Tesi di Laurea Magistrale in
Ingegneria Energetica e Nucleare
LM-30

# Sottostazioni bidirezionali per il Teleriscaldamento

Davide Mancini

Relatore
Prof. Vittorio Verda
Correlatrice
Prof.ssa Elisa Guelpa

Politecnico di Torino

2023

# Sommario

Abstract ..... 4
1.Introduzione..... 5
1.1 Schemi di integrazione lato circuito primario ..... 6
1.1.1 Schema 1: Prelievo nel Ritorno con Immissione in Mandata (P.R.I.M.) .... 6
1.1.2 Schema 2: Prelievo nel Ritorno con Immissione nel Ritorno (P.R.I.R.) ..... 7
1.1.3 Schema 3: Prelievo in Mandata con Immissione in Mandata (P.M.I.M)..... 8
1.2 Schemi di integrazione lato circuito secondario ..... 9
1.2.1 Schema A: Assetto Consumer ..... 10
1.2.2 Schema B: Assetto Stand-alone ..... 11
1.2.3 Schema C: Assetto Producer ..... 11
1.2.4 Schema D: Assetto Prosumer con carico all'utenza con sonda di temperatura ..... 12
1.2.5 Schema E: Assetto Prosumer con alimentazione dell'utenza tramite divisione di portata ..... 13
2.Definizione degli schemi impiantistici ..... 14
2.1 Controllo impianto P.R.I.M. ..... 14
2.1.1. Controllo modalità Stand-alone ..... 16
2.1.2. Controllo modalità Producer ..... 16
2.1.3. Controllo modalità prosumer con differenza di temperatura. ..... 17
2.1.4. Controllo modalità prosumer con portata parzializzata. ..... 18
2.2 Controllo impianto P.R.I.R ..... 19
2.3 Controllo impianto P.M.I.M ..... 19
3. Connessione SST-B con una rete a 120°C ..... 22
3.1. Modello di calcolo adottato ..... 23
3.2. SST-B preriscaldo ..... 24
3.4. SST-B Immissione ad intermittenza ..... 26
3.4.1. Immissione intermittenza senza accumulo ..... 26
3.4.2. Immissione intermittenza con accumulo ..... 27
3.5. Risultati SST-B con rete a 120°C ..... 30
3.5.1 Interazione tra rete e SST-B con preriscaldo ..... 31

3.5.2 Interazione tra rete e SST-B con immissione ad intermittenza ..... 31
3.5.3 Descrizione SST-R di supporto per bilanciamento rete..... 32
4. Introduzione all'analisi con reti a 90°C ..... 35
4.2 Analisi installazione pannelli fotovoltaici ..... 35
4.2.1 Modello di calcolo per la produzione di energia elettrica ..... 35
4.3 Studio di nuovi scenari su reti a 90° ..... 37
4.3.1 Manipolazione dei dati di monitoraggio delle Sottostazioni ..... 38
4.4. Descrizione degli schemi di impianto scelti ..... 41
4.4.1 Descrizione pompa di calore scelta ..... 41
4.4.2 Layout PMIM ..... 42
4.4.3 Layout PRIM ..... 42
4.4.4 Differenza tra i due layout scelti ..... 43
5.Analisi di Sensitività ..... 47
5.1 Analisi scenario PRIM ..... 47
5.2 Analisi scenario PMIM ..... 51
5.3 Risultati ..... 53
5.3.1 Risultati PMIM ..... 53
5.3.2 Risultati PRIM ..... 55
5.3.3 Confronto tra i due impianti ..... 57
6. Simulazione funzionamento giornaliero ..... 58
6.1 Segnali di input ..... 58
6.2 Simulazione PRIM ..... 59
6.2.1 Definizione segnale fasi ACC ..... 59
6.2.3 Definizione segnale potenza PdC ..... 62
6.2.4 Logica dell'impianto PRIM ..... 64
6.2.2 Risultati simulazione PRIM ..... 65
6.3 Simulazione PMIM ..... 67
6.3.1 Costruzione modello PMIM ..... 67
6.3.2 Calibrazione della PHI_imm ..... 68
6.3.3 Risultati simulazione PMIM ..... 70
Risultati ..... 73
Indice delle figure ..... 75
Riferimenti ..... 77

# Abstract

*Il seguente studio si basa su una prima analisi delle modalità di immissione e prelievo di energia termica della sottostazione bidirezionale (*SST-B*), inizialmente rispetto alla rete di teleriscaldamento presente sul comune di Torino e successivamente su una rete a più bassa temperatura di mandata. Si è passati alla definizione delle modalità di alimentazione dell'utenza a partire da una generazione localizza generica. Tramite questo studio preliminare è stato possibile progettare differenti layout della sottostazione, e analizzare i possibili sistemi di controllo annessi al funzionamento della stessa, al fine di verificare una fattibilità di contabilizzazione dei flussi bidirezionali esistenti tra scambiatore e rete. Verificato il funzionamento della contabilizzazione e della controllistica, si è passati alla definizione della tipologia di generazione localizzata. Partendo da uno studio delle finestre di prelievo e immissione in rete, vengono dimensionate le taglie della generazione localizzata scelta per i layout d'impianto in esame, al fine di ottenere un adeguato prosumer ratio (rapporto tra energia immessa e prelevata dalla rete). Infine, tramite una simulazione con il tool simulink, è stato possibile mettere in evidenza vantaggi e svantaggi nella gestione del picco di richiesta termica. In questo modo è stato possibile trovare la soluzione impiantistica ottima per quantità di energia prodotta e riduzione del massimo carico termico d'utenza.*

# 1.Introduzione

Il teleriscaldamento rappresenta una soluzione efficiente e sostenibile per il riscaldamento urbano. Il suo funzionamento consiste in una rete di condotti che trasportano acqua calda dai centri di produzione verso edifici, case e aziende, al fine di alimentare i sistemi di riscaldamento. Uno dei diversi vantaggi che rendono tale sistema efficiente è la capacità di utilizzare centrali cogenerative e sfruttare il calore di scarto di centrali elettriche tradizionali.
Centralizzando la produzione di calore, si riesce ad eliminare la diffusione di caldaie domestiche. Quest'ultime, presenti in ogni singolo edificio, richiedono manutenzione costante, occupano spazio e comportano rischi. Inoltre, esse hanno rendimenti termici non paragonabili alle grandi centrali. Eliminando la diffusione di tali bruciatori, non solo viene ridotto il carico di manutenzione per i residenti, il rischio di incidenti legati all'uso degli stessi, ma soprattutto vengono ridotte le emissioni di polveri sottili e composti incombusti nei centri abitati, migliorando notevolmente la qualità dell'aria.
Attraverso l'evoluzione tecnologica, si sono sviluppati diversi sistemi domestici di riscaldamento, efficienti ed a basso impatto ambientale, come pompe di calore a bassa temperatura, impianti con terminali radianti, stoccaggi elettrici e termici. Tali soluzioni impiantistiche però trovano largo spazio soprattutto fuori dai centri urbani, dove si hanno basse densità abitative e ampi spazi per l'implementazione di impianti fotovoltaici o di impianti come il solare termico. In altre parole, la richiesta termica al $m^2$, in zone non urbane, permette un ottimo utilizzo di tali tecnologie, che prendono piede a discapito degli impianti domestici tradizionali.
Stesso discorso, però, non può essere riproposto per i centri urbani, dove le sole [1]RES faticano a prendere piede, per via dei ridotti spazi a disposizione e dei grossi carichi termici dei vari edifici, sempre più densamente popolati.
Di conseguenza, l'idea di implementare fonti di energia rinnovabile lungo la rete del teleriscaldamento offre notevoli vantaggi. Uno su tutti è quello di ridurre il fabbisogno termico delle utenze, in modo che a parità di potenza termica immessa in rete, si ha la possibilità di coprire più suolo cittadino. Inoltre, incorporare queste fonti sostenibili nel teleriscaldamento contribuisce a diversificare le fonti energetiche, riducendo la dipendenza da combustibili fossili, migliorando la sicurezza energetica.
Nell'articolo [1] "*Experimental characterization of a prototype of bidirectional substation for district heating with thermal prosumers*", viene proposta un'analisi di un prototipo di sottostazione bidirezionale annessa ad una rete di teleriscaldamento. A partire da tale articolo e
a seguito di uno studio approfondito delle sottostazioni tradizionali presenti nel comune di Torino, nasce l'idea di analizzare un'integrazione di impianti rinnovabili

[1] *Renewable Energy Sources*

localizzati, focalizzando il tutto su un flusso bidirezionale di calore, scambiato tra il [2]TLR e l'utenza (tramite l'utilizzo della [3]SST-B).

