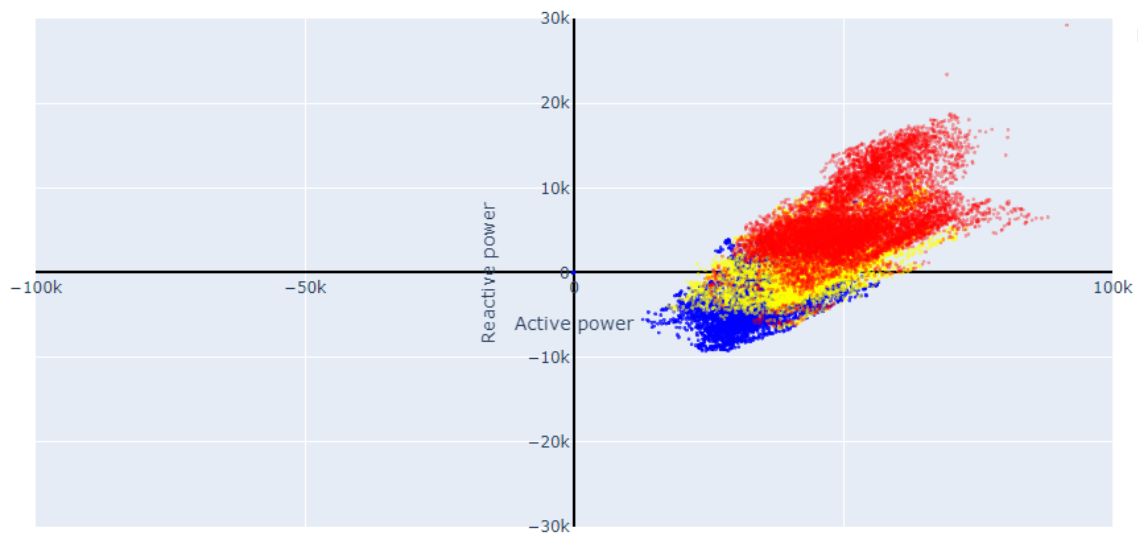


Figura 71. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, registrati nella CP NOLA220 nell'anno 2019

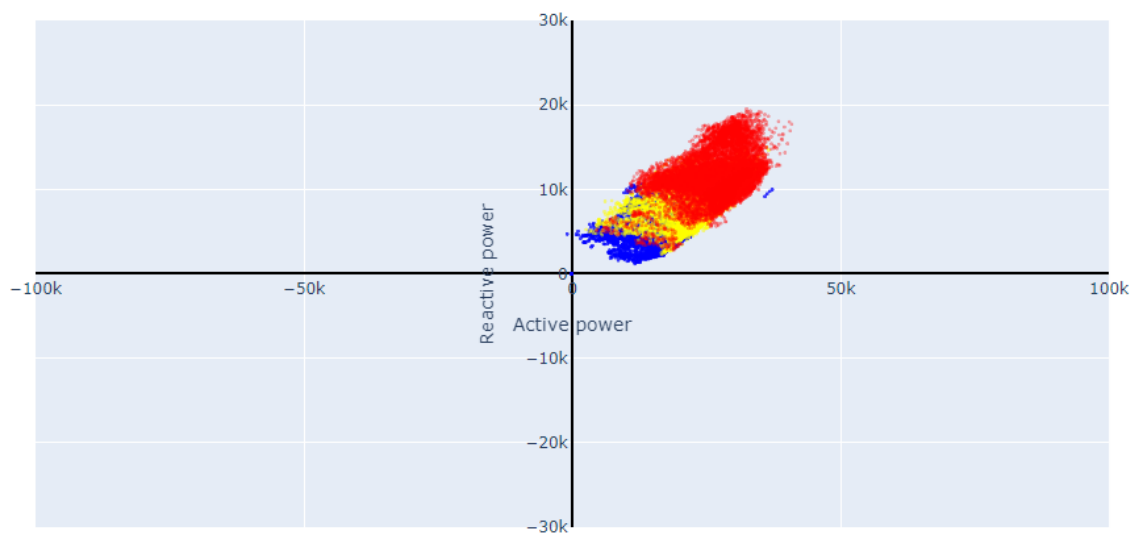


Figura 72. Transiti di potenza, sul diagramma a 4 quadranti, correlati agli utenti MT afferenti alla CP NOLA220 nell'anno 2019

- A livello complessivo, ovvero valutando nel complesso la CP NOLA220, il cui comportamento energetico è stato dettagliato nei grafici precedenti, si ritrova di anno in anno un incremento delle iniezioni di energia reattiva, concentrate nella fascia oraria F3.

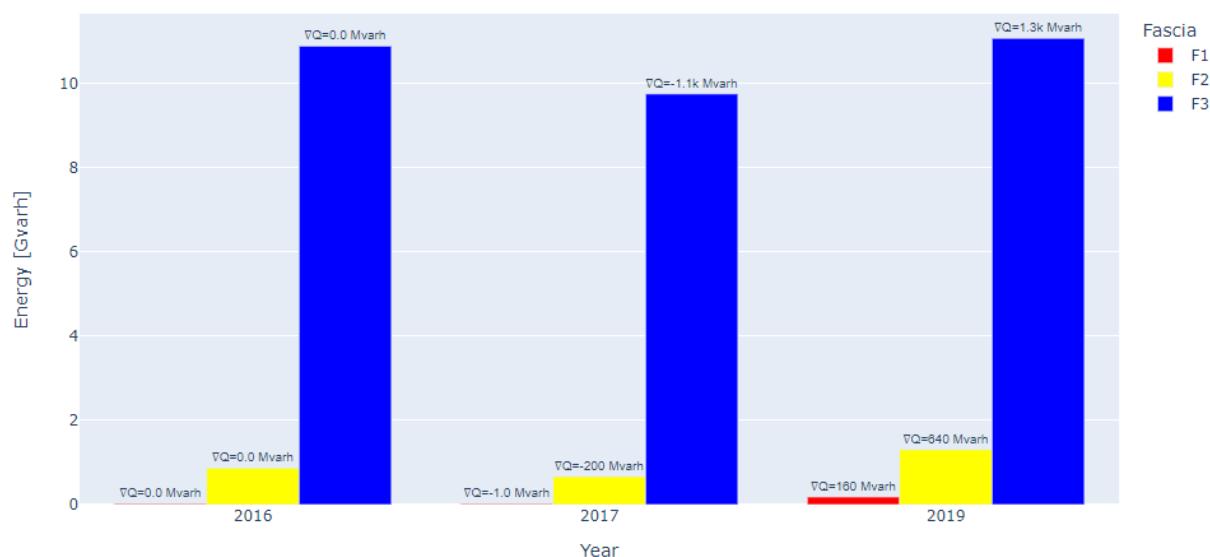


Figura 73. Variazioni incrementali (rispetto all'anno precedente) delle iniezioni di energia reattiva nella RTN per la CP NOLA 220

Stima della potenza reattiva capacitiva corrispondete alle linee in cavo

- In ragione della lunghezza delle linee in cavo, interrato e/o aereo, rilevate per ogni CP, si è quindi stimato il contributo capacitivo associato a tali elementi, ipotizzando gli stessi in esercizio continuativo (24 ore al giorno, 7 giorni alla settimana) alla tensione nominale (in particolarem, per le reti esercite a 20 kV, è stato stimato un contributo pari a 40 kvar/km, viceversa per le CP DOGANELLA e DIREZIONALE, esercite a 9 kV, si è ipotizzato un contributo equivalente pari a 8.1 kvar/km). In figura è dettagliata l'estensione della rete in cavo per ogni CP. Rispetto all'area in analisi si registra una lunghezza totale delle linee in cavo sostanzialmente invariata.

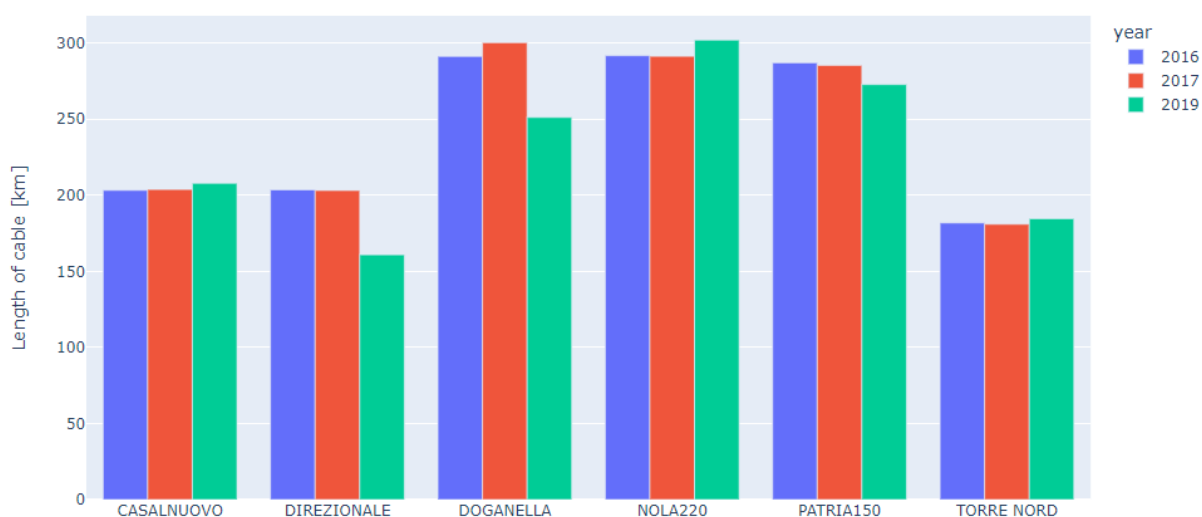


Figura 74. Estensione [km] della rete MT in cavo afferente alle CP in analisi – area di Napoli

Flussi energetici delle utenze connesse in BT

- Come già operato per l'area di Foggia, al fine di una ricostruzione dei flussi energetici con il dettaglio massimo possibile, sono state quindi elaborate le misure correlate con gli utenti afferenti alla rete di distribuzione in Bassa Tensione (BT), con potenza contrattuale superiore ai 55 kW (per i quali si hanno appunto a disposizione le misure quartorarie). Anche in questo caso, rispetto al grafico in Figura 76, ovvero alle iniezioni di potenza reattiva, si porta in evidenza la scala adottata ai fini della rappresentazione, ovvero, le grandezze in analisi risultano particolarmente modeste.
- Lo stesso dicasi per i transiti di potenza attiva, in particolare questi mostrano un trend di leggera crescita negli anni.
- In sintesi, non emergono particolari evidenze relativamente agli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW.

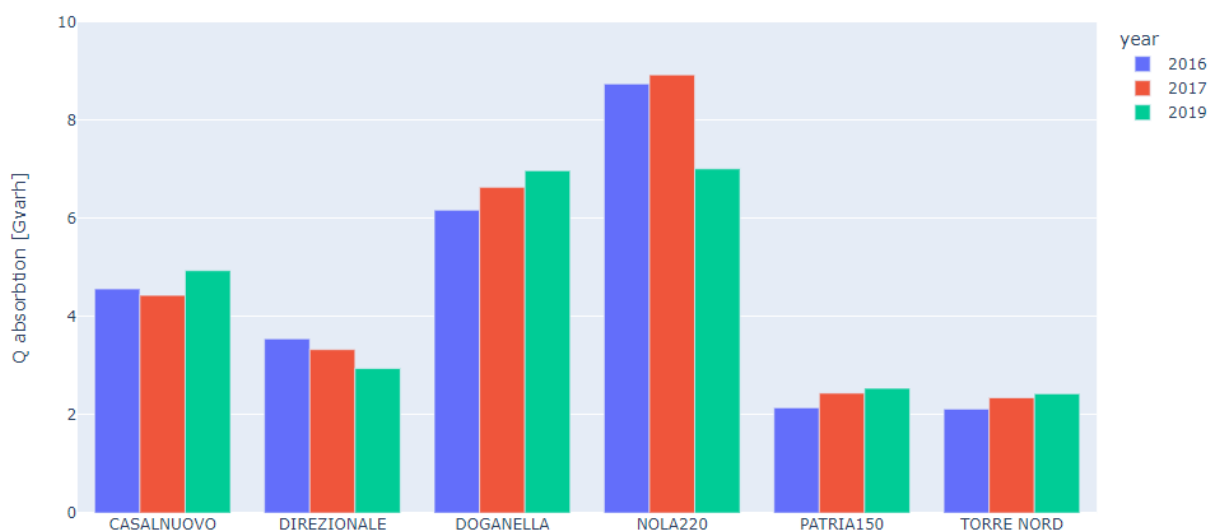


Figura 75. Energia reattiva assorbita (Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

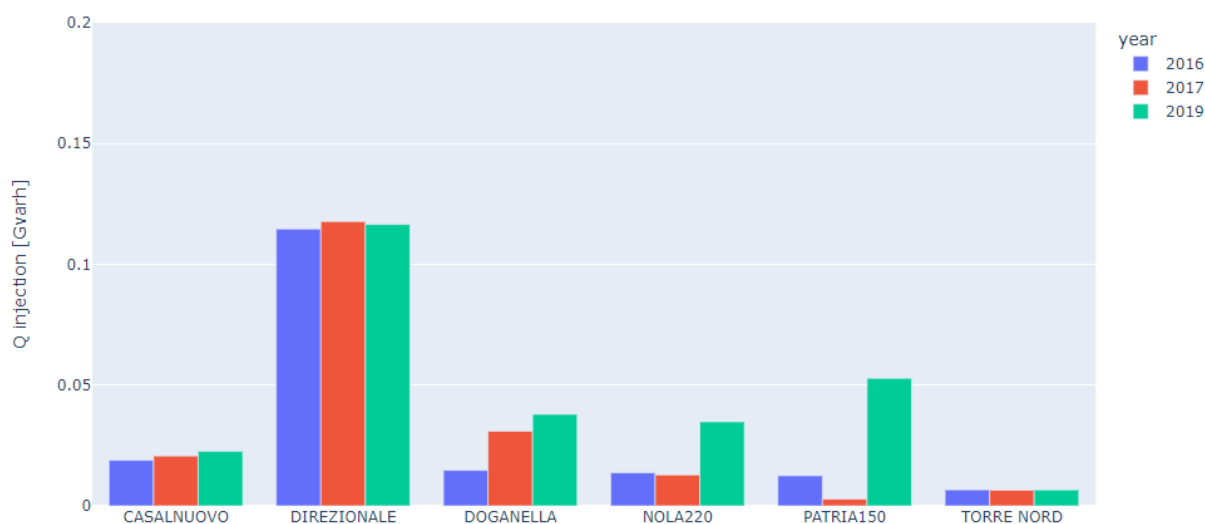


Figura 76. Energia reattiva iniettata (Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

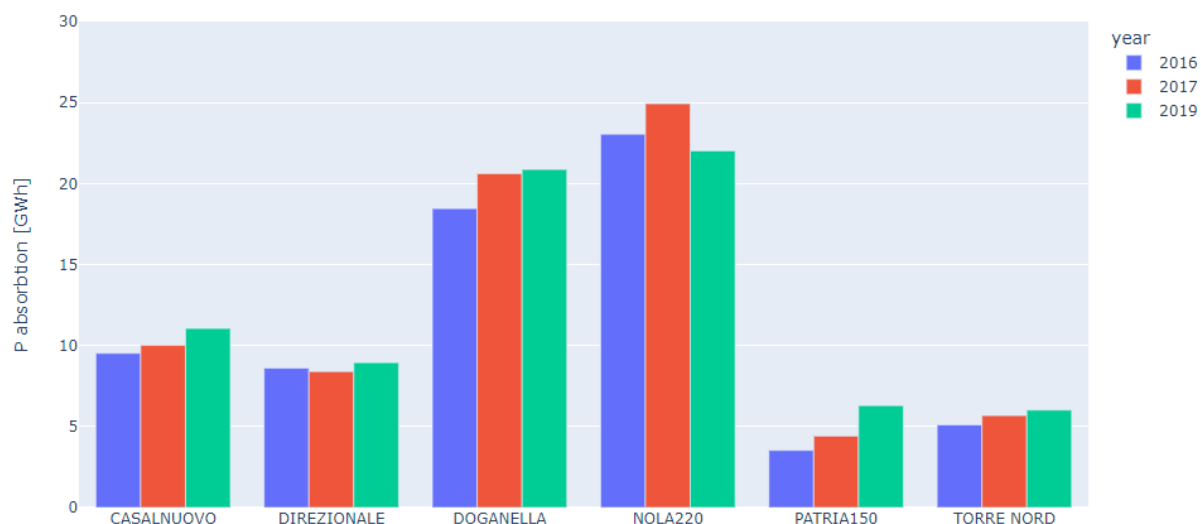


Figura 77. Energia attiva assorbita (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