## 1.1 Schemi di integrazione lato circuito primario

Inizialmente, sono state ricercate le varie modalità di prelievo ed immissione del fluido termovettore, tra rete e sottostazione, affinché l'utenza ceda calore al teleriscaldamento (utenza in assetto: "producer"). Prendendo in considerazione, le combinazioni possibili, descritte nell'articolo [2] "*Influence of the Prosumer Allocation and Heat Production on a District Heating Network*" (figura n.1), vengono definite le seguenti modalità:

- P.R.I.M: *Prelievo nel Ritorno con Immissione in Mandata*
- P.R.I.R: *Prelievo nel Ritorno con Immissione nel Ritorno*
- P.M.I.M: *prelievo in Mandata con Immissione in Mandata*

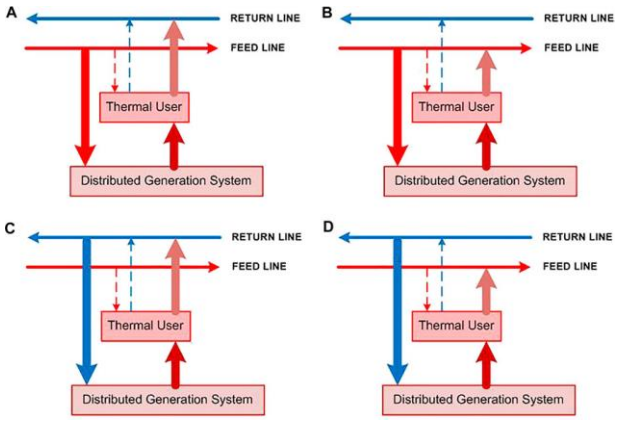


*Figura 1: Possibili scambi di flusso tra rete e generazione localizzata*

### 1.1.1 Schema 1: Prelievo nel Ritorno con Immissione in Mandata (P.R.I.M.)

La casistica in considerazione prevede, come modalità di immissione in rete, un prelievo lungo la linea di ritorno, in modo da poter cedere calore al fluido termovettore e reimmettere quest'ultimo lungo la linea di mandata del teleriscaldamento. Come si può notare, dallo schema in figura n.2, si hanno 4 condotti di collegamento tra scambiatore e rete, in particolare due di essi sono utilizzati in assetto tradizionale (utenza in assetto: "consumer*")*, mentre i restanti vengono utilizzati in assetto producer. I componenti impiegati in tale configurazione sono:

- *Valvole di intercettazione*: al fine di isolare o meno le linee di interesse.
- *Valvola di non ritorno*: in modo da evitare flussi inversi che porterebbero ad un danneggiamento della pompa.

[2] Teleriscaldamento
[3] Sottostazione bidirezionale per il teleriscaldamento

- *Pompa di circolazione a giri variabili:* utilizzata per permettere di prelevare una portata fredda a minor pressione e immettere la stessa nella mandata che si trova ad una pressione superiore del ritorno.
- *Scambiatore di calore controcorrente:* permette lo scambio termico bidirezionale tra rete ed utenza.

Le valvole di intercettazione V1 e V2, nel momento in cui la SST si trova a lavorare in assetto consumer, rimangono aperte, mentre V3 e V4 rimangono chiuse. Quando, invece, la SST-B si trova nelle condizioni di poter cedere calore alla rete, V1 e V2 vengono chiuse, mentre V3, V4 aperte. In questo modo, si soddisfa il vincolo della direzione del fluido termovettore all'interno dello scambiatore. Quest'ultimo affinché riesca ad essere investito da flussi termici bidirezionali, non deve invertire la direzione dell'acqua prelevata in rete. In caso contrario, il flusso nello scambiatore passerebbe da una configurazione in controcorrente, ad uno in equi-corrente, diminuendo così, a parità di superficie di scambio, la potenza termica in gioco.

| | |
|---|---|
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* |
| | *Valvola di ritegno* |
| | *Pompa* |
| | *Condotto di mandata assetto consumer* |
| | *Condotto di ritorno assetto consumer* |
| | *Condotto di mandata assetto prosumer* |
| | *Condotto di ritorno assetto prosumer* |
| | *Scambiatore di calore controcorrente* |

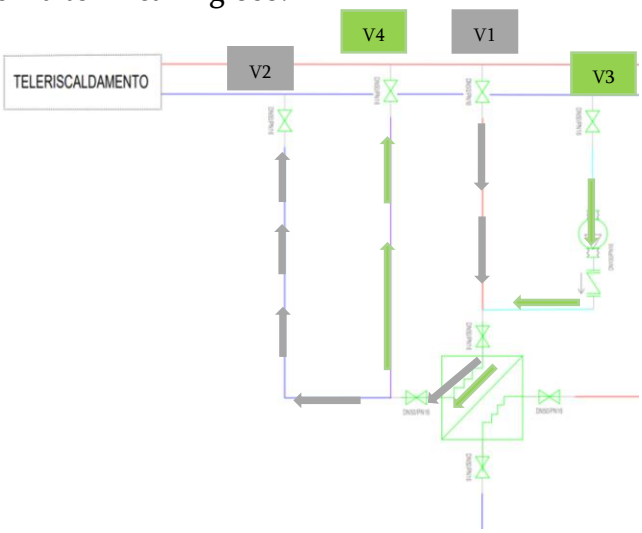


*Figura 2:Configurazione primario P.R.I.M.*

## 1.1.2 Schema 2: Prelievo nel Ritorno con Immissione nel Ritorno (P.R.I.R.)

In questo caso, si ha un prelievo di acqua nel ritorno del teleriscaldamento, e dopo essere stata riscaldata, quest'ultima viene immessa di nuovo nel ritorno. A differenza del caso analizzato nel paragrafo 1.1, su questa porzione di impianto si ha un condotto in meno, poiché il ramo afferente alla valvola V2, viene utilizzato sia in assetto tradizionale sia in assetto prosumer. In particolare, come si può notare in figura n.3, si ha una valvola V3 che rimane chiusa quando la SST-B cede calore all'utenza (V1, V2 rimangono aperte). Quando invece la SST cede calore alla rete viene chiusa la valvola V1 e viene aperta la valvola V3. La valvola V2 rimane aperta in entrambe gli assetti.

| | |
|---|---|
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* |
| | *Valvola di ritegno* |
| | *Pompa* |
| | *Condotto di mandata assetto consumer* |
| | *Condotto di ritorno assetto consumer* |
| | *Condotto di mandata assetto prosumer* |
| | *Condotto di ritorno assetto prosumer* |
| | *Scambiatore di calore controcorrente* |

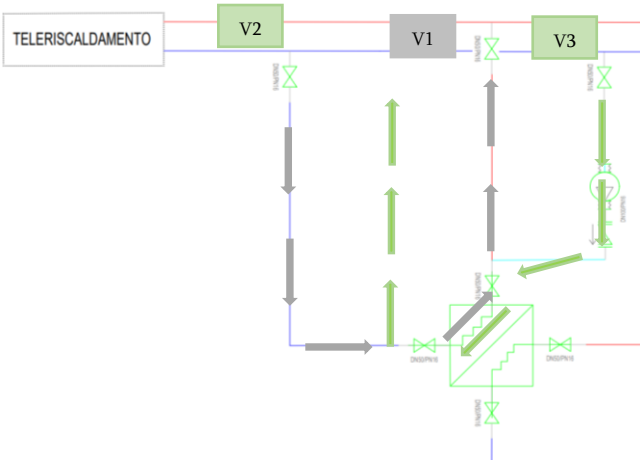


*Figura 3: Configurazione primario P.R.I.R.*

### 1.1.3 Schema 3: Prelievo in Mandata con Immissione in Mandata (P.M.I.M)

In questo tipo di configurazione, il fluido termovettore viene prelevato dalla mandata della rete, riscaldato e successivamente immesso di nuovo nel ritorno. I componenti impiegati rimangono gli stessi delle altre configurazioni. Rispetto al caso illustrato nel paragrafo 1.1, si hanno tre condotti. In particolare, quando si la SST-B ha la necessità di lavorare in assetto consumer si ha la chiusura della valvola V4, e l'apertura delle valvole V1 e V2. In assetto prosumer, invece, si ha la commutazione delle valvole in questione.

| | |
|---|---|
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* |
| | *Valvola di ritegno* |
| | *Pompa* |
| | *Condotto di mandata assetto consumer* |
| | *Condotto di ritorno assetto consumer* |
| | *Condotto di mandata assetto prosumer* |
| | *Condotto di ritorno assetto prosumer* |
| | *Scambiatore di calore controcorrente* |

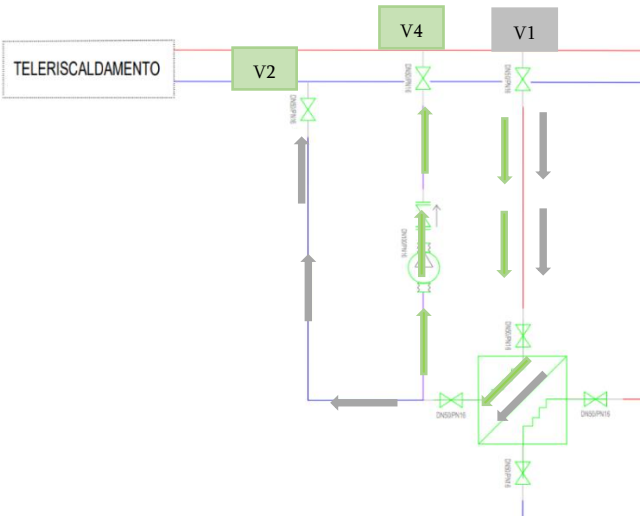


*Figura 4: Configurazione primario P.M.I.M.*

# 1.2 Schemi di integrazione lato circuito secondario

Prima di analizzare le varie casistiche di un possibile comportamento del secondario, bisogna effettuare delle precisazioni. Poiché in questa prima fase, viene effettuata un'analisi del tutto qualitativa, si è ipotizzata una generazione localizzata generica all'utenza, in modo da verificare se vi fosse la reale possibilità di effettuare un'immissione in rete in varie condizioni. Nei capitoli successivi, viene descritta e specificata la tipologia di generazione termica utilizzata. Per verificare invece le possibili interazioni tra utenza, generazione localizzata e rete, viene analizzato un profilo di carico tipologico di una sottostazione tradizionale. Come è possibile vedere in figura n.5, la richiesta energetica del singolo edificio vede nella maggior parte dei casi, un'accensione della [4]SST nelle prime ore del mattino (con un relativo picco), e poi dei periodi di stop durante la giornata. In virtù delle caratteristiche della curva di potenza in analisi, le tipologie di interazioni tra utenza, generazione localizzata e rete sono le seguenti:

- Assetto Consumer
- Alimentazione utenza in isola
- Assetto Prosumer con alimentazione dell'utenza
- Assetto Prosumer

Nei sottoparagrafi verranno elencate le peculiarità di ogni singolo assetto.

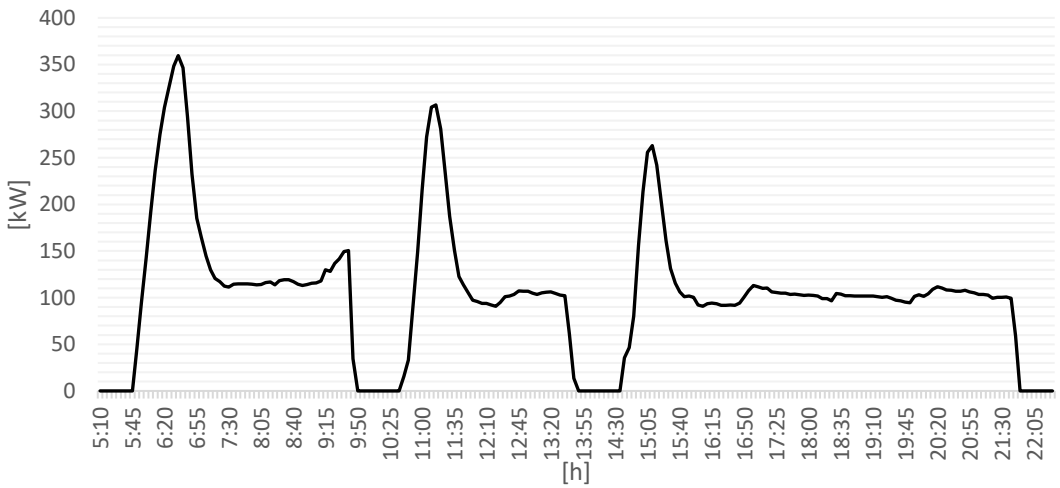


*Figura 5:Profilo di carico utenza*

[4] Sottostazione del teleriscaldamento tradizionale, attualmente in uso lungo la rete del teleriscaldamento

*Tabella 1: Leggenda schemi secondario*

| | |
|---|---|
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* |
| | *Valvola di ritegno* |
| | *Pompa* |
| | *Sonda ti temperatura* |
| | *Fluido termovettore caldo* |
| | *Fluido termovettore freddo* |
| | *Scambiatore di calore controcorrente* |

## 1.2.1 Schema A: Assetto Consumer

Il layout del secondario d'impianto in questione risulta avere la configurazione visualizzabile in figura n.6. In particolare, vi è la compresenza di tre bypass regolati da altrettante valvole di intercettazione motorizzate, le quali comandano l'apertura e la chiusura dei bypass stessi. Inoltre, vi è la presenza di una pompa (PMP3), la quale permette la circolazione del fluido termovettore. Il funzionamento in assetto consumer, indispensabile per poter permettere all'utenza di ricevere calore anche quando la quota rinnovabile di energia termica non è disponibile, è mostrato in figura n.6. Nello specifico si ha l'apertura delle valvole $V_{sec}$ e $V_{bp2}$, e la chiusura delle valvole $V_{bp1}$ e $V_{iso}$, in modo tale da far defluire l'acqua fredda all'interno dello scambiatore di calore, il quale cede al fluido il calore fornito dalla rete. La scelta legata a questa configurazione risiede nel fatto che un eventuale integrazione di una RES, non permette la totale indipendenza dalla rete, la quale è preponderante durante il funzionamento della SST-B.

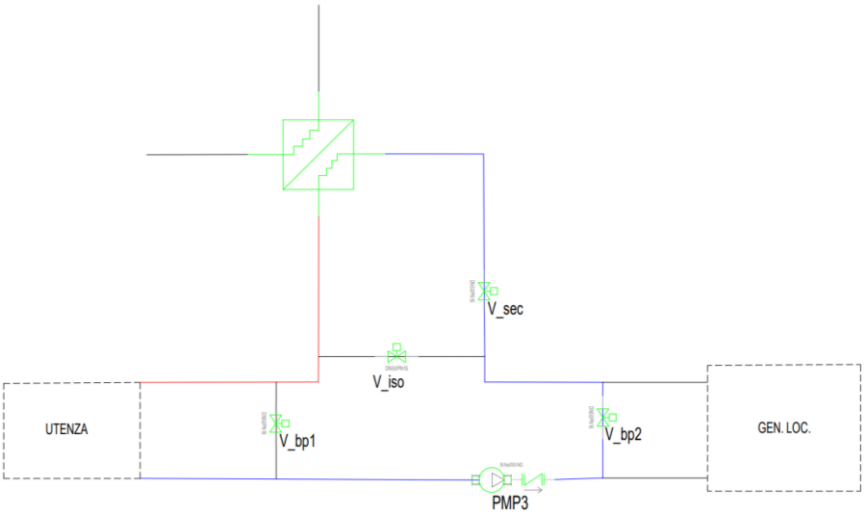


*Figura 6:Configurazione secondario con assetto tradizionale*

### 1.2.2 Schema B: Assetto Stand-alone

Nello specifico, si è deciso in via preliminare, di poter utilizzare la generazione localizzata come singola fornitura di calore all'utenza. Questa scelta è di natura puramente manutentiva, ovvero, attraverso questa modalità di funzionamento del secondario, vi è la possibilità di effettuare le varie azioni di manutenzione alla SST-B, senza lasciar scoperta l'utenza. È una scelta che porta ad un grado di flessibilità maggiore dell'impianto, ma che vede un'applicazione poco frequente durante l'operatività della SST-B. Nello specifico, le valvole motorizzate $V_{bp1}$ e $V_{bp2}$ vengono chiuse, mentre $V_{iso}$ viene aperta, con una determinata sezione di passaggio, in modo da poter regolare la portata da far defluire all'utenza. La $V_{sec}$, invece, viene chiusa al fine di non fare raggiungere all'acqua calda lo scambiatore di calore. Il percorso del fluido termovettore viene dettato dalla pompa, come mostrato in figura n.7

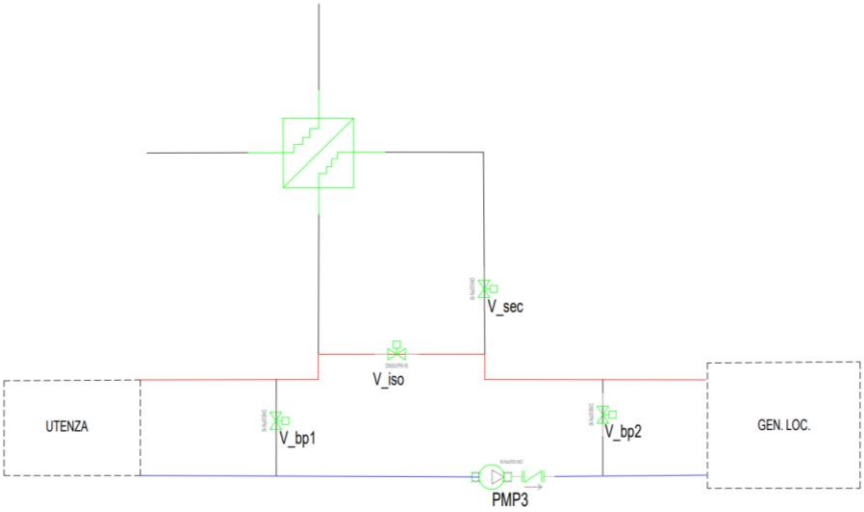


*Figura 7: Configurazione secondario con assetto in isola*

### 1.2.3 Schema C: Assetto Producer

In questo sottoparagrafo viene descritta l'assetto producer, ovvero quando l'impianto cede calore alla rete. Tramite l'apertura delle valvole $V_{sec}$, $V_{bp1}$, e la chiusura delle valvole $V_{iso}$ e $V_{bp2}$, il fluido in uscita dalla generazione localizzata viene inviato caldo allo scambiatore che cede tale calore alla rete. In uscita dallo scambiatore, l'acqua esausta ritorna alla generazione localizzata la quale provvede a fornire nuovo calore. La peculiarità di questo assetto rispetto alla modalità consumer (illustrata nel sottoparagrafo 1.2.1), sta nel fatto che si ha un'inversione di flusso al secondario. Nello specifico in questo caso la valvola $V_{sec}$ viene investita da un flusso caldo, mentre in assetto tradizionale accade l'opposto. Questa particolarità viene progettata al fine di poter ottenere uno scambio termico controcorrente con il primario dello scambiatore, in entrambi gli assetti.