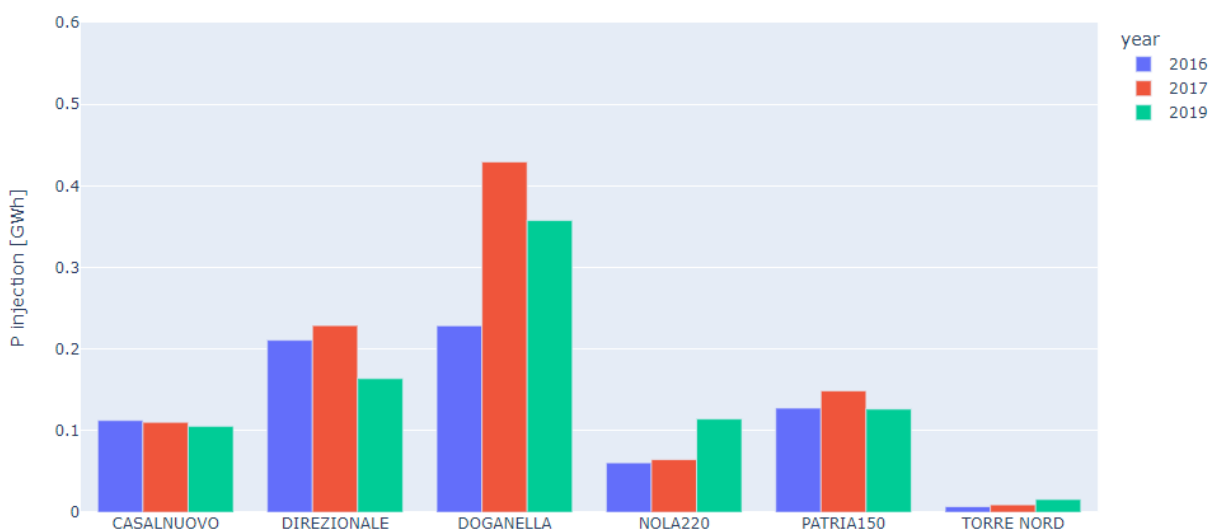


Figura 78. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

- Come per il caso dell'area di Foggia, si rimarca come il peso degli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW sia minoritario rispetto a quello degli utenti di taglia inferiore. Nella tabella seguente si riporta il dettaglio sulla suddivisione energetica fra utenti con potenza contrattuale superiore ai 55 kW ed utenti di taglia minore.

Cabina Primaria	Rapporto fra l'energia assorbita delle utenze BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW e quella assorbita dalle utenze di taglia minore [%]
CASALNUOVO	5.9
DIREZIONALE	4.31
DOGANELLA	9.33
NOLA 220	12.25
PATRIA 150	3.8
TORRE NORD	4.11

Figura 79. Rapporto dell'energia assorbita dalle utenze BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW e quella delle utenze di taglia minore [%]

- Per differenza fra
 - v) i transiti rilevati in CP,
 - vi) i transiti relativi agli utenti MT,
 - vii) i transiti relativi agli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW,
 - viii) il contributo capacitivo stimato per le linee in cavo,

è stata elaborata una stima indicativa dei flussi energetici relativi agli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW. Si rimarca come il dato risulta essere una stima approssimativa, trascurandone le perdite di potenza attiva sulle linee e, similmente, trascurando il contributo reattivo dei parametri longitudinali, nonché quello capacitivo delle linee aeree. Si puntualizza inoltre che, sia per le potenze attive che reattive, il contributo dei parametri delle macchine elettriche (cfr. trasformatori) è stato trascurato. Tali fattori, la cui quantificazione non è possibile in ragione dei dati a disposizione, sono ritenuti di entità inferiore a quella degli altri parametri in analisi.

Nel seguito si esemplifica il processo adottato, con riferimento alla CP di NOLA 220, presa come esemplificativa del processo.

Figura 80. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) nella CP NOLA220 (dato misurato - valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)
Con tratto giallo punteggiato è riportata la stima del contributo capacitivo dovuto alle linee MT in cavo (si nota come questo sia sempre superiore allo scambio in CP)



Figura 81. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) degli utenti MT afferenti alla CP NOLA 220 (dato misurato)

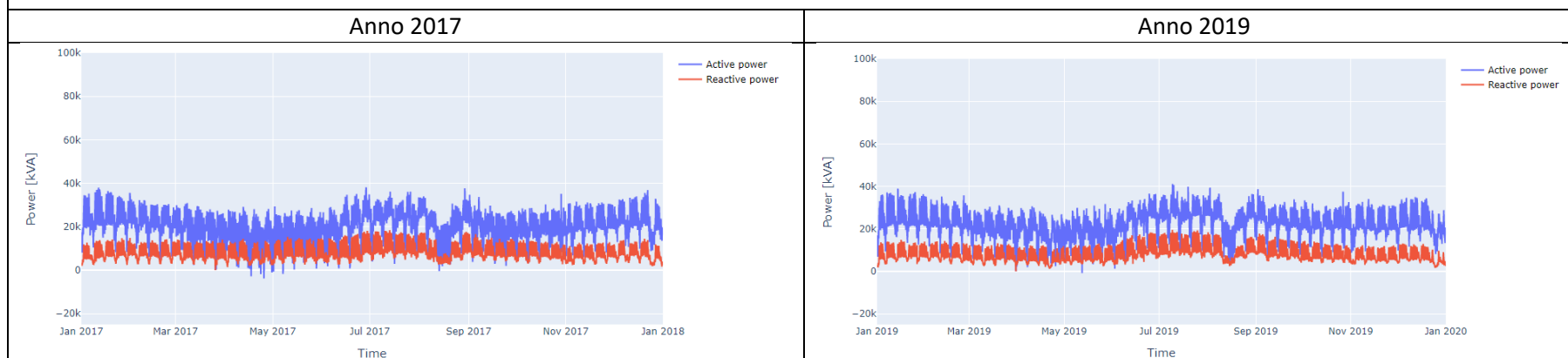


Figura 82. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto verde) degli utenti BT (grandi e piccoli) afferenti alla CP NOLA220. In figura il tratto rosso corrisponde al profilo residuale fra i transiti in CP e gli utenti MT, scorporando poi la stima del contributo reattivo della rete si ricostruisce il profilo in tratto verde (ovvero la differenza fra il profilo rosso e quello verde è la stima del contributo capacitivo della rete).

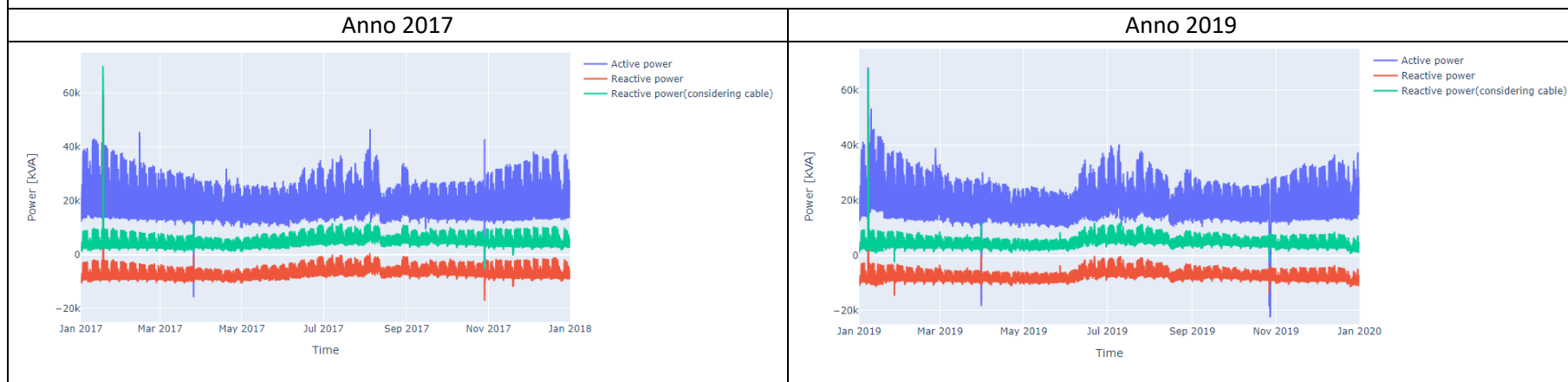
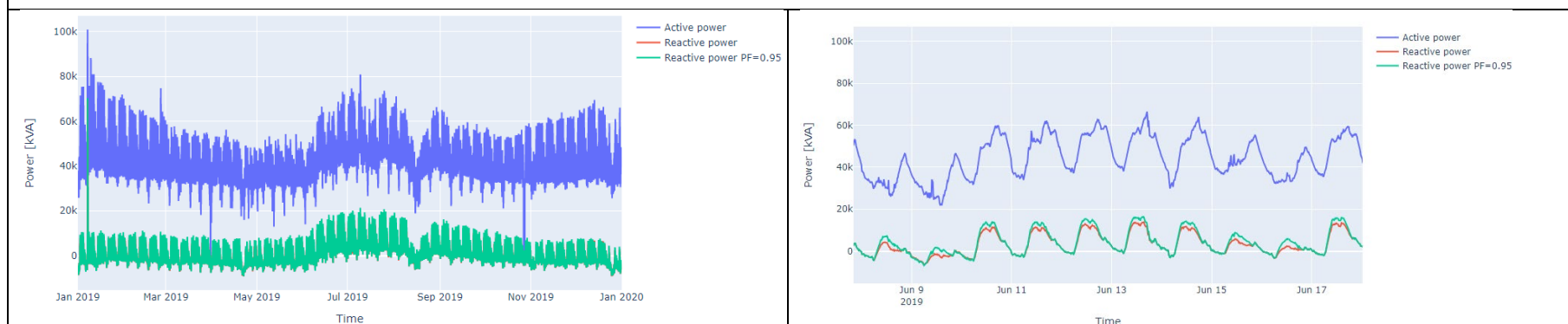


Figura 83. Profilo di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso – poco distinguibile in figura) della CP NOLA 220 – anno 2019

Con tratto verde si riporta il profilo di potenza reattiva corrispondente ad una regolazione a fattore di potenza 0.95 degli utenti attivi afferenti alla rete MT. La soluzione risulta essere non efficace e, nei fatti, non porta contributi nella fascia F3. Nella figura di destra si riporta un dettaglio.



Esattamente come evidenziato nel caso dell'area di Foggia, il processo di ricostruzione dei flussi energetici degli utenti BT, riportati con tratto verde in Figura 82, porta ad evidenziare un comportamento induttivo che però denota un leggero trend a decrescere fra il 2017 e il 2019 (nel seguito tale trend verrà meglio quantificato).

- Lo studio qui sintetizzato per la CP NOLA220 è stato ripetuto sull'intero set di CP dell'area di Napoli, andando poi a produrre una sintesi aggregata dei risultati ottenuti. In sintesi, le analisi eseguite sull'intero set di CP hanno evidenziato come, in termini di comportamento attivo, gli utenti BT (<55kW) manifestano un comportamento ad assorbire sia potenza attiva che potenza reattiva; purtroppo, rispetto al sottoproblema reattivo, si nota una riduzione degli assorbimenti.

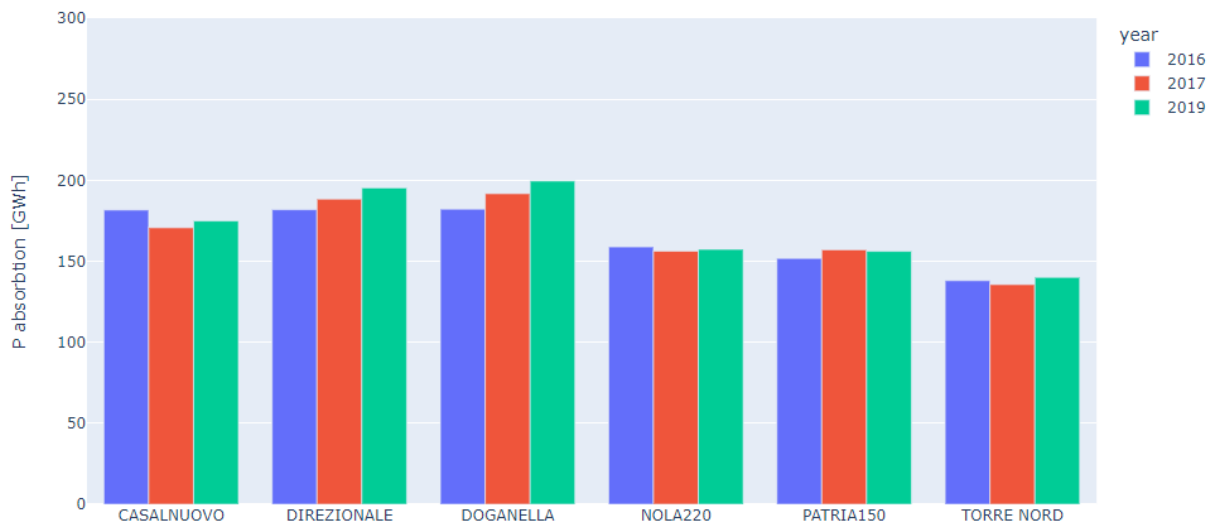


Figura 84. Energia attiva assorbita (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

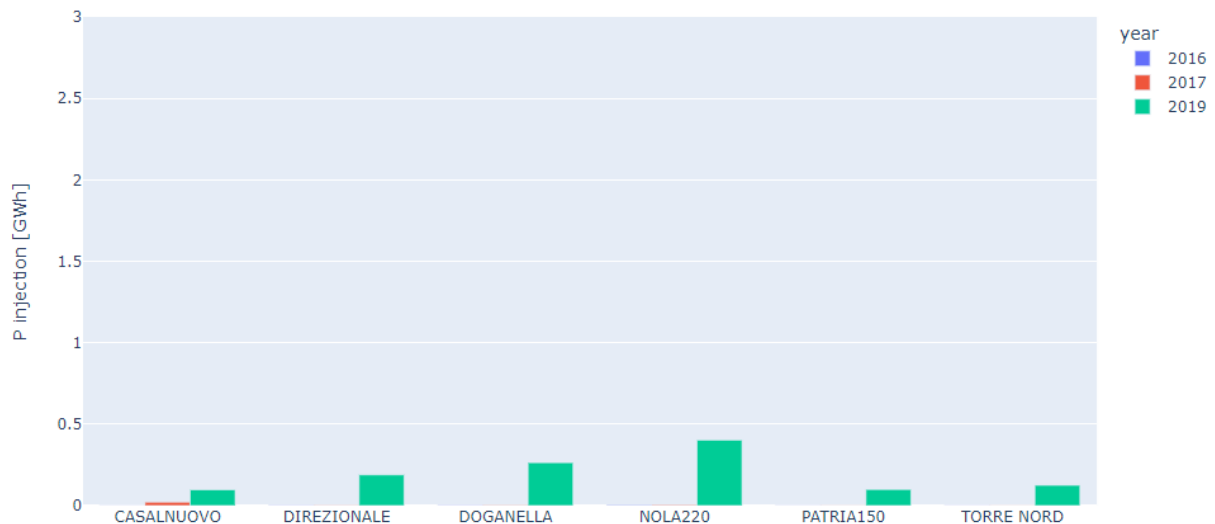


Figura 85. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

- Al fine di quantificare il trend di variazione dei prelievi per gli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW, si è calcolata la distribuzione del fattore di potenza degli stessi, calcolandone la distribuzione fra le diverse ore di funzionamento dell'anno in analisi (Figura 86 e Figura 87). Globalmente il fattore di potenza va a crescere da 0.965 a 0.98 passando dall'anno 2017 all'anno 2019. Come per il caso dell'area di Foggia, si precisa come tale stima sia da intendersi puramente indicativa in ragione delle ipotesi e delle semplificazioni del calcolo.