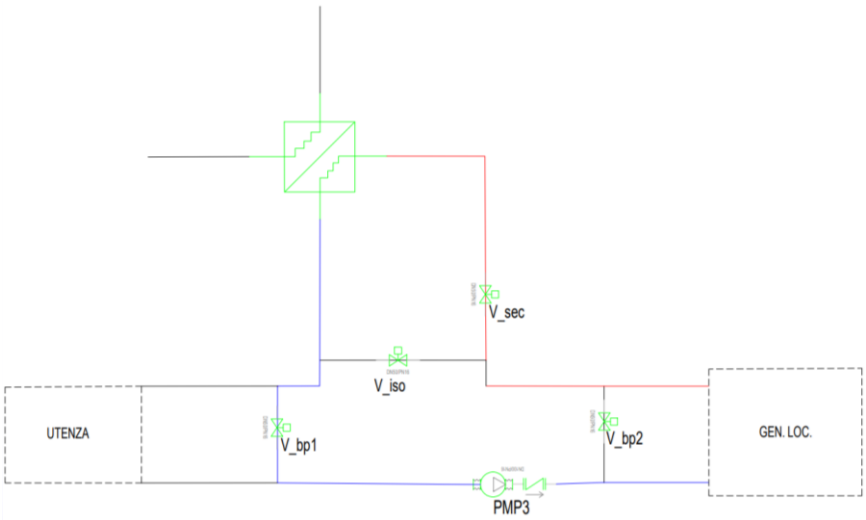


*Figura 8: Configurazione secondario assetto producer*

### 1.2.4 Schema D: Assetto Prosumer con carico all'utenza con sonda di temperatura

Tramite la figura n.5, è possibile notare che per immettere in rete quando lo scambiatore non è impegnato a fornire l'utenza, si ha a disposizione una finestra temporale abbastanza ridotta. Di conseguenza per poter effettuare uno scambio bidirezionale di calore efficiente, è necessario dover immettere in rete in contemporaneità con un carico all'utenza. Per fare ciò, si implementa una sonda di temperatura in uscita allo scambiatore di calore. Quest'ultima ha il compito di fissare il livello di temperatura da fornire all'utenza. La valvola $V_{sec}$ varia la sezione di passaggio al fine di regolare la portata entrante nello scambiatore ed ottenere la temperatura desiderata in uscita dallo stesso. In questo modo si ha la possibilità di fornire calore alla rete in un range di temperatura e la restante parte di energia viene fornita all'utenza. Questa tipologia di configurazione, si sposa particolarmente bene ad utenze con terminali a bassa temperatura come soffitti e pavimenti radianti(~45°C). Per le tipologie di terminali che lavorano a temperature più elevate (radiatori, ventilconvettori, cc), questa tipologia di configurazioni potrebbe avere delle limitazioni, di conseguenza vi è una modalità operativa diversa, illustrata nel sottoparagrafo 1.2.5.

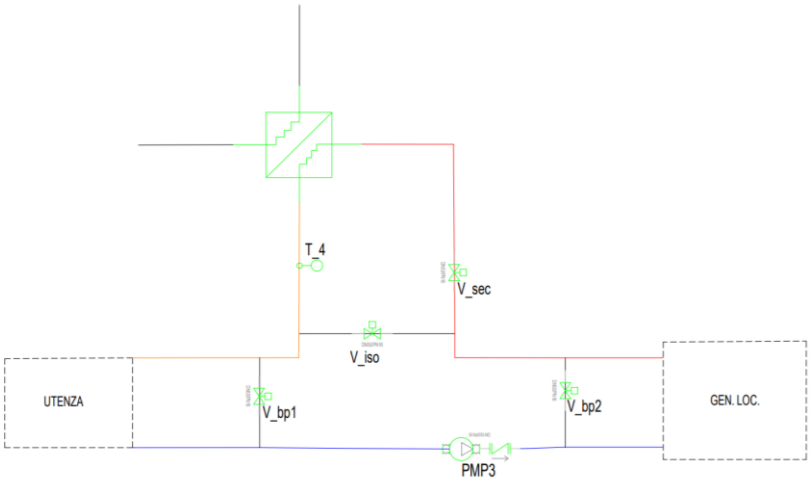


*Figura 9: Configurazione con fase di vendita e carico all'utenza*

### 1.2.5 Schema E: Assetto Prosumer con alimentazione dell'utenza tramite divisione di portata

Questa tipologia di secondario permette di poter dividere la portata in uscita dalla generazione localizzata al fine di poter fornire calore contemporaneamente allo scambiatore di calore e all'utenza. Per fare ciò è stato necessario l'implementazione di un ulteriore bypass comandato dalla valvola $V_{bp3}$. Inoltre, è necessario inserire un ulteriore valvola $V_{sec2}$, in modo da permettere il corretto funzionamento del bypass. Le valvole $V_{bp1}$ e $V_{bp2}$, rimangono chiuse, mentre la $V_{sec}$ e la $V_{iso}$ rimangono aperte in modo da dividere la portata come mostrato in figura n.10. Di conseguenza parte della portata ricca di energia termica viene inviata allo scambiatore di calore, e una volta aver scaricato la quota entalpica alla rete, tramite la chiusura di $V_{sec2}$ e la contemporanea apertura di $V_{bp3}$, il fluido raffreddato torna alla generazione localizzata. La restante parte di portata, invece, attraversando la valvola $V_{iso}$, raggiunge l'utenza. Potrebbe capitare che il livello di temperatura richiesto dall'utenza sia più basso di quello richiesto dallo scambiatore di calore. In virtù di ciò, la valvola $V_{sec2}$ può variare la sezione di passaggio al fine di ottenere uno spillamento della portata uscente dallo scambiatore ed abbassare il livello di temperatura dettato dalla sonda $T_4$.

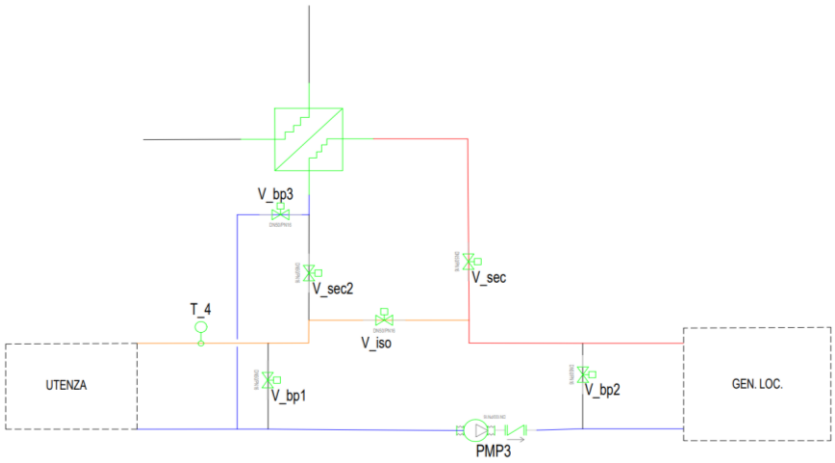


*Figura 10: Configurazione con divisione di portata*

# 2.Definizione degli schemi impiantistici

Dopo aver analizzato separatamente i layout del primario e del secondario dello scambiatore di calore, in questo capitolo si presenta l'impianto SST-B. Poiché le combinazioni possibili sono diverse, si ottengono tre tipologie di sottostazioni differenti, un impianto per ogni modalità di immissione in rete. Inoltre, per ogni modalità di immissione in rete sono analizzate le diverse modalità operative del secondario.
Di conseguenza si ottengono le seguenti SST-B:

- Impianto P.R.I.M.
- Impianto P.R.I.R.
- Impianto P.M.I.M.

Nei paragrafi che seguono vengono presentati gli impianti nella loro interezza, con un focus sul controllo dei vari componenti al fine di poter effettuare diverse fasi durante le ore di riscaldamento.

## 2.1 Controllo impianto P.R.I.M.

Nello schema in figura n.11 viene riportato la sottostazione bidirezionale (SST-B), con prelievo nel ritorno e immissione in mandata della rete. In questo primo schema viene riportato l'assetto operativo tradizionale (consumer), in cui la rete cede calore all'utenza. Il funzionamento di tale impianto è il seguente. La SST prevede una tipologia di controllo ad anello aperto, tale per cui attraverso la sonda di temperatura esterna Test e una curva climatica si ottiene un valore di set point di temperatura monitorato dalla sonda T4. La centralina (Qr) setta l'apertura della valvola $V_{tr}$ al fine di mantenere la $T_4$ costante attraverso una variazione di portata. La contabilizzazione dell'energia acquisita dall'utenza viene effettuata tramite un contatore ($kWh$) posizionato sul primario. Quest'ultimo effettua una lettura di temperatura sia sulla mandata che sul ritorno del primario, rispettivamente tramite le sonde $T_{cont1}$ e $T_{cont2}$, ed una misurazione di portata tramite un flussometro $Q_{CONT}$, calcolando una potenza che integrandola nel tempo restituisce un valore di energia. La centralina della SST-B deve settare l'impianto nelle varie modalità operative viste nel paragrafo 1.2. Nei paragrafi che seguono sono descritte le modalità di controllo per ogni singola modalità operativa.