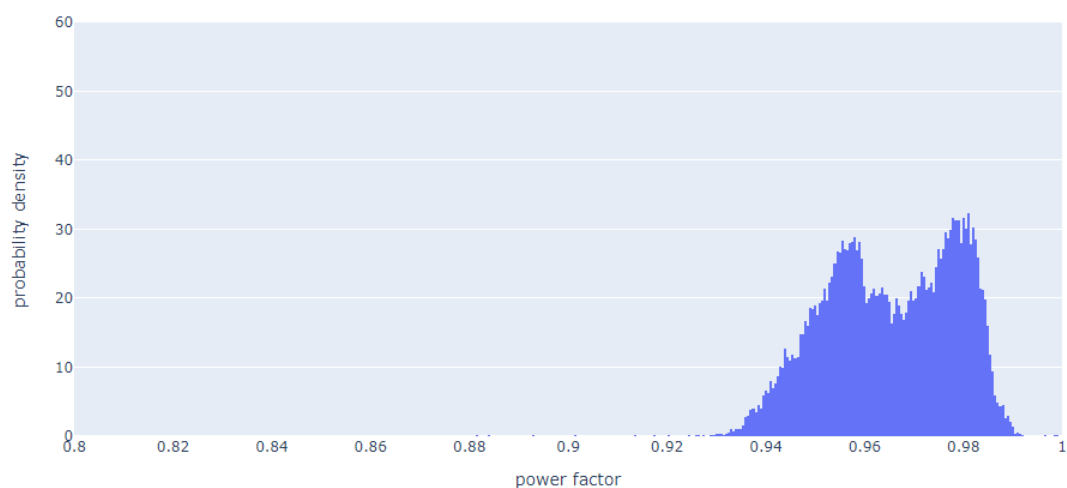


Figura 86. Distribuzione di probabilità del fattore di potenza ricostruito per gli utenti BT di taglia inferiore ai 55 kW per l'anno 2017 – area di Napoli

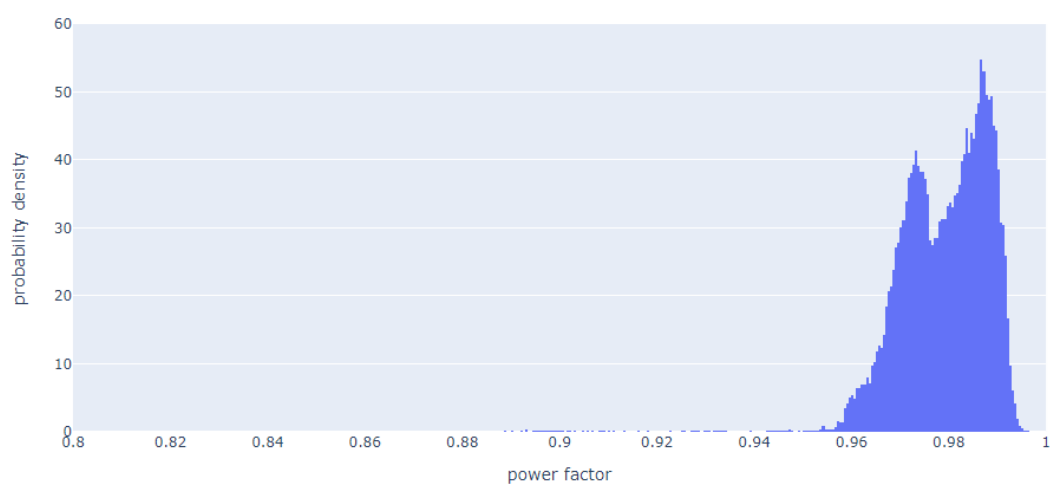


Figura 87. Distribuzione di probabilità del fattore di potenza ricostruito per gli utenti BT di taglia inferiore ai 55 kW per l'anno 2019 – area di Napoli

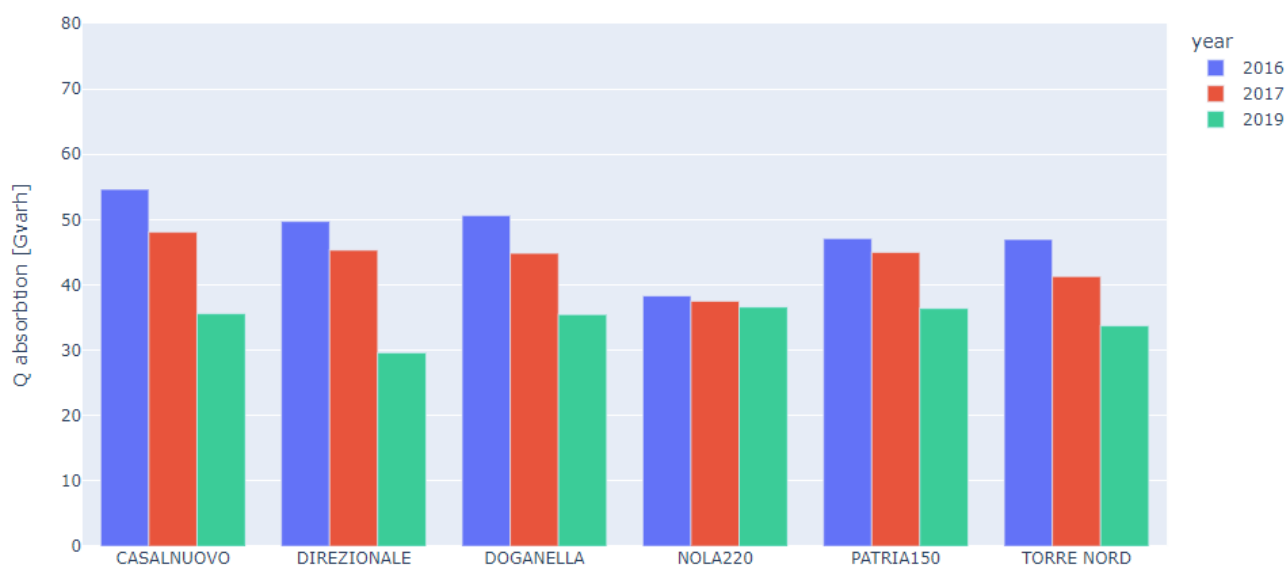


Figura 88. Energia reattiva assorbita (Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

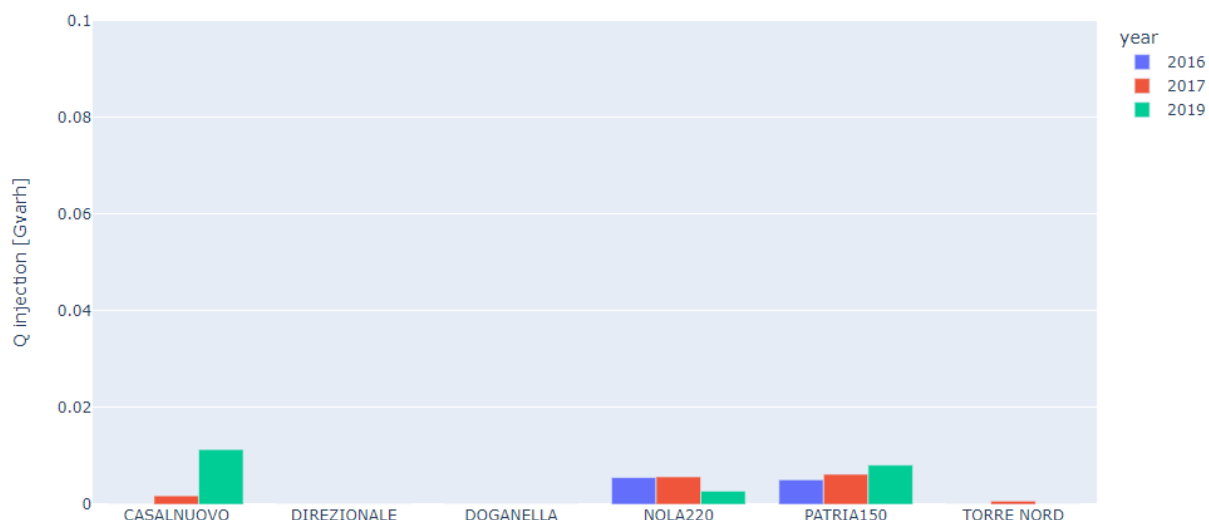


Figura 89. Energia reattiva iniettata (Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (<55kW) afferenti alle CP in analisi – area di Napoli

A titolo di sintesi conclusiva, nell'area di Napoli si rileva uno scenario in cui:

- I flussi di potenza reattiva risultano intermedi, ovvero in alcune CP si rilevano flussi prevalentemente induttivi, in altre si riscontrano iniezioni capacitive, ma in entrambe le configurazioni si rileva un trend a ridurre il comportamento induttivo ed a crescere quello;
- Gli utenti MT registrano, soprattutto nelle ore notturne, delle iniezioni reattive, pur tuttavia il contributo di ogni singolo utente è relativamente modesto;
- Il contributo capacitivo della rete elettrica (cfr. linee in cavo) è considerevole, ma risulta stabile negli anni, ovvero l'incremento di tale fattispecie lungo il periodo in analisi è stato particolarmente modesto;
- La principale causa del trend a crescere delle iniezioni capacitive nell'area di Napoli pare essere correlata al comportamento degli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW. Tali utenze presentano un fattore di potenza che è andato a crescere nel tempo, portando quindi ad una mancata compensazione del comportamento capacitivo della rete di distribuzione. Purtroppo, come per il caso di studio dell'area di Foggia, si rimarca come la quantità energetica corrispondente a tali utenti non risulti da misura diretta ma da ricostruzione numerica, inoltre nel processo di analisi utilizzato sono state introdotte diverse ipotesi metodologiche, ovvero l'affermazione riportata è da rileggersi come potenziale concausa del fenomeno rilevato (cfr. incremento delle iniezioni reattive), a giustificare l'opportunità di verifiche tramite misura diretta.
- Il fenomeno potrebbe essere stato amplificato da un incremento (che pur tuttavia nell'area in analisi non pare essere di grande entità) delle iniezioni correlate alla Generazione Distribuita (GD), iniezioni che concorrono alla riduzione dei flussi di potenza attiva sulle linee, riducendo quindi le perdite (attive e reattive) sui parametri longitudinali.

A completamento dello studio si è valutata la possibilità di correggere i flussi reattivi andando a controllare in sotto-eccitazione gli utenti attivi connessi alla rete MT, in particolare si è ipotizzato di andarli a vincolare ad un fattore di potenza pari a 0.95 (si è cioè ricostruito il profilo di reattivo addizionale a partire dall'iniezione attiva registrata, correlandola ad un fattore di potenza costante, appunto 0.95).

I risultati ottenuti sono stati mediocri in relazione al fatto che le iniezioni reattive si concentrano nella fascia F3, mentre le produzioni attive (probabilmente con forte connotazione fotovoltaica) sono concentrate in F1. In Figura 83 è riportato un esempio indicativo per la CP Nola 220.

In termini generali (Figura 90), praticamente nella totalità delle CP analizzate, solo una quota parte minore dell'energia reattiva (meno del 10%) potrebbe essere compensata (nell'ipotesi, ottimistica, di poter controllare l'intero set di utenti attivi connessi alla rete in MT).

CABINA PRIMARIA	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh]	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] controllando le iniezioni attive a PF 0.95	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] - solo per fascia F3	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] controllando le iniezioni attive a PF 0.95 - solo per fascia F3
CASALNUOVO	16.66	13.12	12.88	10.8
DIREZIONALE	0	0	0	0
DOGANELLA	0	0	0	0
NOLA 220	12.56	11.72	11.08	10.51
PATRIA 150	34.6	33.09	21.28	20.51
TORRE NORD	11.38	11.41	8.53	8.53

Figura 90. Iniezioni di potenza reattiva nelle CP dell'area di Napoli, considerando l'eventuale possibilità di regolare a fattore di potenza 0.95 le iniezioni di potenza attiva.

4. Sintesi delle evidenze numeriche rilevate nell'analisi dei flussi energetici relativi a CP selezionate a campione nel territorio italiano

Come già introdotto, al fine di allargare la varietà di scenari in analisi, oltre alle analisi sulle CP del territorio di Foggia e di Napoli, ulteriori 2 CP sono state investigate, nel dettaglio:

- CP BRUSCIANO, selezionata in accordo fra e-Distribuzione e Terna come CP del territorio campano caratterizzata da iniezioni di potenza reattiva (verso la RTN) particolarmente sostenute, ovvero selezionata a titolo di verifica e integrazione di quanto discusso nel capitolo precedente;
- CP PENNE, nella regione Abruzzo, caratterizzata da un rilevante incremento dell'estensione delle linee in cavo (tali interventi si contestualizzano nelle azioni di miglioramento della resilienza della rete di distribuzione rispetto al fenomeno dei manicotti di ghiaccio).

Nel seguito si riporta una sintetica presentazione delle evidenze numeriche ricavate dai due casi studio, evidenziandone similitudini e dissimmetrie rispetto ai casi descritti nei capitoli precedenti.

Flussi energetici in Cabina Primaria

- Le CP in analisi sono distribuite nel territorio dell'Italia centrale, in particolare si ricorda come la loro localizzazione territoriale non è rilevante, ovvero le motivazioni con cui sono stati selezionati gli impianti è di natura elettrica e/o energetica:



Figura 91. Geolocalizzazione delle CP in Analisi

- Le due CP manifestano dei comportamenti energetici diversificati:
 - La CP PENNE (oggetto di interventi di cavizzazione al fine di incrementare la resilienza della rete) presenta un forte incremento di iniezioni reattive, soprattutto rispetto all'anno 2019;
 - La CP BRUSCIANO conferma la presenza di iniezioni capacitive verso la RTN, con un trend di crescita regolare negli anni, ovvero meno brusco rispetto a quanto rilevato nella CP PENNE;
 - Rispetto ai flussi di potenza attiva, la CP BRUSCIAMO mostra un comportamento prevalentemente passivo, viceversa la CP PENNA inietta energia nella RTN in quantità rilevante.
 - Andando a rileggere il punto di lavoro delle due CP in analisi (Figura 96), le misure si concentrano, per la maggioranza dei campioni, nel IV quadrante, nelle figure seguenti si porta all'attenzione la differente scala adottata per mostrare il trend dell'energia reattiva assorbita rispetto a quello dell'energia erogata, appunto in ragione della forte prevalenza della prima sulla seconda.

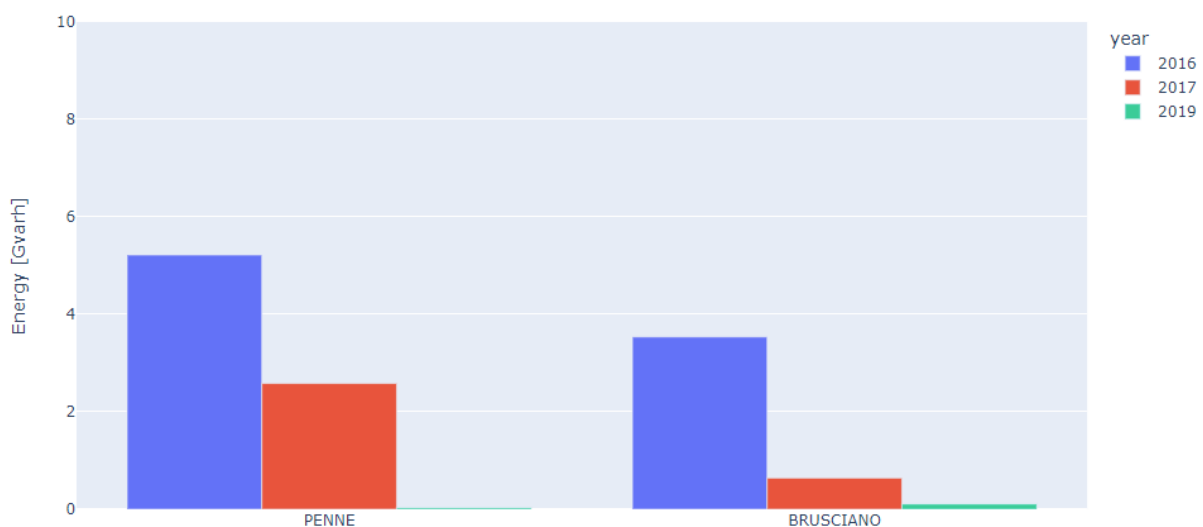


Figura 92. Energia reattiva assorbita (cfr. induttiva – Q1 e Q2), annualmente, dalle CP in analisi

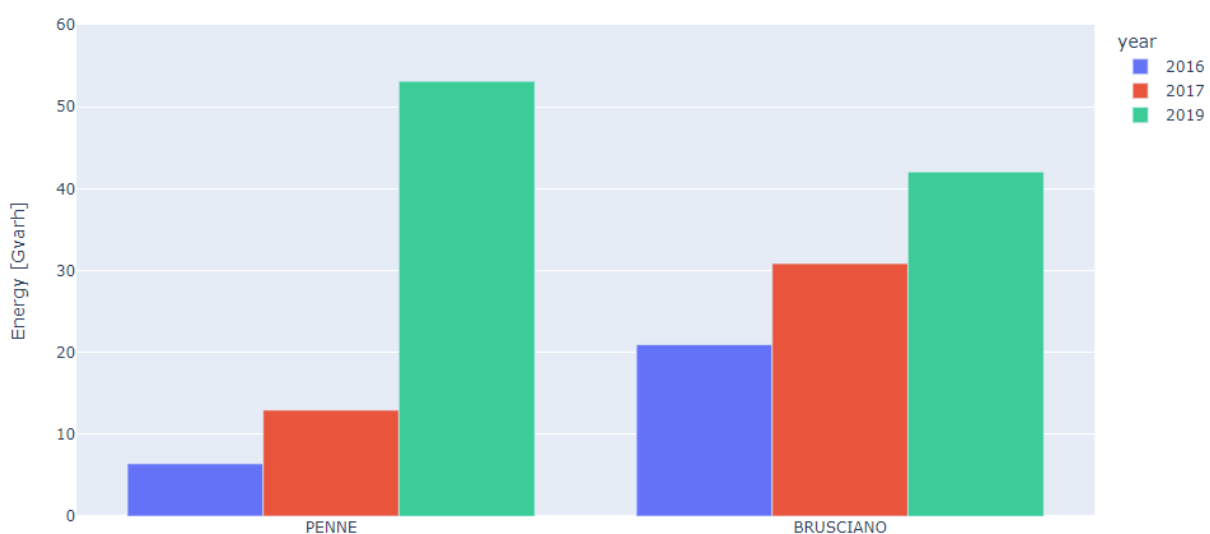


Figura 93. Energia reattiva iniettata (cfr. capacitiva– Q3 e Q4), annualmente, dalle CP in analisi

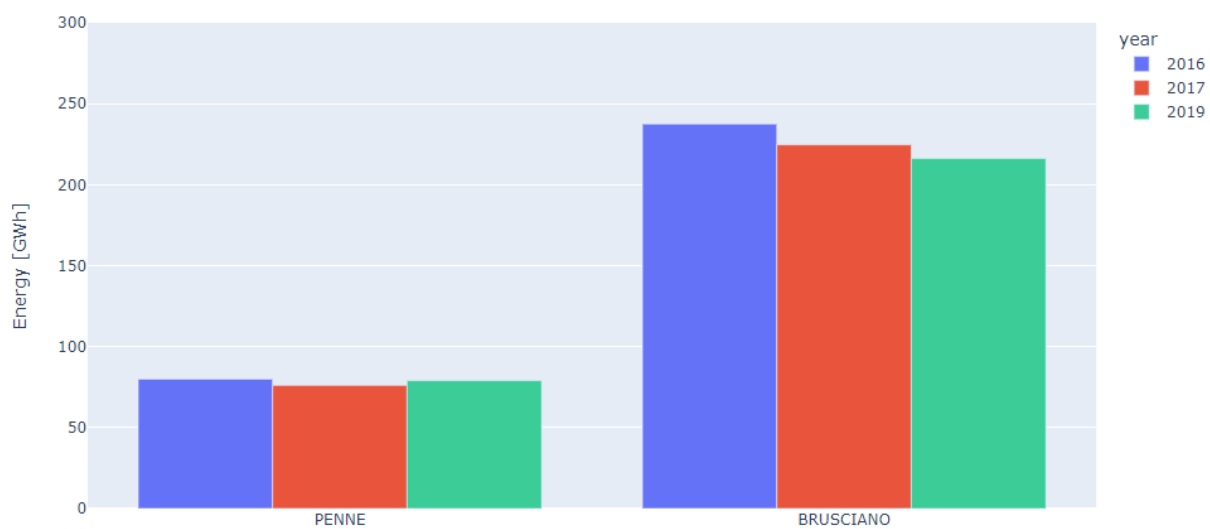


Figura 94. Energia attiva prelevata (Q1 e Q4), annualmente, dalle CP in analisi

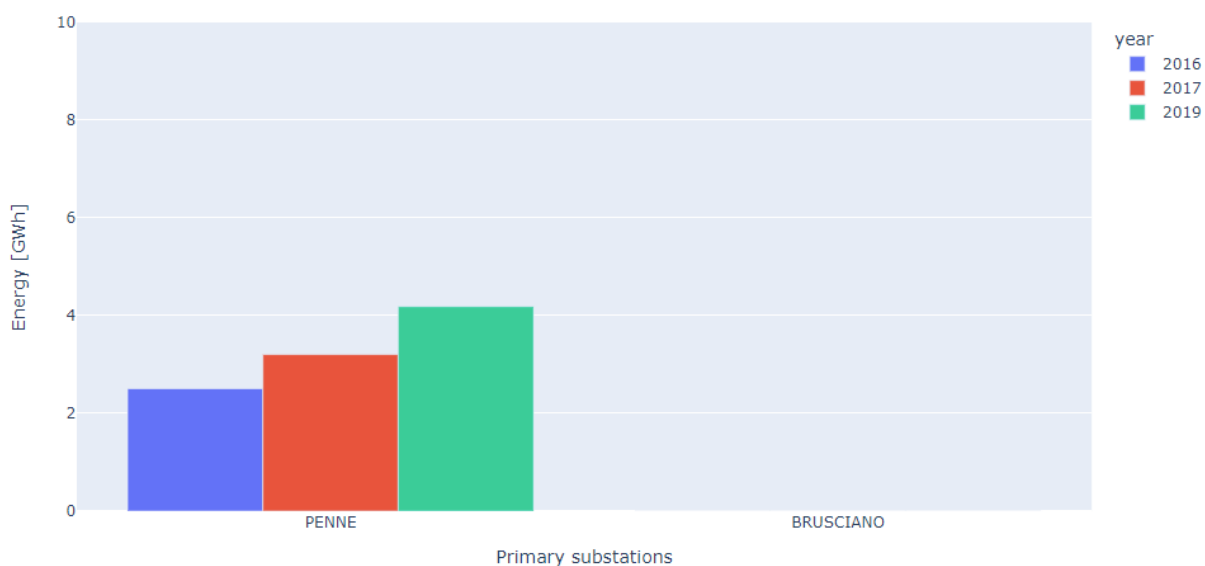


Figura 95. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dalle CP in analisi

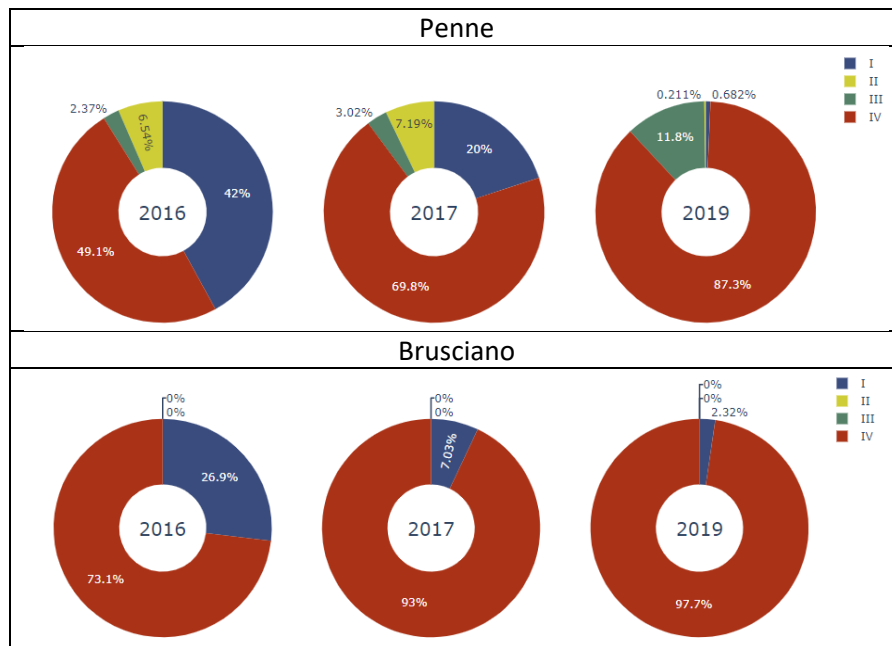


Figura 96. Distribuzione percentuale, ore/anno, dei flussi energetici rilevati nelle varie CP rispetto ai 4 quadranti di misura

- Per meglio evidenziare il fenomeno descritto, nelle figure seguenti si riporta la distribuzione dei campioni dei flussi di potenza, attiva e reattiva, per le due CP in analisi, nell'anno 2017 e 2019, differenziando i campioni in base alla fascia oraria di riferimento (Fascia F1 in rosso, Fascia F2 in giallo, Fascia F3 in blu).

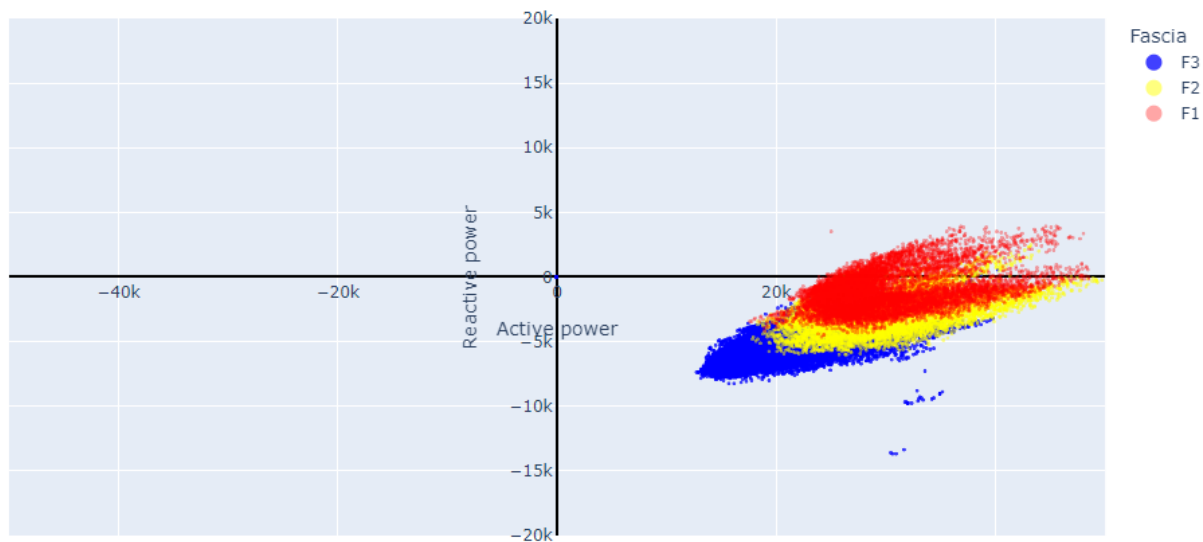


Figura 97. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quattoraria per l'anno 2017, CP BRUSCIANO (potenza in kW/kvar).

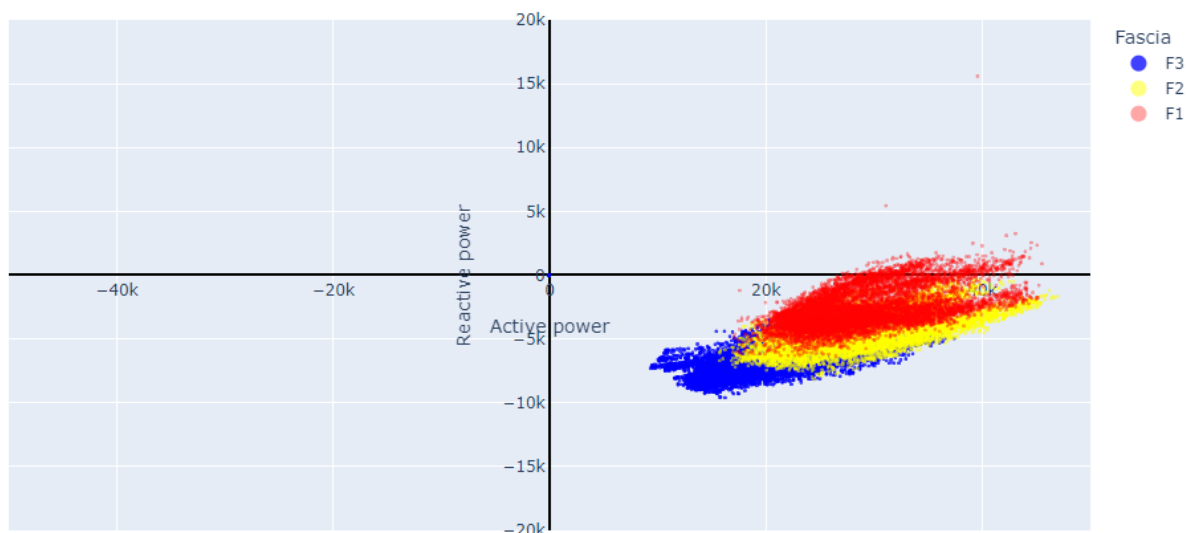


Figura 98. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2019, CP BRUSCIANO (potenza in kW/kvar).

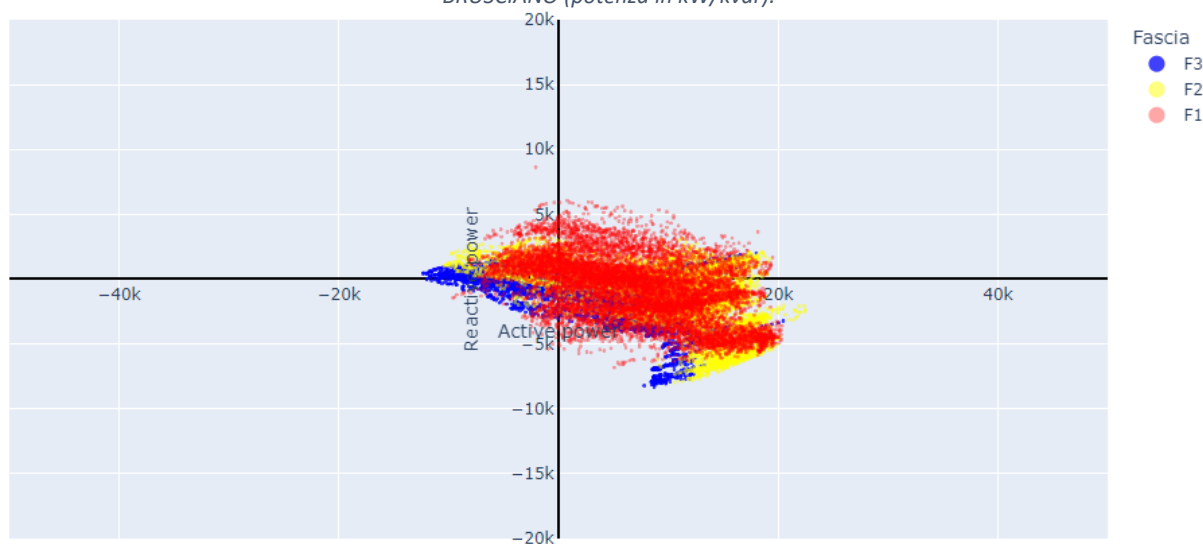


Figura 99. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2017, CP PENNE (potenza in kW/kvar).