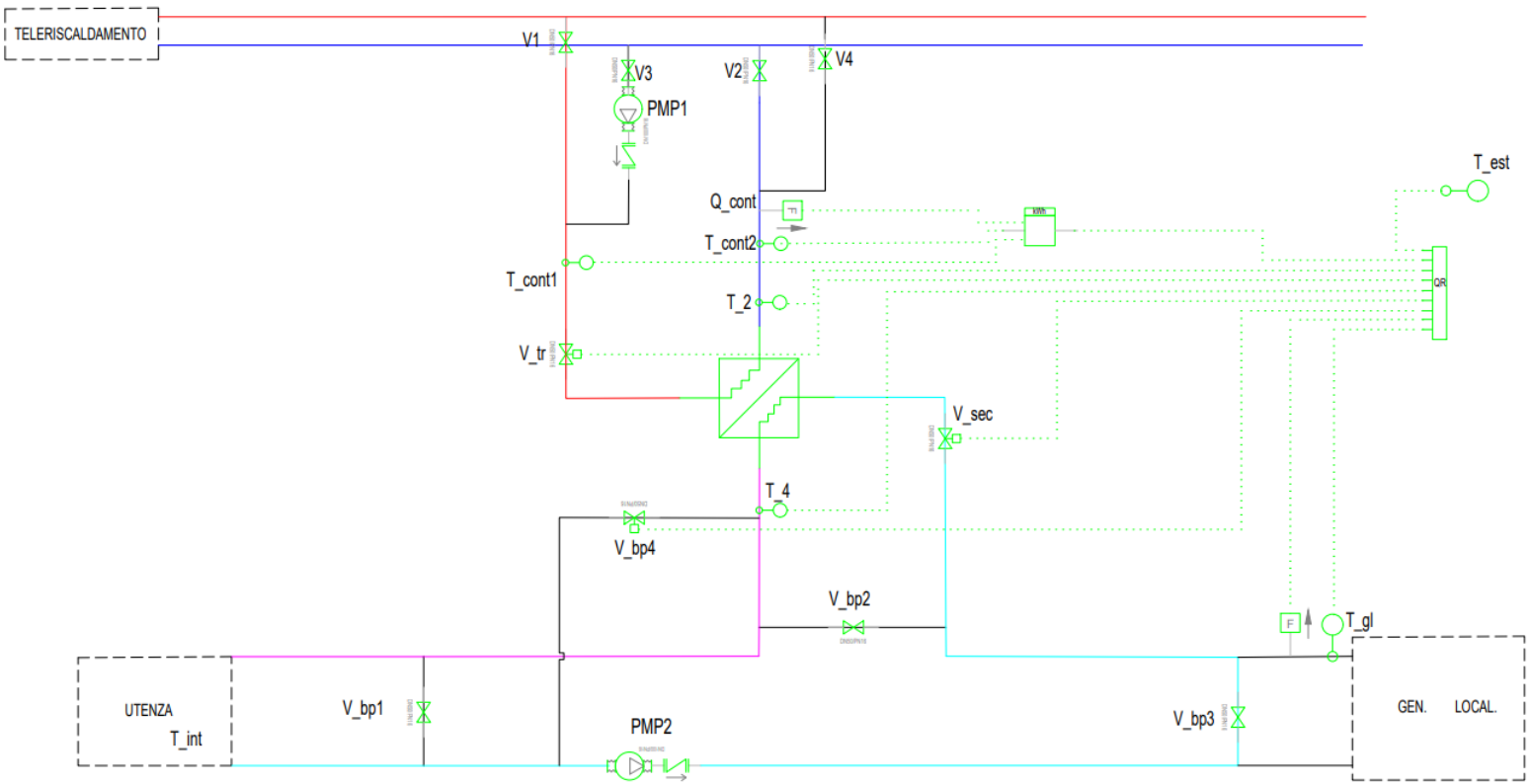


*Figura 11: Impianto P.R.I.M. in assetto consumer*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Sistema di pompaggio* | | *Sonda di temperatura* | QR | *Centralina* | | *Condotto con portata fredda secondario* |
| | *Valvola di non ritorno* | | *Contatore di energia termica* | | *Condotto con portata calda primario* | | *Condotto con portata calda parzializzata* |
| | *Valvola con servosterzo centralizzata* | | *Misuratore di portata* | | *Condotto con portata fredda primario* | | *Condotto in assenza di portata* |
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* | | *Scambiatore di calore controcorrente* | | *Condotto con portata calda secondario* | | *Collegamento elettrico con centralina* |

### 2.1.1. Controllo modalità Stand-alone

La modalità di alimentazione dell'utenza in isola aumenta la flessibilità funzionale della SST-B. In particolare, nel momento in cui la $T_2$ rileva una temperatura al di sotto di un range di ammissibilità la centralina provvede alle seguenti azioni:

- Chiude $V_1$, $V_2$,$V_3$,$V_4$ in modo da isolare il primario dello scambiatore.
- Chiude la $V_{sec}$ in modo da isolare il secondario dello scambiatore.
- Apre la $V_{bp2}$ in modo da mettere in collegamento utenza e generazione localizzata.

In questa analisi, non essendo ancora a conoscenza dell'entità della generazione localizzata, la gestione della temperatura e della portata fornita all'utenza, non viene approfondita. In figura n.12 viene riportato lo schema di tale SST-B nella modalità operativa appena descritta.

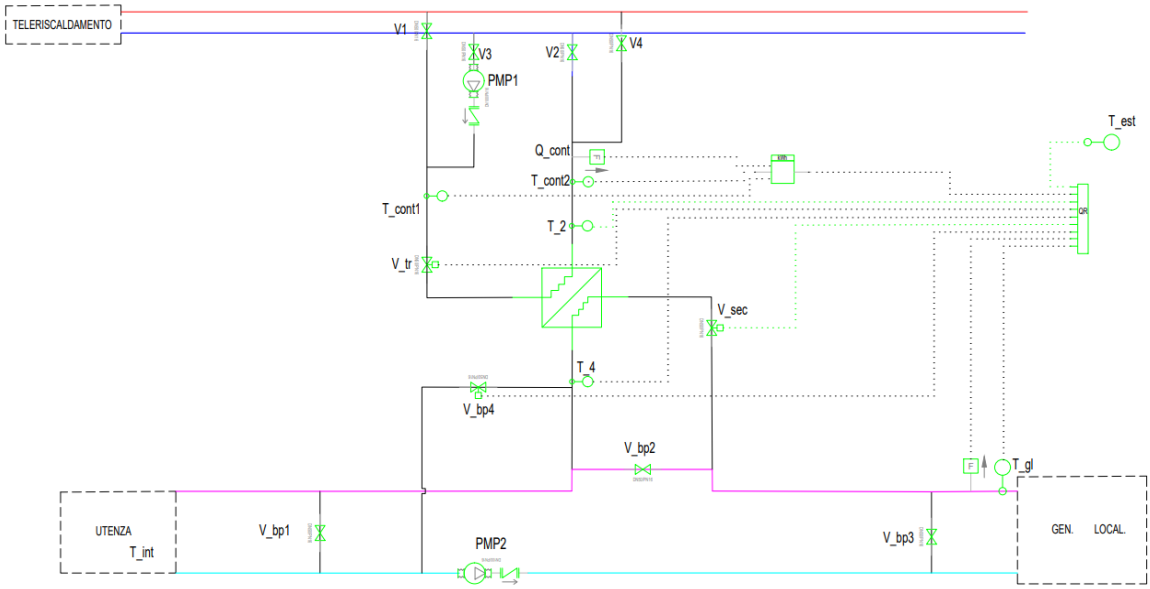


*Figura 12: PRIM assetto in isola*

### 2.1.2. Controllo modalità Producer

In questa modalità, la centralina deve ricevere in input l'interruzione dell'erogazione del calore all'utenza. In particolare, questa azione può verificarsi nel caso in cui la sonda $T_{est}$ monitori una temperatura esterna così elevata da non rendere necessario il riscaldamento. Può anche accadere uno spegnimento automatico della SST-B dopo aver raggiunto il tempo massimo consentito di operabilità. In entrambi i casi la centralina per adeguarsi a tali input effettua le seguenti azioni:

- Chiude $V_1$ e $V_2$ ed apre $V_3$ e $V_4$ al fine di invertire i punti di immissione e prelievo in rete senza modificare la direzione del flusso;
- PMP1 viene accesa in modo da colmare le perdite di pressione tra ritorno e mandata della rete;

- Chiude $V_{bp3}$ ed apre $V_{bp1}$ al fine di isolare l'utenza e mettere in comunicazione lo scambiatore con la generazione localizzata;
- Viene fissata la $T_2$ tramite la regolazione della sezione di passaggio della valvola $V_{sec}$;

Il contatore è di tipo bidirezionale, di conseguenza, monitora una potenza positiva in assetto *consumer*, mentre effettua una lettura di una potenza negativa nel momento in cui si cedere calore alla rete. Questa casistica è possibile sia per la tipologia di contatore, sia per la posizione strategica delle due sonde di temperatura e del flussometro, che riescono ad intercettare il flusso nel primario nei vari assetti.