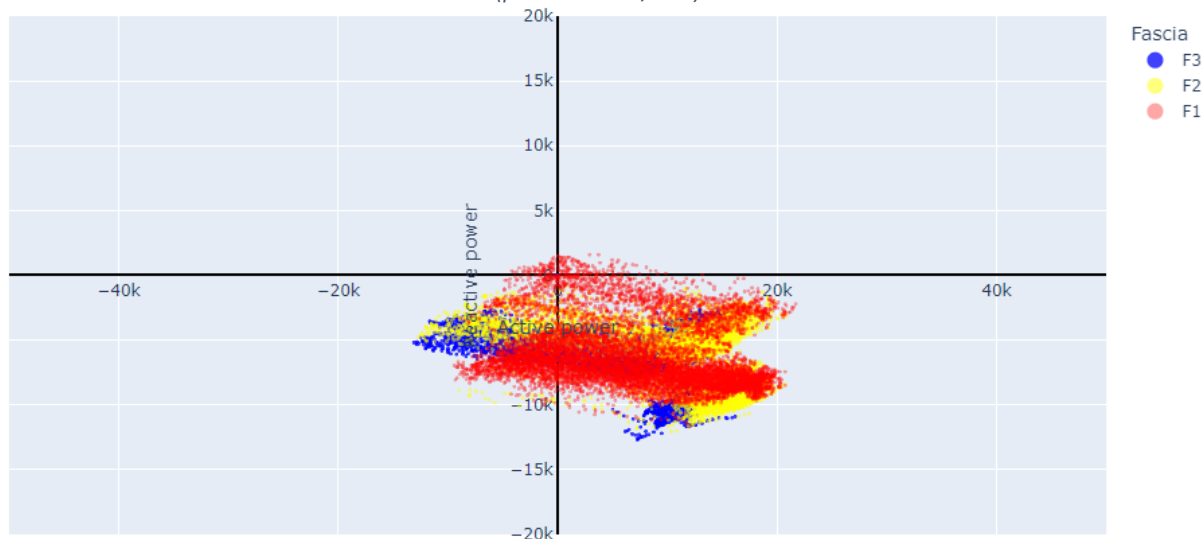


Figura 100. Misura con riferimento a 4 quadranti dei flussi di potenza misurati, con risoluzione quartoraria per l'anno 2019, CP PENNE (potenza in kW/kvar).

- I grafici riportati mostrano, in entrambe le CP, una concentrazione dei campioni nel quadrante Q4, con un trend ad incrementare le iniezioni di potenza reattiva, trend particolarmente evidente per la CP di PENNE.

Flussi energetici delle utenze connesse in MT

- Rispetto alle due Cabine Primarie in analisi si è provveduto al calcolo dei flussi energetici reattivi relativi agli utenti, attivi e passivi, afferenti alla rete di Media Tensione. Nelle figure seguenti si riporta il dettaglio numerico di tali flussi.
- Numericamente si evidenzia un comportamento prevalentemente induttivo, ovvero le iniezioni di energia reattiva (i.e. capacitiva) sono poco significative.

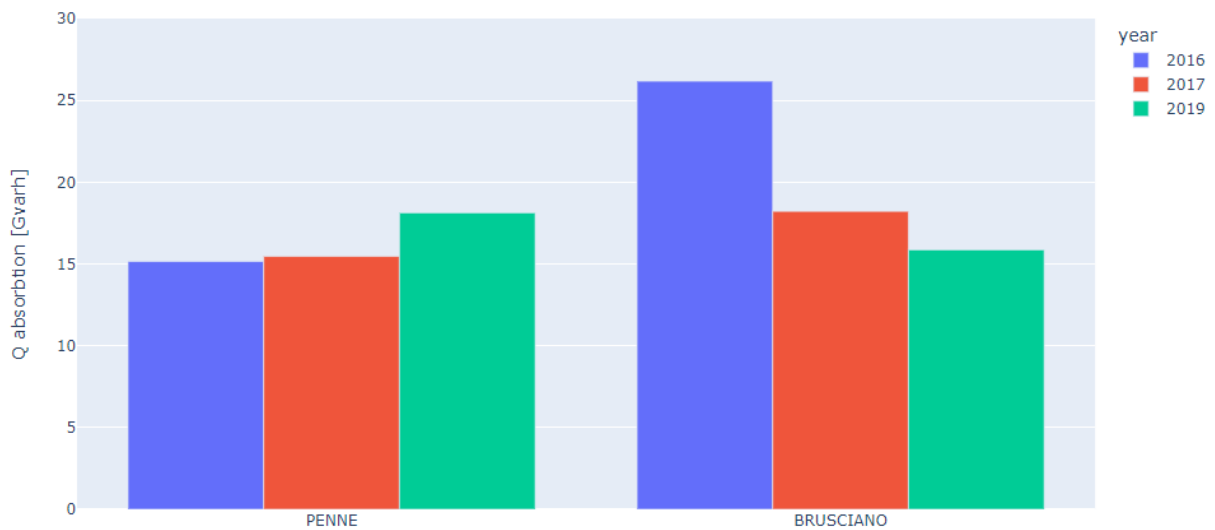


Figura 101. Energia reattiva assorbita (cfr. induttiva – Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi

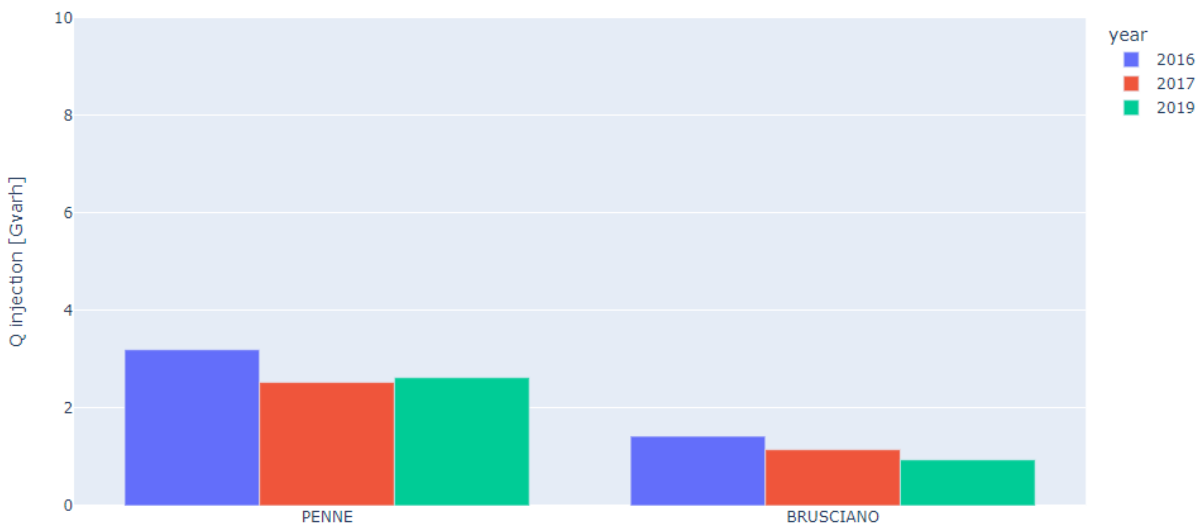


Figura 102. Energia reattiva iniettata (cfr. capacitativa – Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi

- Rispetto ai flussi di potenza attiva, si nota una rilevante presenza di iniezioni verso la RTN per la CP PENNE, viceversa la CP BRUSCIANO riporta un comportamento prevalentemente passivo, ovvero rispetto al comportamento degli utenti MT si conferma quanto già rilevato a livello di scambio fra la CP e la RTN.

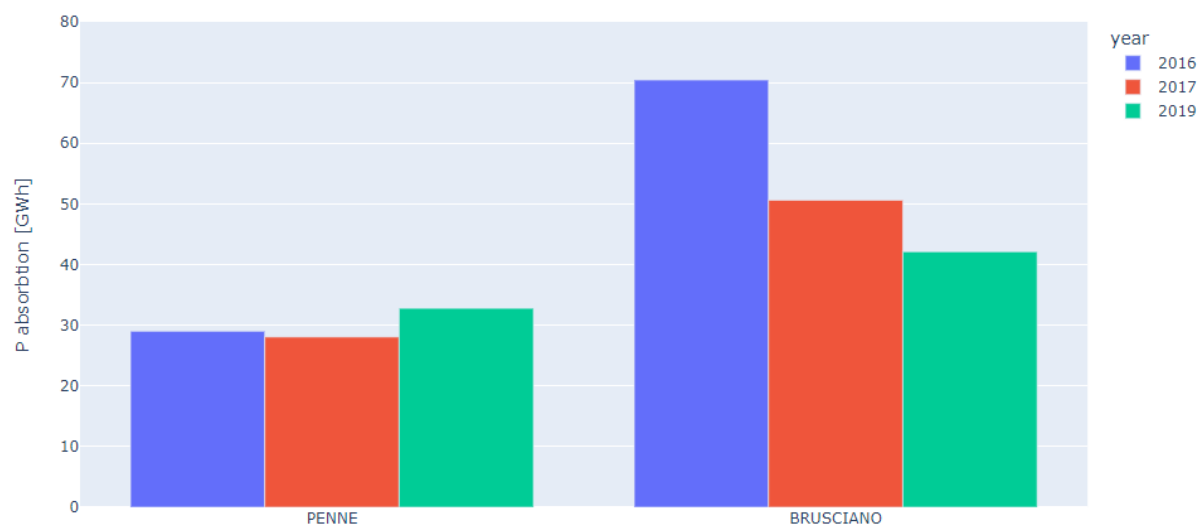


Figura 103. Energia attiva prelevata (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi

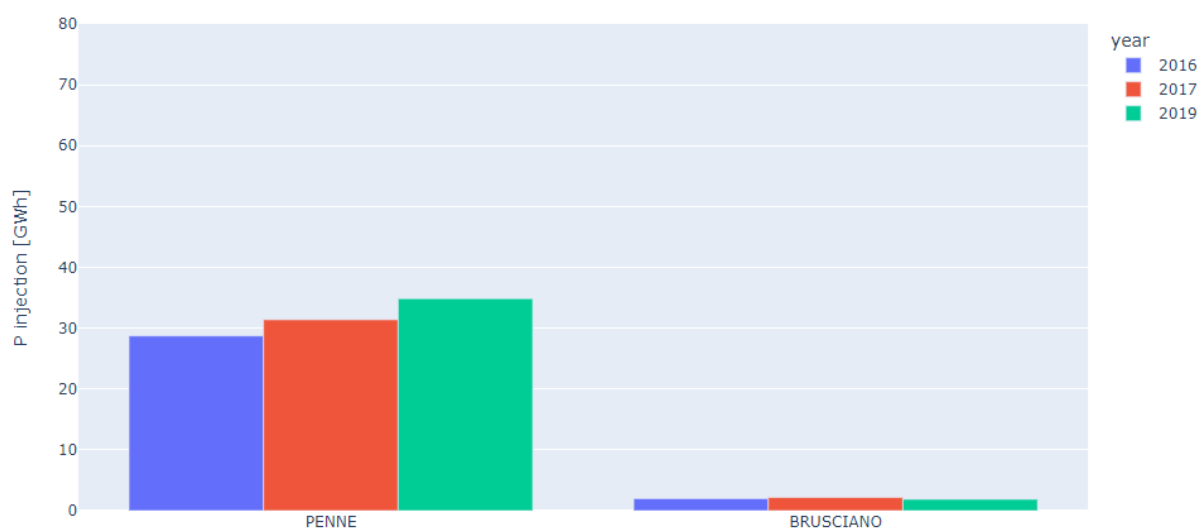


Figura 104. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti MT afferenti alle CP in analisi

Stima della potenza reattiva capacitiva corrispondete alle linee in cavo

- In congruenza con la procedura descritta nei capitoli precedenti, in ragione della lunghezza delle linee in cavo, interrato e/o aereo, rilevate per ogni CP, si è quindi stimato il contributo capacitivo associato a tali elementi, ipotizzando gli stessi in esercizio continuativo (24 ore al giorno, 7 giorni alla settimana) alla tensione nominale (in particolare è stato stimato un contributo pari a 40 kvar/km). In figura è dettagliata l'estensione della rete in cavo per ogni CP.
- Le analisi numeriche hanno mostrato, rispetto alla CP PENNE, una forte crescita nell'estensione della rete (di media tensione) in cavo (in sostituzione alle esistenti linee aeree), con un delta di oltre 100 km dall'anno 2017 all'anno 2019. Viceversa, per la CP BRUSCIANO la struttura della rete di distribuzione è nei fatti immutata.

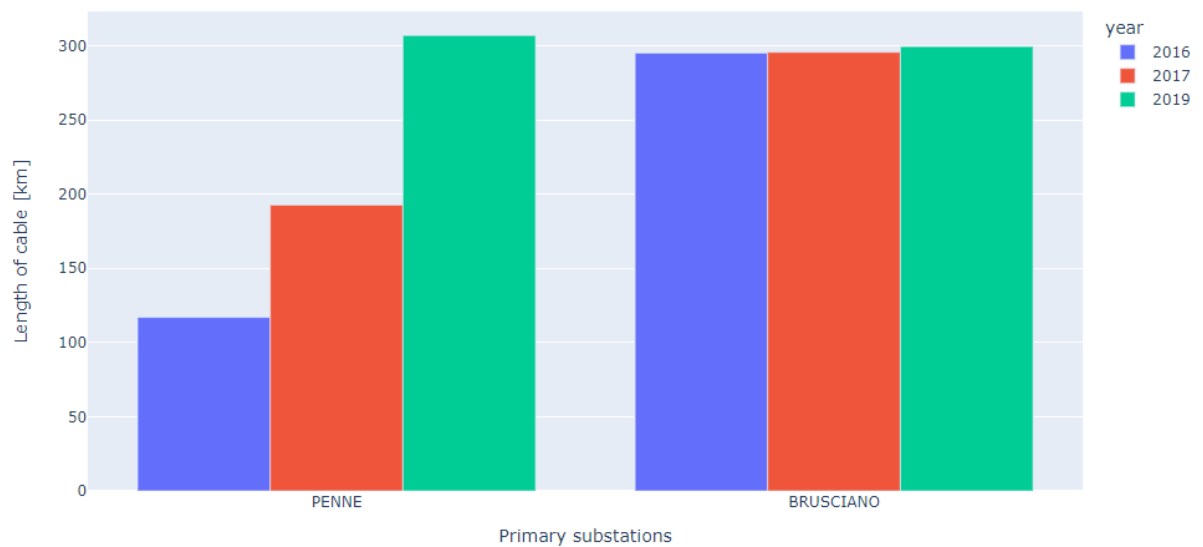


Figura 105. Estensione [km] della rete MT in cavo afferente alle CP in analisi

Flussi energetici delle utenze connesse in BT

- Come già operato nei capitoli precedenti, al fine di una ricostruzione dei flussi energetici con il dettaglio massimo possibile, sono state quindi elaborate le misure correlate con gli utenti afferenti alla rete di distribuzione in Bassa Tensione (BT), con potenza contrattuale superiore ai 55 kW (per i quali si hanno appunto a disposizione le misure quartorarie). Tali utenti, per i due casi in analisi, mostrano un comportamento quasi prevalentemente induttivo, in particolare, al fine di una corretta lettura, si invita a porre attenzione alla scala adottata nella Figura 107.
- Similmente, anche in termini di flussi di potenza attiva, il trend è prevalentemente in assorbimento, con iniezioni di minore entità.
- Per completezza si riporta, e si sottolinea, come il peso dell'energia assorbita dagli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW risulti minoritario rispetto a quello dell'energia assorbita dagli utenti di taglia minore, la distribuzione è del 7.89% per la CP PENNE e del 6.59% per la CP BRUSCIANO.

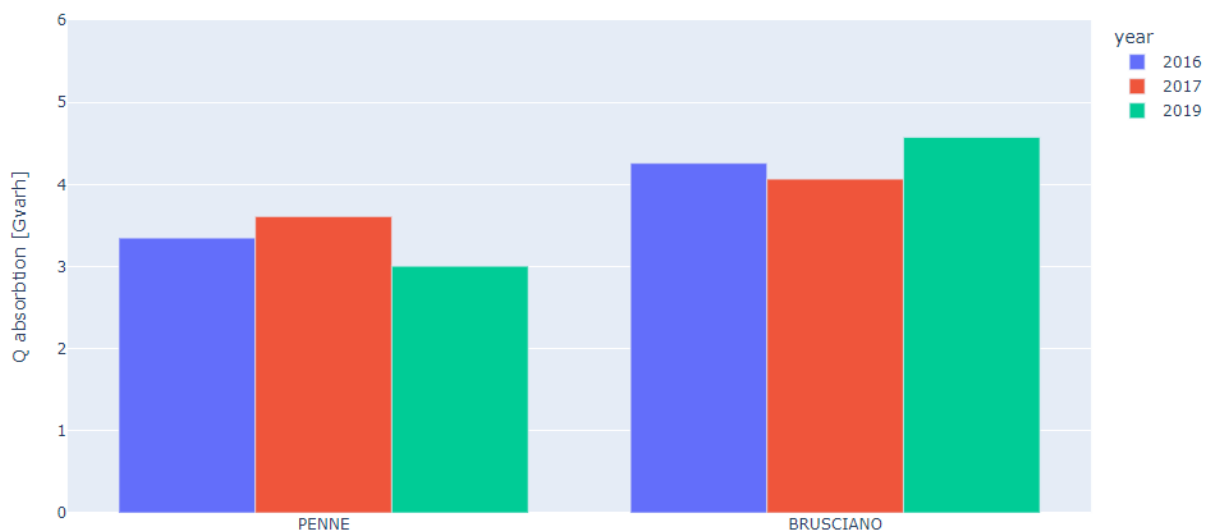


Figura 106. Energia reattiva assorbita (Q1 e Q2), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi

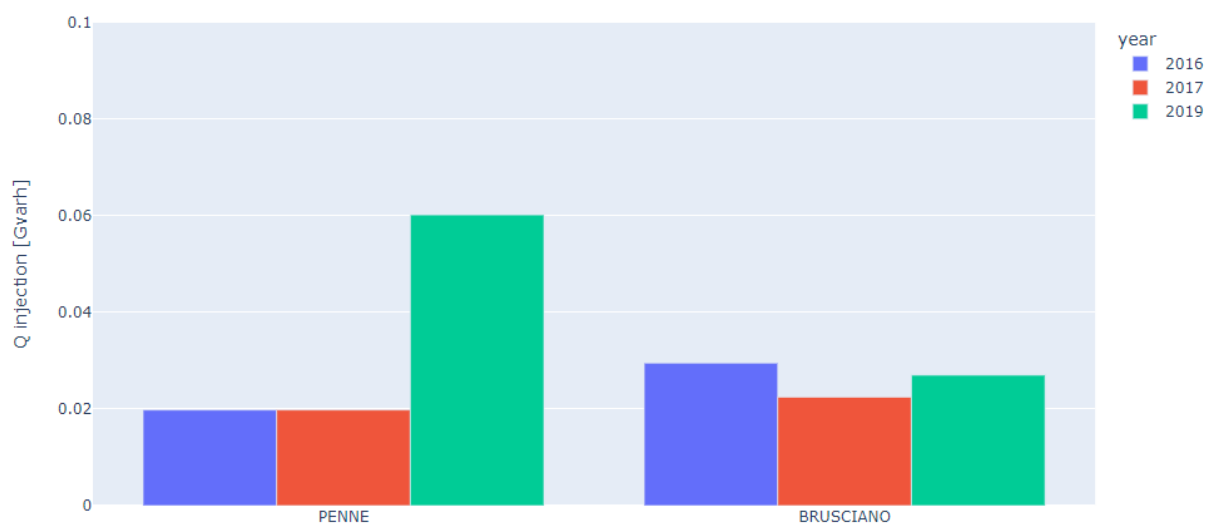


Figura 107. Energia reattiva iniettata (Q3 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi

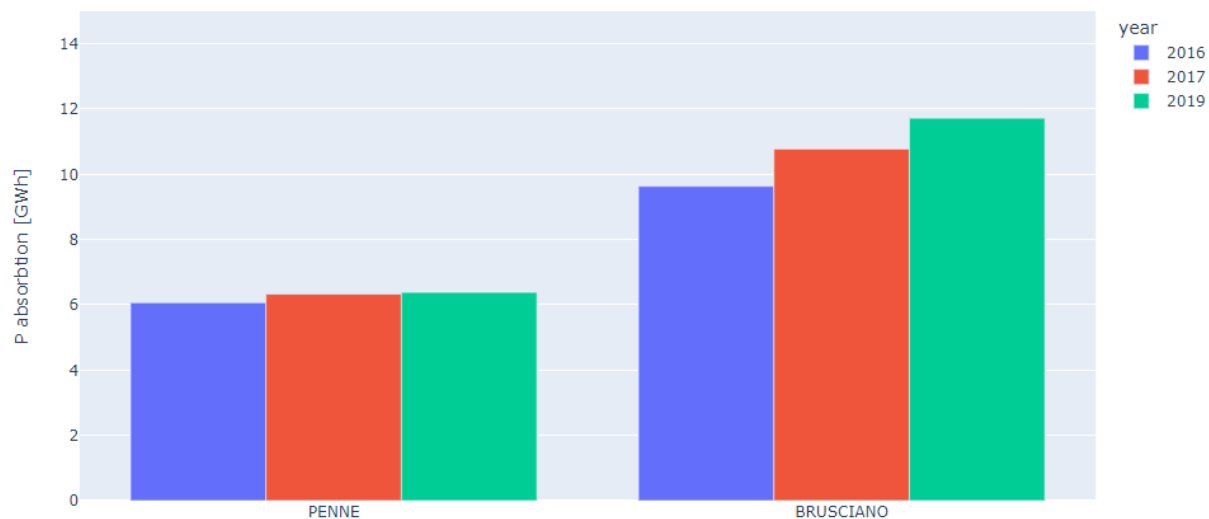


Figura 108. Energia attiva assorbita (Q1 e Q4), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi

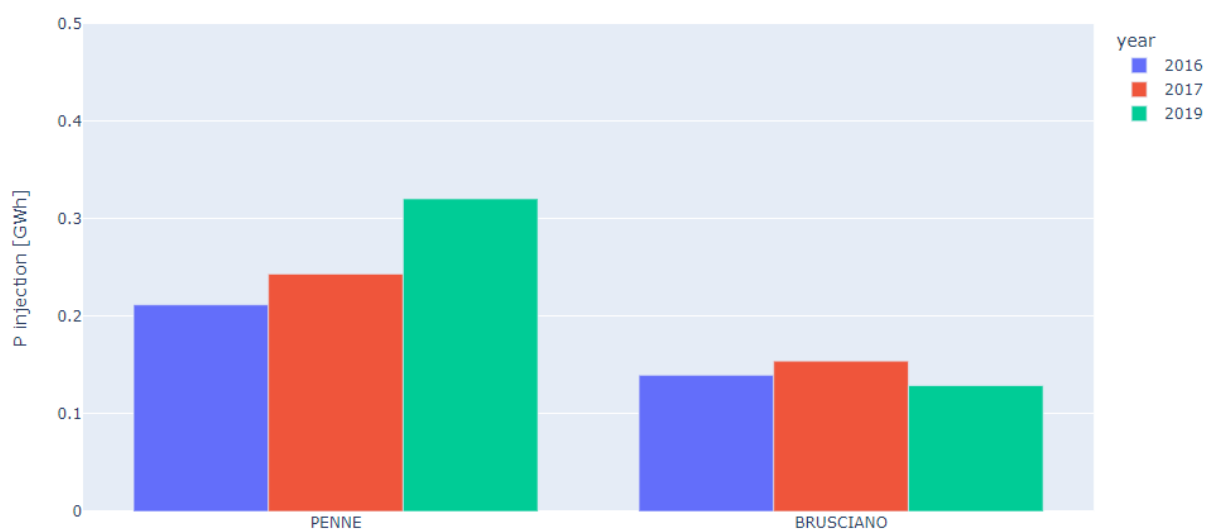


Figura 109. Energia attiva iniettata (Q2 e Q3), annualmente, dagli utenti BT (>55kW) afferenti alle CP in analisi

- Al fine di stimare il comportamento energetico degli utenti BT con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW, si è operato per differenza fra
 - i)* i transiti rilevati in CP,
 - ii)* i transiti relativi agli utenti MT,
 - iii)* i transiti relativi agli utenti BT con potenza contrattuale superiore ai 55 kW,
 - iv)* il contributo capacitivo stimato per le linee in cavo.

Si rimarca ancora una volta come il dato risulta essere una stima approssimativa, trascurandone le perdite di potenza attiva sulle linee e, similmente, trascurando il contributo reattivo dei parametri longitudinali, nonché quello capacitivo delle linee aeree. Si puntualizza inoltre che, sia per le potenze attive che reattive, il contributo dei parametri delle macchine elettriche (cfr. trasformatori) è stato trascurato. Tali fattori, la cui quantificazione non è possibile in ragione dei dati a disposizione, sono ritenuti di entità inferiore a quella degli altri parametri in analisi.

Figura 110. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) nella CP BRUSCIANO (dato misurato - valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)

Con tratto giallo punteggiato è riportata la stima del contributo capacitivo dovuto alle linee MT in cavo (si nota come questo sia sempre superiore allo scambio in CP)

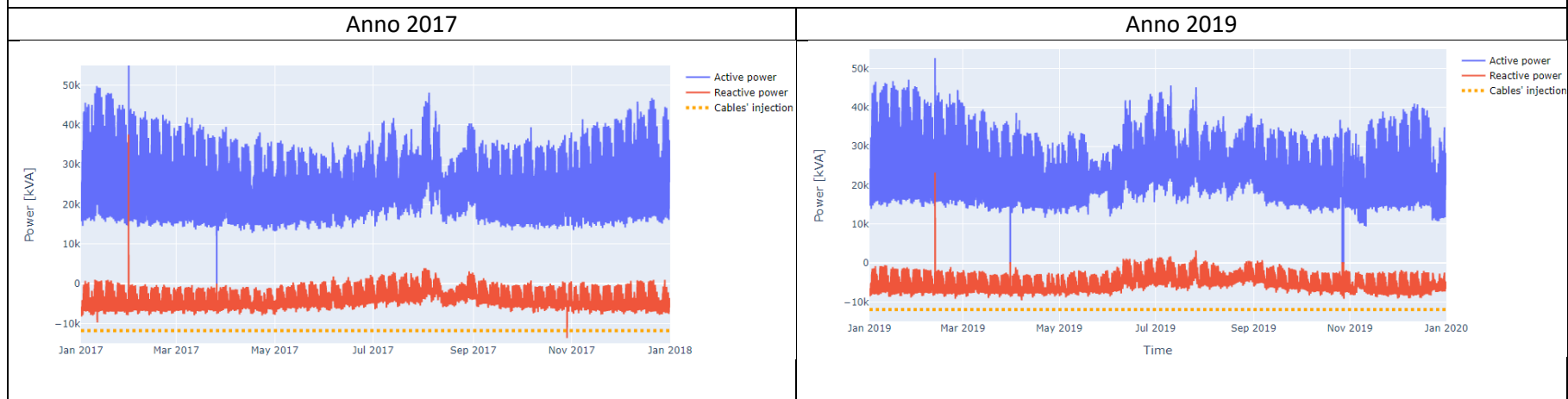
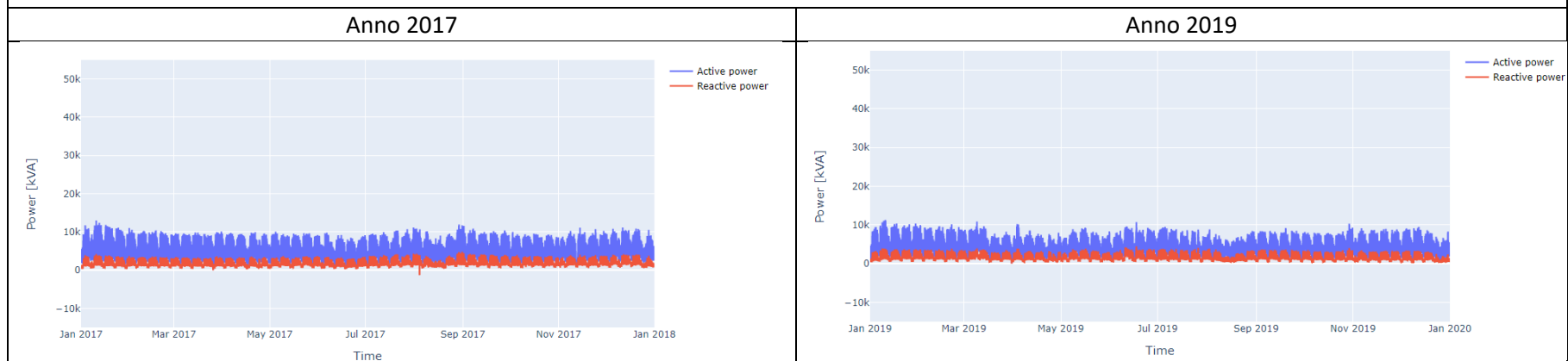


Figura 111. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) degli utenti MT afferenti alla CP BRUSCIANO (dato misurato)



Nella CP BRUSCIANO si conferma la presenza di rilevanti iniezioni capacitive verso le RTN (pari alla quasi totalità degli istanti temporali analizzati), viceversa il comportamento degli utenti MT risulta a carattere induttivo.

Figura 112. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto verde) degli utenti BT (grandi e piccoli) afferenti alla CP BRUSCIANO.

In figura il tratto rosso corrisponde al profilo residuale fra i transiti in CP e gli utenti MT, scorporando poi la stima del contributo reattivo della rete si ricostruisce il profilo in tratto verde (ovvero la differenza fra il profilo rosso e quello verde è la stima del contributo capacitivo della rete).