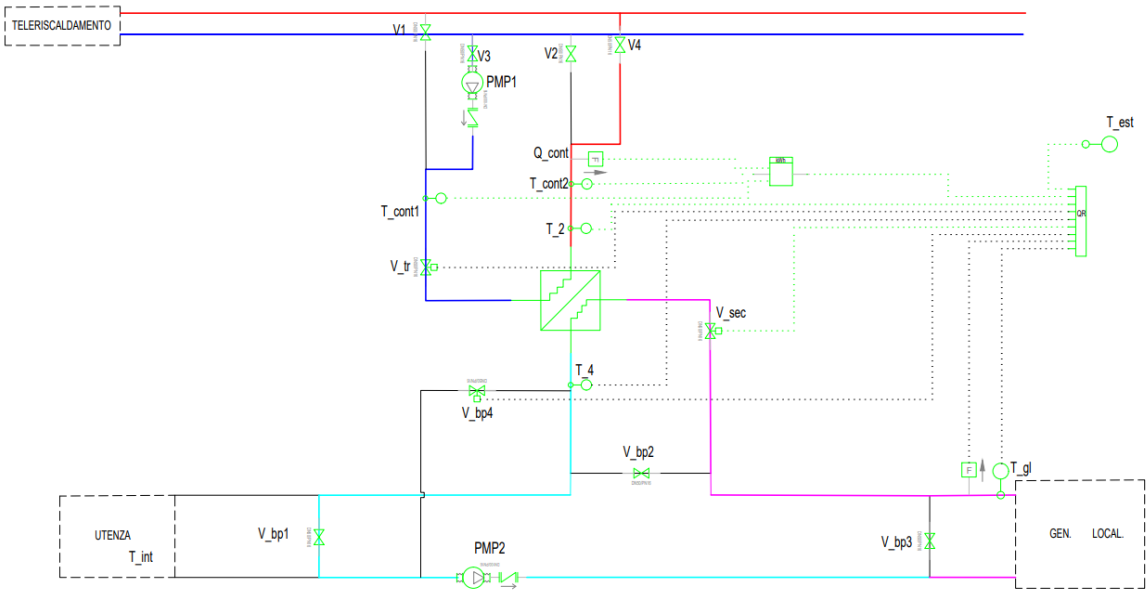


*Figura 13: modalità prosumer senza carico all'utenza*

## 2.1.3. Controllo modalità prosumer con differenza di temperatura.

Nel momento in cui la sottostazione si trova nelle condizioni di dover fornire di nuovo potenza termica all'utenza, la modalità di controllo è la seguente. Per quanto riguarda l'assetto del primario, quest'ultimo non vede variazioni rispetto al caso visto in *figura n.14*. Il secondario, invece, subisce le seguenti azioni:

- Chiusura della $V_{bp1}$ in modo da mettere in collegamento l'utenza con la restante parte della sottostazione;
- Tramite il monitoraggio della $T_2$ viene mantenuta la temperatura costante grazie all'azione sulla valvola $V_{sec}$ (varia la sezione di passaggio al fine di controllare la portata);
- Tramite il monitoraggio della $T_4$ viene mantenuta la temperatura costante (temperatura di set point definita dalla curva climatica) grazie all'azione sulla valvola $V_{tr}$ (varia la sezione di passaggio al fine di controllare la portata);

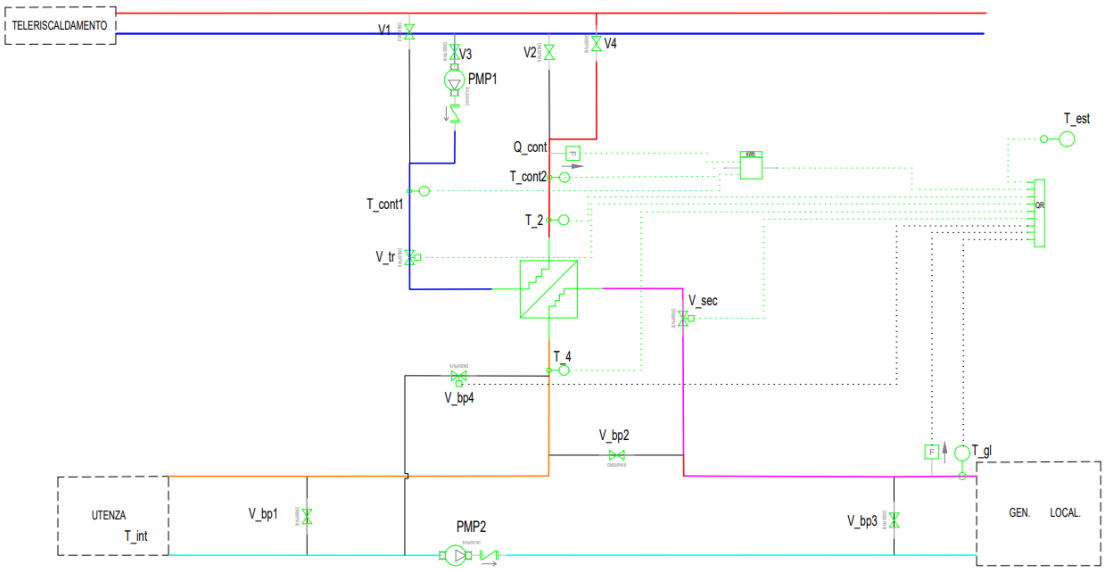


*Figura 14: modalità prosumer con divisione di portata*

## 2.1.4. Controllo modalità prosumer con portata parzializzata.

Nella seguente configurazione (in *figura n.15)*, per poter alimentare l'utenza e al contempo cedere calore alla rete, si ha una divisione di portata sul secondario d'impianto. In particolare, nel momento in cui la T*est* rilascia in input una temperatura tale da avviare il riscaldamento, ma allo stesso tempo si ha disponibilità di immissione in rete; al fine di tenere $T_4$ costante, viene regolata la valvola $V_{bp2}$, in modo da regolare la portata in ingresso all'utenza. In questo modo, la portata in eccesso riesce a defluire all'interno dello scambiatore ed alimentare la rete. L'assetto del primario rimane lo stesso della *figura n.14*. Per poter permettere la giusta regolazione del primario, la temperatura imposta $T_2$, viene mantenuta sopra i livelli stabiliti dalla valvola $V_{tr}$.

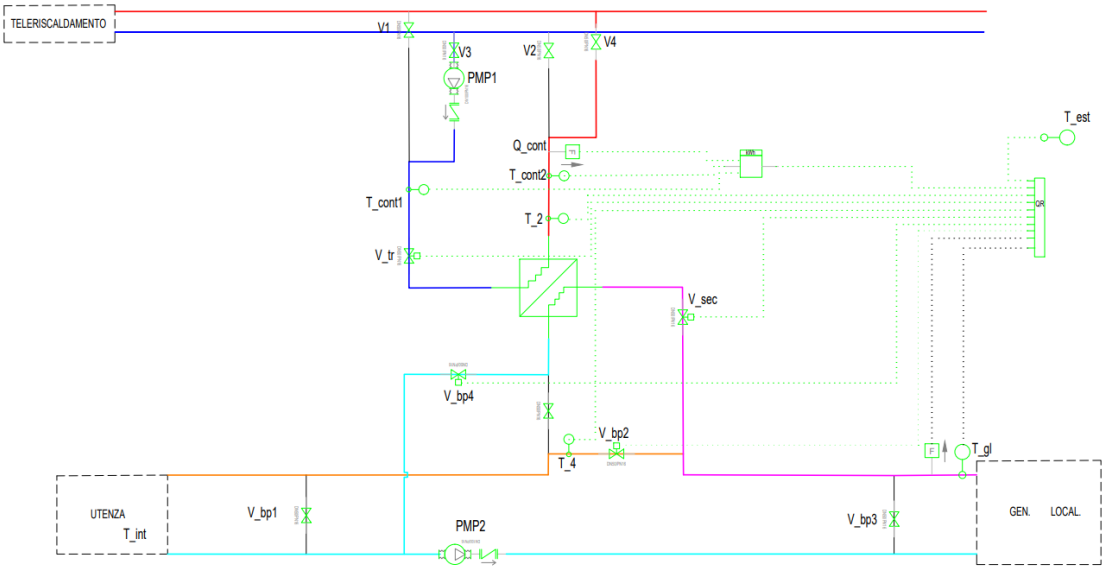


*Figura 15: SST-B con divisione di portata*

## 2.2 Controllo impianto P.R.I.R

Lo schema riportato in *figura n.16* mostra il layout P.R.I.R., in cui si può notare una similitudine con la SST-B descritta nei paragrafi precedenti. Le varie configurazioni presenti nel secondario rimangono del tutto invariate. Le differenze si hanno nel primario, in cui si può notare la presenza di un condotto in meno rispetto al caso precedente, data la peculiarità dell'immissione nel ritorno. In virtù di ciò l'analisi dettagliata delle singole configurazioni della sottostazione viene tralasciata in quanto già affrontata nel paragrafo precedente.
L'idea di proporre tale configurazione sta nel fatto di poter sfruttare un livello termico più basso presente nel ritorno della rete di teleriscaldamento. Per verificare l'effettivo guadagno nell'utilizzo di tale SST-B, bisogna tener conto del possibile decremento del rendimento delle centrali di immissione, vedendo un innalzamento della temperatura dell'acqua di ritorno.