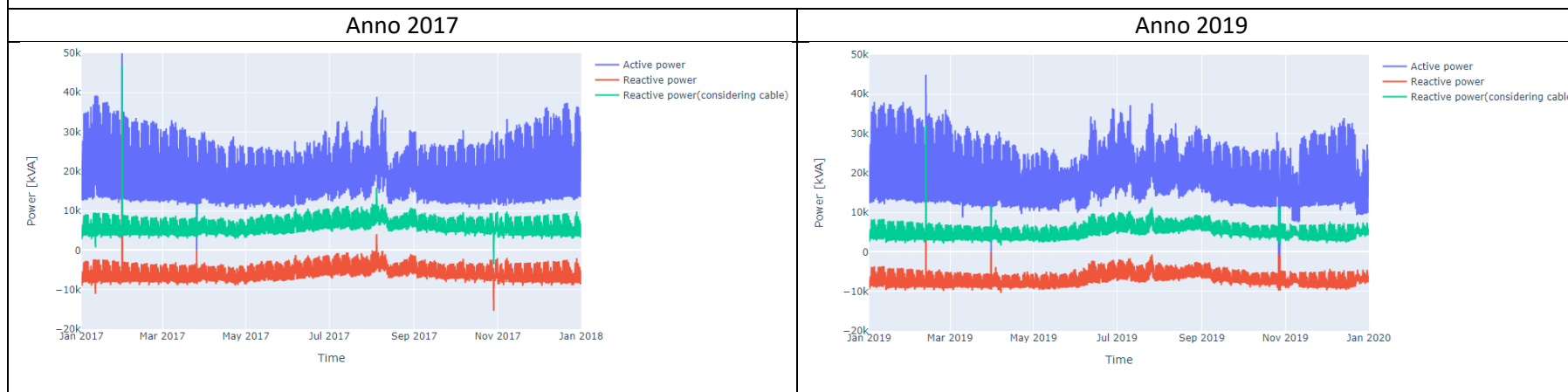


Figura 113. Profilo di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso – poco distinguibile in figura) della CP BRUSCIANO – anno 2019

Con tratto verde si riporta il profilo di potenza reattiva corrispondente ad una regolazione a fattore di potenza 0.95 degli utenti attivi afferenti alla rete MT. La soluzione risulta essere non efficace e, nei fatti, non porta contributi nella fascia F3. Nella figura di destra si riporta un dettaglio.



Ricostruendo il profilo degli utenti BT, ovvero scorporando il contributo capacitivo dovuto alle linee MT in cavo, si ritrova un comportamento induttivo in cui però il fattore di potenza medio cresce di alcuni punti percentuali (come meglio descritto nel seguito).

Figura 114. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) nella CP PENNE (dato misurato - valori positivi di P e Q nel grafico corrispondono al funzionamento nel quadrante Q1)
Con tratto giallo punteggiato è riportata la stima del contributo capacitivo dovuto alle linee MT in cavo (si nota come questo sia sempre superiore allo scambio in CP)

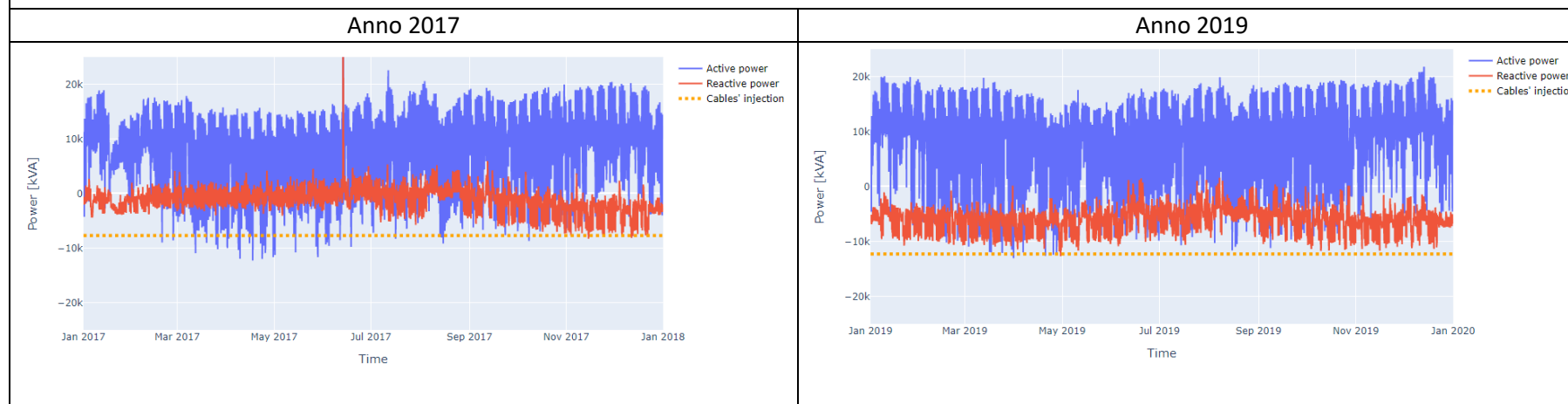
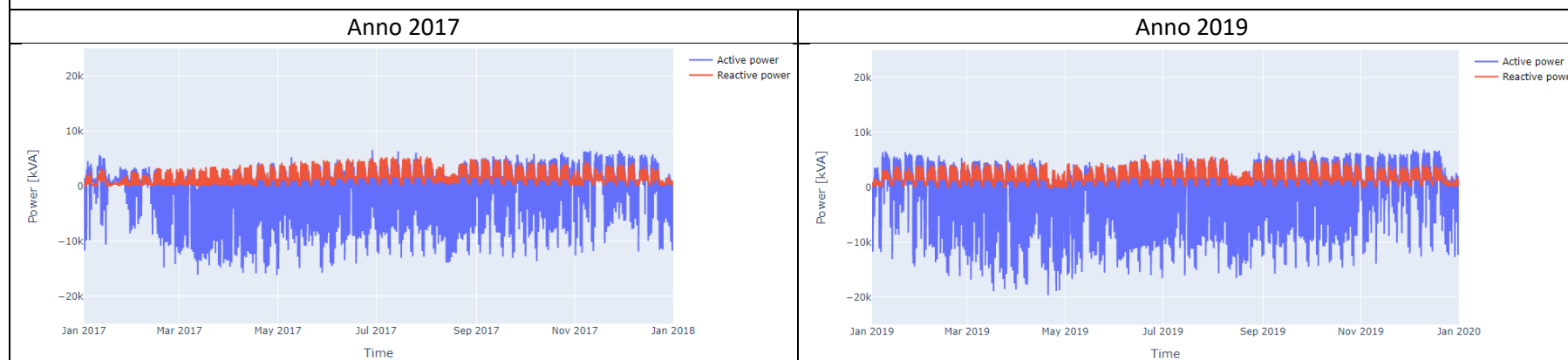
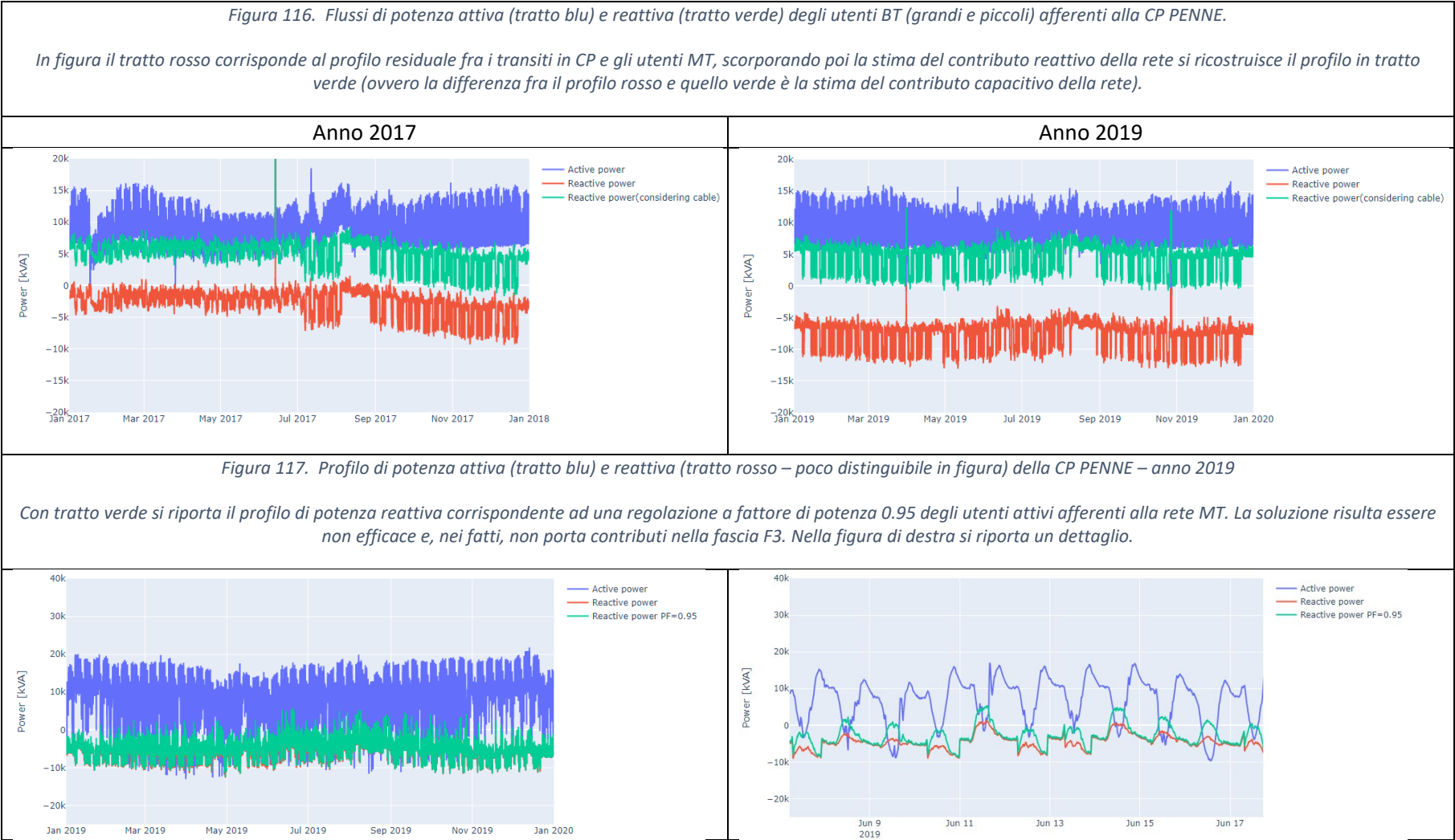


Figura 115. Flussi di potenza attiva (tratto blu) e reattiva (tratto rosso) degli utenti MT afferenti alla CP PENNE (dato misurato)



Nella CP PENNE si identifica una sensibile crescita del comportamento capacitivo passando dall'anno 2017 al 2019, comportamento correlato dall'incremento dell'estensione della rete MT in cavo, ovvero dal contributo capacitivo legato alle linee, come ben evidenziato in Figura 114 (nel grafico di destra, relativo all'anno 2019, si nota un contributo capacitivo delle linee, identificato con la linea punteggiata in giallo, marcatamente più rilevante che nel grafico di sinistra, anno 2017).

In merito alle utenze MT si ritrova un comportamento molto attivo, ad iniettare potenza attiva, viceversa in termini di flussi reattivi questi risultano induttivi e di minore entità.



Ricostruendo il profilo degli utenti BT, ovvero scorporando il contributo capacitivo dovute alle linee MT in cavo, anche in questo caso si ritrova un comportamento induttivo in cui però il fattore di potenza medio cresce fino a valori prossimi all'unità.

- Andando ad approfondire il comportamento delle utenze BT per il set di dati corrispondente alla due CP in analisi, si rileva una distribuzione di valori che, come evidenziato nei capitoli precedenti, presenta un fattore di potenza crescente.
- Tale fenomeno, che comporta una perdita di compensazione reattiva sulla complessiva rete di distribuzione, opera come concausa all'incremento delle iniezioni capacitive verso la RTN.
- È opportuno ricordare come i profili di scambio della rete BT siano ricostruiti, ovvero non misurati, e scontino quindi l'incertezza delle ipotesi di calcolo adottate.

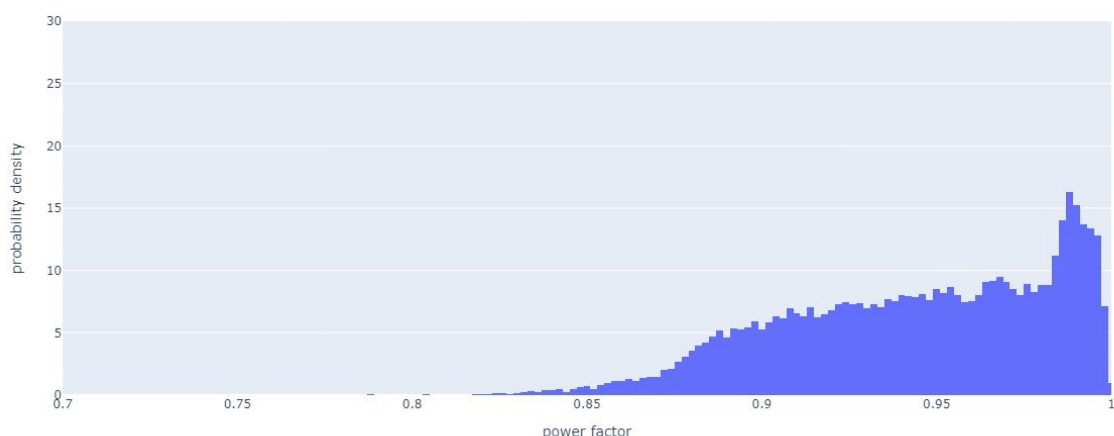


Figura 118. Distribuzione di probabilità del fattore di potenza ricostruito per gli utenti BT di taglia inferiore ai 55 kW per l'anno 2017 – CP PENNE e CP BRUSCIANO

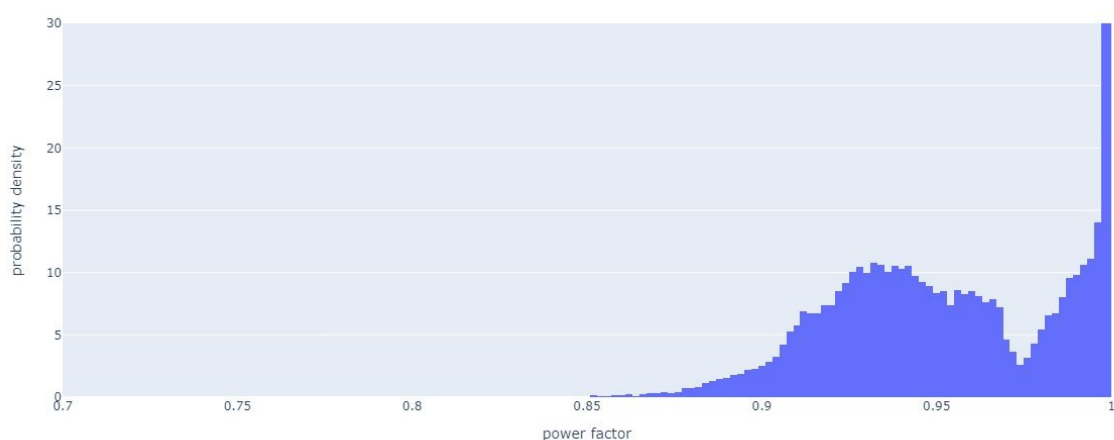


Figura 119. Distribuzione di probabilità del fattore di potenza ricostruito per gli utenti BT di taglia inferiore ai 55 kW per l'anno 2019 – CP PENNE e CP BRUSCIANO

A titolo di sintesi si ritrovano, per queste due ulteriori CP, le evidenze identificate nei set di dati corrispondenti alle CP dell'area di Foggia e dell'area di Napoli, si rimanda ai capitoli precedente per un dettaglio.

Limitatamente alla CP PENNE si somma inoltre un secondo contributo, ben evidenziato in Figura 114, dovuto al contributo capacitivo della rete MT in cavo, la cui lunghezza complessiva è stata considerevolmente incrementata nell'arco del periodo temporale 2017 – 2019.

In merito alla possibilità di compensare parte delle iniezioni reattive tramite opportuno controllo del fattore di potenza delle utenze attive afferenti alla rete MT, come evidenziato nelle precedenti Figura 113 e Figura 117, si è quantificata una ridotta efficacia di tale soluzione.

In particolare, per la CP BRUSCIANO, data la ridotta presenza di utenti attivi e la loro natura prevalentemente fotovoltaica, non si avrebbero miglioramenti percettibili.

Per la CP PENNE, dove invece il numero di utenti attivi è superiore, il controllo porta ad effetti positivi, purtuttavia la rilevante entità delle iniezioni capacitive può essere controllata solo in minima parte tramite la soluzione proposta. Inoltre, anche in questo caso si rileva una ridotta efficacia del controllo entro la fascia F3.