## 2.3 Controllo impianto P.M.I.M

Questo layout d'impianto nasce dalla possibilità di poter immettere e prelevare in mandata, andando a sfruttare le fluttuazioni di temperatura presenti in alcune utenze. L'idea è quella di immettere in rete, nei momenti della giornata in cui la temperatura di mandata della rete scende sotto determinati range. La fattibilità dello scambio termico di tale configurazione verrà affrontata, nel capitolo successivo. Il grafico in *figura n.17* mostra un andamento tipologico della temperatura di mandata della rete di teleriscaldamento. In particolare, si riscontra che nelle ore centrali della mattina e del pomeriggio, vi sono dei cali di temperatura oltre che delle fluttuazioni che si ripercuotono durante tutto il funzionamento della sottostazione. L'idea è quella di colmare queste fluttuazioni di temperatura, andando a immettere in rete direttamente in mandata.
In *figura n.18* viene riportato lo schema della configurazione P.M.I.M. Anche in questo caso la variazione impiantistica, riguarda solamente il primario, in cui si può notare un sistema di pompaggio con immissione in mandata. Il secondario invece prevede le identiche modalità di controllo viste nei paragrafi precedenti.

*Figura 16: Andamento temperatura di mandata Rete*

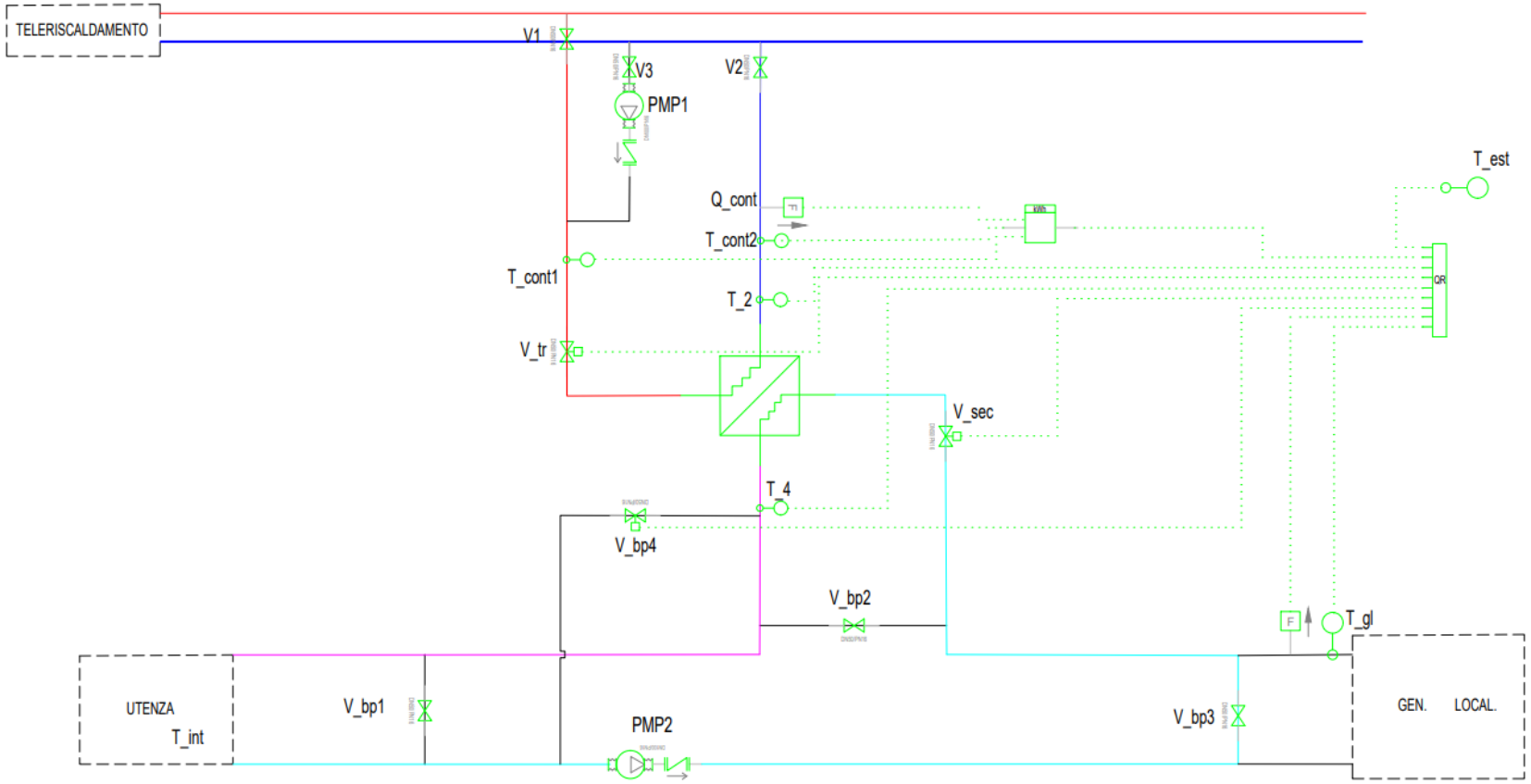


*Figura 17: Schema funzionale P.R.I.R*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Sistema di pompaggio* | | *Sonda di temperatura* | | *Centralina* | | *Condotto con portata fredda secondario* |
| | *Valvola di non ritorno* | | *Contatore di energia termica* | | *Condotto con portata calda primario* | | *Condotto con portata calda parzializzata* |
| | *Valvola con servosterzo centralizzata* | | *Misuratore di portata* | | *Condotto con portata fredda primario* | | *Condotto in assenza di portata* |
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* | | *Scambiatore di calore controcorrente* | | *Condotto con portata calda secondario* | | *Collegamento elettrico con centralina* |