CABINA PRIMARIA	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh]	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] controllando le iniezioni attive a PF 0.95	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] - solo per fascia F3	Iniezioni di energia reattiva in CP [Gvarh] controllando le iniezioni attive a PF 0.95 - solo per fascia F3
BRUSCIANO	42.04	41.61	25.65	25.54
PENNE	53.11	43.15	23	20.95

Figura 120. Iniezioni di potenza reattiva nelle CP in analisi, considerando l'eventuale possibilità di regolare a fattore di potenza 0.95 le iniezioni di potenza attiva.

5. Analisi comparata dei flussi energetici ricostruiti nelle varie aree in analisi

L'analisi riportata nei capitoli precedenti consente il confronto delle evidenze quantitative registrate in aree analizzate, rispetto sia ai carichi che alla generazione sottesa che, infine, alla densità energetica delle utenze, molto differenziate le une dalle altre. L'analisi incrociata dei dati ottenuti risulta quindi di interesse.

Sinteticamente:

- Le CP afferenti all'area di Foggia hanno evidenziato un comportamento globalmente capacitivo: per un numero rilevante di ore/anno la CP va ad iniettare potenza reattiva nella RTN.
- Le CP afferenti all'area di Napoli hanno evidenziato un comportamento globalmente induttivo, ma con una forte contrazione nel tempo di tali assorbimenti.
- Sia per le CP dell'area di Foggia che per quelle dell'area di Napoli non si registrano significativi incrementi nel tempo dell'estensione della rete in cavo.
- Sia per le CP dell'area di Foggia che per quelle dell'area di Napoli, sono state rilevate iniezioni di potenza reattiva da parte di alcune utenze MT; purtroppo, tali iniezioni hanno una minore rilevanza energetica.
- Le iniezioni rilevate possono essere ricondotte ad una errata regolazione delle soluzioni di compensazione reattiva, oppure alla presenza di una rete in MT di una certa lunghezza nella pertinenza delle utenze.
- Per tutte le CP analizzate, si è sviluppata una stima dei flussi energetici relativi alla bassa tensione, congruente con le misure eseguite sulla rete MT. Tale stima ha mostrato un comportamento globalmente induttivo della BT, ma con una contrazione non trascurabile degli assorbimenti.
- La riduzione degli assorbimenti reattivi ha portato ad una mancata compensazione dell'energia reattiva capacitiva dovuta alla rete.
- A verifica della tesi, sono state poi analizzate due CP ulteriori, la prima (CP PENNE) caratterizzata da un rilevante incremento della lunghezza totale delle linee in cavo (intervento correlato all'obiettivo di migliorare la resilienza della rete), la seconda (CP BRUSCIANO) afferente all'area di Napoli, ma, rispetto alle CP già analizzate, con più marcati fenomeni di iniezioni di potenza reattiva.
- Lo studio della CP BRUSCIANO è risultato coerente con quanto rilevato per le altre CP dell'area di Napoli: si conferma come l'incremento delle iniezioni di energia reattiva veda come concausa una variazione del profilo energetico delle utenze BT.
- Lo studio della CP PENNE ha evidenziato, a differenziarsi dalle precedenti CP, una variazione brusca, nel tempo, dei flussi reattivi. Tale variazione, come era lecito aspettarsi, è ben coerente con la ricostruzione della potenza reattiva dovuta alle linee in cavo. Tale CP conferma quindi come gli interventi a favore della resilienza, o in risposta ad esigenze di altra natura, portino ad un incremento dell'estensione della rete MT in cavo; di conseguenza si registra (con legge quasi lineare, date le modalità di esercizio delle linee) un incremento dei flussi reattivi capacitivi.
- Le analisi "data-driven" eseguite in questo studio non hanno consentito, dato il rilevante numero di parametri che influiscono le condizioni di esercizio delle reti analizzate, di identificare correlazioni "chiare" in merito all'influenza che la Generazione Diffusa ha sugli scambi di potenza reattiva. Si ricorda come lo studio si sia esteso su tre anni di riferimento, periodo temporale nel quale le "variazioni" a cui la rete di distribuzione deve rispondere sono numerose: numero di utenti attivi e passivi connessi, topologia della rete, evoluzione del fabbisogno, etc. Al fine di investigare tale fattispecie, ovvero la correlazione fra GD e scambi reattivi, risulterebbe necessario un approccio modellistico basato su uno scenario numerico di riferimento, rispetto al quale dettagliare un'analisi stocastica, investigazione che si suggerisce come approfondimento futuro.

6. Analisi comparata in relazione al DCO 515/2021/R/EEL

A valle dell'analisi dei flussi di potenza reattiva, e della loro evoluzione dall'anno 2016 all'anno 2019, si riportano nel seguito alcune considerazioni sul Documento di Consultazione 515/2021/R/EEL.

Rispetto al set di Cabine Primarie processate si ritrova un trend a crescere delle iniezioni di potenza reattiva nella RTN.

Da un'analisi di dettaglio, al meglio dei dati disponibili, dei profili di prelievo ed immissione degli utenti afferenti ad ogni singola CP sono emerse le evidenze riportate nel seguito:

- alcuni utenti MT presentano immissioni di potenza reattiva, sebbene per quantità minori rispetto alla complessiva potenza reattiva immessa dalla CP nella RTN, soprattutto nella fascia oraria F3: quindi, le immissioni rilevate da parte delle utenze MT non giustificano da sole la problematica. Inoltre, sempre rispetto alle utenze MT, non si ritrova un trend incrementale nel tempo;
- la rete elettrica, con riferimento alla capacità di servizio dei cavi in media tensione, porta ad un significativo contributo di potenza reattiva immessa. Tuttavia, tale contributo è sistemico, e, tranne in alcuni casi particolari (aree oggetto di installazione significativa di cavi per esigenze di continuità del servizio e resilienza della rete), non è evidente un trend a crescere;
- la ricostruzione energetica eseguita ha invece mostrato un trend a crescere in merito al fattore di potenza delle utenze in bassa tensione. Tale trend, ragionevolmente da correlarsi alle utenze in bassa tensione con potenza contrattuale inferiore ai 55 kW, porta ad una considerevole riduzione dell'assorbimento di energia reattiva della rete BT.

Tali evidenze numeriche si configurano quindi in uno scenario in cui le Società di Distribuzione non hanno un ruolo, o una responsabilità diretta, rispetto all'incremento dei flussi reattivi ma, al più, possono essere chiamate a correggere la problematica (fanno eccezione i casi in cui la problematica sia accentuata da un incremento importante nell'estensione delle linee in cavo).

Nello specifico del DCO 515/2021/R/EEL, e con riferimento al paragrafo 3.8,

In relazione al rapporto di Terna, non appare sufficientemente motivata l'affermazione, per quanto di *“estrema sintesi”*, secondo cui *“le aree rispetto alle quali il contributo di reattivo che risale dalla rete MT influisce negativamente sulla regolazione di tensione della rete primaria e impatta negativamente sui costi di sistema sono limitate solo ad alcune grandi aree metropolitane (...), nonché ad alcune specifiche aree del Sud Italia (...)”*. A tale proposito, come si vedrà nel seguito, risultano invece avviati o previsti investimenti per la realizzazione di apparecchiature di rete per il controllo della tensione in almeno 15 regioni italiane (Piemonte, Lombardia, Emilia-Romagna, le regioni del centro-sud e le regioni insulari).⁸

si osserva quanto segue:

- gli interventi pianificati dal TSO sulla RTN non sono da considerarsi meramente indirizzati alla correzione dei flussi reattivi, bensì, più in generale utili a garantire la sicurezza della rete, a contribuire al ripristino di opportuni valori di inerzia meccanica (con riferimento ai compensatori sincroni) ed al sostegno delle correnti di corto circuito;
- con riferimento al paragrafo 3.8, si ribadisce come il rapporto di Terna e gli interventi previsti sulla RTN vadano sì ad evidenziare aree critiche, ma non unicamente in relazione a iniezioni di potenza reattiva dalla rete MT;

- si ritiene quindi necessario identificare quali aree e quali condizioni di esercizio possano risultare critiche *specificamente* in relazione alle iniezioni di potenza reattiva capacitiva dalle reti di Distribuzione verso la RTN, così da individuare efficaci modalità di correzione degli stessi;
- si sottolinea infatti come un approccio limitato alla sola diminuzione dei flussi reattivi iniettati nella RTN non necessariamente conduca ad un'automatica riduzione delle azioni di controllo a cui TERNA è chiamata su MSD; anzi, in talune condizioni di esercizio, tali azioni potrebbero essere maggiormente necessarie;
- in aggiunta, si rilegge una incongruenza (o quanto meno un maggiore costo dal punto di vista del sistema) fra i vincoli di correzione del fattore di potenza delle utenze finali (rifasando tramite reattanze ad un fattore di potenza 0.95), contemporaneamente ad un'eventuale correzione in direzione opposta, da parte delle Società di Distribuzione, in Cabina Primaria;
- si ritiene che gli obiettivi di efficienza in termini di riduzione dei costi, riduzione delle perdite e gestione coordinata della rete elettrica richiedano quindi un approccio più integrato, da identificarsi tramite opportune analisi tecniche fra TSO e DSO, e da estendere ad una più ampia revisione del Contesto Regolatorio in merito ai vincoli sui fattori di potenza per gli utenti finali;
- tale approccio potrebbe concretizzarsi nella identificazione di aree e/o nodi potenzialmente critici ai fini della compensazione delle potenze reattive, rispetto ai quali identificare soluzioni di compensazione da parte delle Società di Distribuzione, evitando così costi non giustificati al Sistema Paese dovuti all'installazione di soluzioni di compensazione dove queste non fossero necessarie e/o efficaci (a riconferma di quanto precisato, si esemplifica il caso dell'area di Napoli, identificata come critica nel tavolo tecnico congiunto fra Terna ed e-Distribuzione sulla base dei profili storici di tensione sulla rete AT, ma caratterizzata da modeste iniezioni di potenza reattiva, a riprova che il *quantum* reattivo non debba necessariamente essere preso come riferimento unico della criticità);
- altresì, si rimarca come una compensazione "a prescindere" della potenza reattiva potrebbe portare, in talune aree ed in talune condizioni di esercizio, ad un aggravio delle risorse (e quindi potenzialmente dei costi) che Terna dovrebbe attivare per garantire l'esercizio in sicurezza della rete;
- si ritiene che un approccio differenziato e ragionato corrisponda ai criteri di progressiva attuazione della riforma, prospettata nello stesso DCO 515/2021/R/EEL: si propone quindi l'identificazione, nel breve termine, delle principali criticità sulla RTN, l'intervento mirato in tali ambiti, per poi in un secondo tempo e anche alla luce dei risultati ottenuti (complessità implementative, efficacia delle azioni correttive implementate, effettiva risoluzione delle problematiche di regolazione della tensione e conseguente riduzione dei costi su MSD), allargare il perimetro a livello nazionale,
- quanto proposto dovrà ovviamente trovare una opportuna configurazione regolatoria, utile a garantire equilibrio ed equità, preservando però l'efficacia tecnica ed economica della soluzione.

In merito alla eventuale quantificazione economica delle iniezioni di potenza reattiva capacitiva, nell'ipotesi di identificare delle penalità in capo ai DSO (fattispecie che si rimarca essere non generalmente dimostrata, in termini di responsabilità diretta dei DSO):

- si concorda sull'opportunità di riferirsi ad eventuali costi di apparecchiature di compensazione e non ai costi registrati su MSD per l'acquisto di risorse di regolazione. I secondi risentono infatti di una pluralità di fattori e, in aggiunta, non possono essere univocamente ricondotti alla semplice compensazione di potenza reattiva, quanto piuttosto ad altre esigenze di esercizio del sistema;
- viceversa, non si concorda sull'utilizzo dei costi capitale (e/o di esercizio) di Compensatori Sincroni come elemento di riferimento per la quantificazione economica. Come prima richiamato, i Compensatori Sincroni non sono infatti indirizzati alla mera compensazione di energia reattiva quanto piuttosto a fornire un più ampio set di servizi (incremento dell'inerzia meccanica, sostegno delle correnti di guasto);

- si propone quindi di adottare come riferimento economico il costo di una soluzione equivalente per efficacia a quella che i DSO sono chiamati ad adottare, ovvero l'installazione di banchi di reattori sulla RTN da parte del TSO.

In merito all'utilizzo di eventuali azioni di compensazione della potenza reattiva da parte degli utenti attivi connessi alla rete, si evidenzia come tale soluzione possa essere efficace solo per un sottoinsieme di casistiche in ragione di:

- potenziali criticità che potrebbero emergere sulla rete di distribuzione,
- potenziali inefficienze a livello di incremento delle perdite di potenza attiva sulla rete di distribuzione,
- scarsa efficacia della soluzione per iniezioni verso la RTN nella fascia oraria F3, in ragione della indisponibilità (in base alla normativa ad oggi in vigore) alla regolazione di tutte le risorse fotovoltaiche.

Rispetto a quest'ultimo punto si evidenzia come, seppur teoricamente possibile, non si ritiene praticabile nell'immediato la possibilità di richiedere delle iniezioni (induttive) ai generatori statici durante la notte, se appunto questi non presentano in tali ore anche delle iniezioni di potenza attiva (come è il caso degli impianti fotovoltaici). Tale fattispecie è regolata nella normativa CEI 016 con la seguente precisazione *"Per bassi valori della potenza attiva generata ($P \leq 10\% \cdot S_n$) sono consentiti scostamenti nella fornitura della potenza reattiva misurata sul limite della curva di capability in corrispondenza di un prefissato valore di P , fino ad un massimo del 10% di S_n ."* Paragrafo 8.8.5.3 f - 8.8.5.3 e. E' inoltre da verificare l'impatto di una tale regolazione sulle perdite attive delle linee MT e sui profili di tensione, ovvero la regolazione potrebbe non essere implementabile in modo generalizzato ma dovrebbe essere validata di caso in caso.

Si ritiene quindi necessario approfondire la fattibilità tecnica della regolazione dei flussi reattivi da parte di utenti attivi nelle ore in cui questi abbiano scambio nullo con la rete. Parimenti si ritiene necessario chiarire le eventuali modalità di riconoscimento a tali utenti dei costi sostenuti per l'erogazione del servizio (e.g. incremento delle perdite, costi per adeguamento impianto, etc.).

Infine, in merito al tema della compensazione dei flussi reattivi, si richiede un chiarimento in merito alle finalità di utilizzo di apparati STATCOM che, per loro natura, hanno caratteristiche e finalità differenti. Chiaramente tali apparati sono "anche" in grado di governare flussi di potenza reattiva, ma la loro classificazione come semplici apparati di compensazione appare riduttiva e fuorviante. Eventualmente, si richiede quindi di classificare l'intero set di servizi che i vari apparati, dell'uno e dell'altro tipo, saranno chiamati a gestire, così da meglio correlare fra di loro le esigenze, le possibili soluzioni per quel servizio specifico, i costi (eventualmente ripartendo i costi di una soluzione avanzata sul set di servizi erogati), l'efficacia della soluzione.

Al fine di una correzione dell'eventuale comportamento capacitivo della rete di distribuzione, come precedentemente motivato, si ritiene che la soluzione di riferimento debba essere quella più efficace rispetto al rapporto fra prestazioni e costi, ovvero l'installazione di banchi di reattanze, quanto più possibile elettricamente vicino alle utenze finali connesse alla rete in analisi.

Da ultimo, si rimarca come l'eventuale analisi dell'impatto della generazione diffusa sul bilancio delle potenze reattive della rete di distribuzione richieda un approfondimento modellistico (andando quindi a modellare le diverse reti elettriche, in presenza, o meno, dei contributi della GD) efficace nell'isolare il contributo specifico di tale fattore, ovvero rispetto all'approccio *data driven* adottato nella presente analisi, non si sono rilevate correlazioni sufficientemente nette da poter validare una tesi quali-quantitativa.