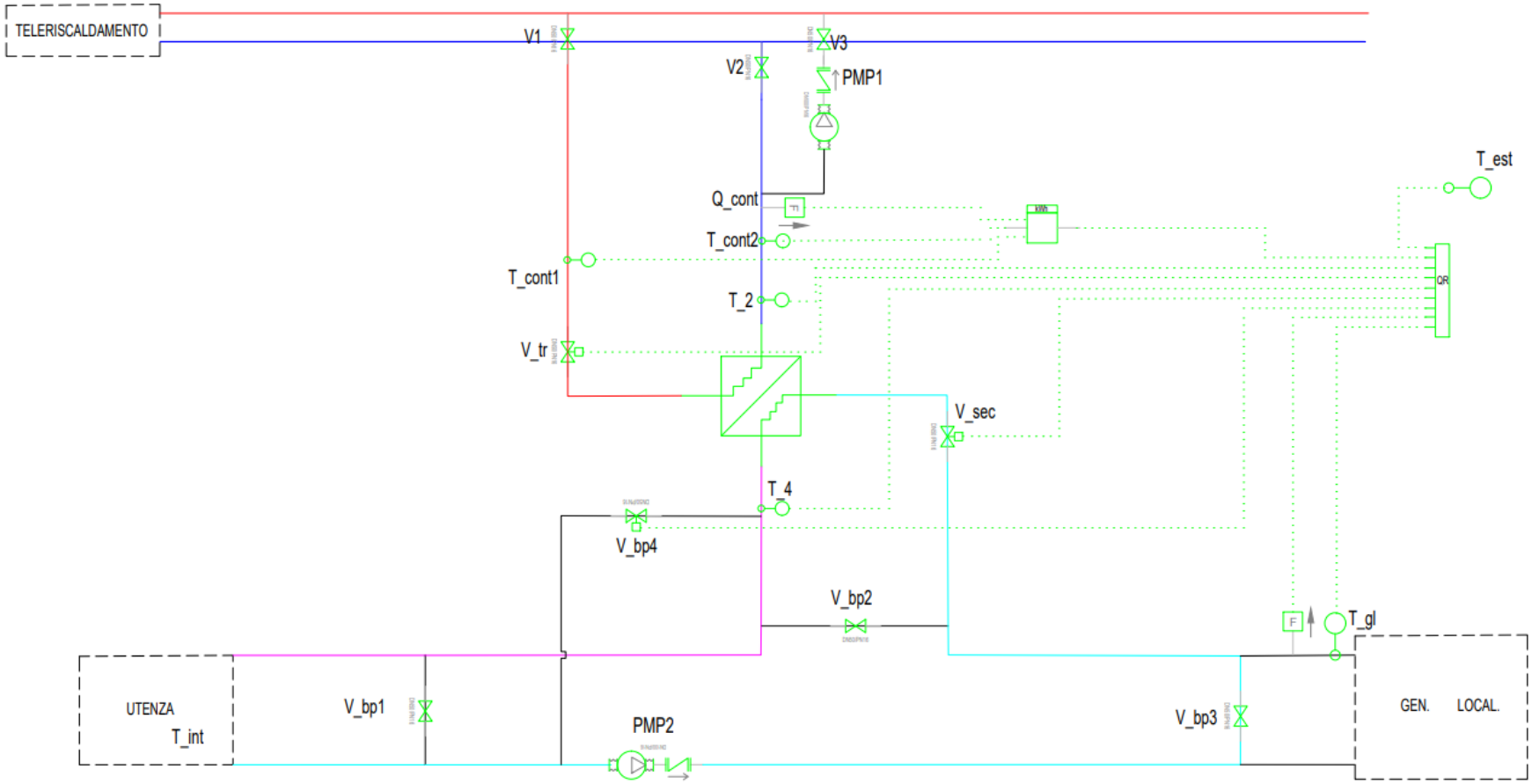


*Figura 18: Schema funzionale P.M.I.M.*

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *Sistema di pompaggio* | | *Sonda di temperatura* | | *Centralina* | | *Condotto con portata fredda secondario* |
| | *Valvola di non ritorno* | | *Contatore di energia termica* | | *Condotto con portata calda primario* | | *Condotto con portata calda parzializzata* |
| | *Valvola con servosterzo centralizzata* | | *Misuratore di portata* | | *Condotto con portata fredda primario* | | *Condotto in assenza di portata* |
| | *Valvola di intercettazione ON/OFF* | | *Scambiatore di calore controcorrente* | | *Condotto con portata calda secondario* | | *Collegamento elettrico con centralina* |

# 3. Connessione SST-B con una rete a 120°C

Dopo aver analizzato le varie configurazioni e le modalità operative possibili, viene definita l'entità della generazione localizzata a seguito di un'analisi termica. Prima di proseguire con lo studio sopracitato, bisogna soffermarsi sui livelli termici delle reti. Attualmente la rete presente nella città di Torino esercisce potenza termica tramite due tubazioni, di cui una di mandata a 120°C e di una di ritorno a 70°C. Attualmente, non ci sono RES compatte che riescono a produrre potenza termica con livelli di temperatura nell'intorno dei 100°C. In primis si è pensato, dati gli alti livelli termici in gioco, a sistemi che utilizzino combustione di biomasse, come bruciatori di trucioli, oppure microcogenerazione alimentato da syngas. Il problema nell'applicazioni di tali tecnologie risiede nella difficoltà di installare tutto il sistema di camini per permettere il giusto percorso dei fumi. Infatti, uno dei vantaggi dell'utilizzo delle sottostazioni tradizionali risiede proprio nel fatto che esse permettono l'eliminazione degli scarichi dei fumi delle caldaie, i quali risultano essere soggetti a iter autorizzativi molto pesanti. Di conseguenza implementare di nuovo un sistema a combustione potrebbe risultare poco pratico e soprattutto non adatto a tutti i condomini. Infatti, un'altra riflessione da tenere in considerazione è l'ingombro della SST-B, il quale è molto limitato dagli spazi a disposizione nei vari condomini allacciati alla rete. Le sottostazioni tradizionali, infatti, risultano essere abbastanza compatte e di conseguenza posizionate solitamente in vani dedicati alla centrale termica condominiale, i quali non presentano grandi superfici da poter utilizzare. Di difficile applicazione, risultano essere il concentratore solare, il quale riesce a raggiungere livelli termici sopra i 120°C, ma prevede un ingombro non adatto alla maggior parte dei condomini allacciati sulla rete. Di conseguenza l'unica produzione termica interessante dal punto di vista degli ingombri risulta essere la pompa di calore aria/acqua. Il problema relativo a questa tecnologia sta nel fatto che attualmente si hanno pompe di calore ad alta temperatura, le quali raggiungono un massimo di 90°C in mandata. Sono presenti pompe di calore che riescono a raggiungere anche valori sopra i 150°C in mandata, ma per taglie di potenza dell'ordine di grandezza dei MW. Nelle analisi proposte ci si trova ad affrontare taglie di potenza dell'ordine dei kW. Per ovviare al problema dei livelli termici, si può pensare di sfruttare maggiormente il ritorno della rete, come punto di immissione. Di seguito vengono riportate le configurazioni sfruttabili con la rete attuale al fine di abbassare la richiesta delle sottostazioni e poter permettere un ampliamento della rete.

# 3.1. Modello di calcolo adottato

Per definire una taglia ottima di un eventuale pompa di calore da poter associare agli schemi visti in precedenza si procede con un'analisi di sensitività basata sul seguente approccio.
Bisogna considerare, che le pompe di calore adottate sono alimentate dall'energia elettrica prodotta da pannelli solari. In virtù di ciò, non ci si può spingere su taglie troppo grandi di pompe di calore, poiché ci si potrebbe trovare nelle situazioni in cui, il tempo di utilizzo risulti essere troppo limitato, visto che si hanno dei limiti sulle superfici sfruttabili da pannelli solari e di conseguenza sull'energia sfruttabile. Un'altra motivazione per la quale non ci si può spingere troppo oltre la taglia della pompa di calore risiede nel fatto che ci si potrebbe trovare nella casistica in cui la sola generazione localizzata riesce a coprire l'intero fabbisogno dell'utenza, tagliando fuori la rete dalla bidirezionalità della sottostazione SST-B. A partire da tutte queste considerazioni, si è pensato di ricercare un profilo di carico tipologico tra le porzioni di rete '419' e '422'. Dopo una prima pulizia dei dati forniti sulle sottostazioni presenti nei rami in questione, vengono presi in considerazioni solo i periodi più gravosi durante il periodo di funzionamento della rete, ovvero i soli mesi di gennaio e febbraio. Dopo aver individuato i vari picchi massimi relativi ad ogni sottostazione, viene effettuata una media degli stessi, e viene scelto come profilo tipologico, la sottostazione che ha un giorno con un picco il più possibile vicino alla media trovata. Viene scelta una curva di richiesta termica di tale dimensione al fine di includere le utenze più energivore nell'analisi. Conoscendo il valore di potenza del picco massimo, si è pensato di trovare un rapporto di immissione ottimo, per valori di taglia della pompa di calore pari al 10%, 30%, 50%, 70% e 90% del picco massimo. Il rapporto di immissione viene definito secondo la seguente formula:

$$\gamma = \frac{energia\ termica\ prodotta\ dalla\ PdC\ e\ immessa\ in\ rete[kWh]}{fabbisogno\ termico\ dell'edificio[kWh]}$$

$$\beta = \frac{energia\ termica\ prodotta\ dalla\ PdC\ per\ l'alimentazione\ dell'utenza[kWh]}{fabbisogno\ termico\ dell'edificio[kWh]}$$

$$\alpha = \beta + \gamma$$

- Producer ratio (γ) : *rappresenta il rapporto tra quanta energia termica prodotta dalla pdC viene ceduta alla rete di teleriscaldamento e la richiesta termica totale dell'edificio in questione.*

- Consumer ratio (β): *rappresenta invece il rapporto tra la quota energetica prodotta dall pdC che viene direttamente utilizzata per riscaldare l'utenza e il fabbisogno termico dell'edificio in questione*

- Prosumer ratio (α): *somma dei due valori sopra citati, risulta il rapporto tra l'effettiva energia termica prodotta dalla pompa di calore e dalla richiesta dell'edificio in questione.*

Questi indicatori vengono così composti, con il fine di includere nello studio, tutte le possibili casistiche di management dell'energia prodotta dalla generazione localizzata. In questo modo si riescono a definire valori di taglia di potenza della pompa di calore per i quali si ottiene una quantità di energia immessa tale da potere rendere vantaggiosa l'implementazione della bidirezionalità. Bisogna precisare che tale ragionamento inizialmente viene applicato con la sola alimentazione di energia elettrica da rete, andando a sfruttare tutte le possibili finestre di immissione, con il fine di individuare solo la taglia ottima della pompa di calore.
Per definire le modalità di immissione possibili con l'utilizzo di pompe di calore e con eventuali accumuli termici, bisogna prendere in considerazione le possibili finestre di immissione durante le ore di riscaldamento, data la presenza di un solo scambiatore di calore. Questo perché non è possibile poter sfruttare tutte le configurazioni viste nei capitoli 1 e 2, data la limitazione dei livelli termici raggiungibili da una pompa di calore.

## 3.2. SST-B preriscaldo

In prima analisi, si è visto il comportamento della SST-B, con una pompa di calore tradizionale ($T_{mand}$=55/60°C). Attraverso tale tecnologia non è possibile poter immettere direttamente in rete potenza termica, ma bensì si può pensare di preriscaldare l'acqua in ingresso allo scambiatore, andando a ridurre la potenza termica impiegata dalla rete. Lo schema in *figura n.19* mostra la configurazione finale per tale tipologia di sottostazione. Come si può notare da tale layout, il primario della SST-B è invariato rispetto alle SST tradizionali. Per quanto riguarda il secondario invece, si ha l'eliminazione di due bypass. Ciò avviene perché non sempre si può avere una configurazione in isola (paragrafo 1.2.2.), dato che per i livelli di temperatura relativi alla pompa di calore d'interesse, risulterebbe difficile alimentare terminali come radiatori e ventilconvettori. la valvola $V_{bp1}$ invece viene eliminata poiché non vi è l'esigenza di isolare l'utenza.

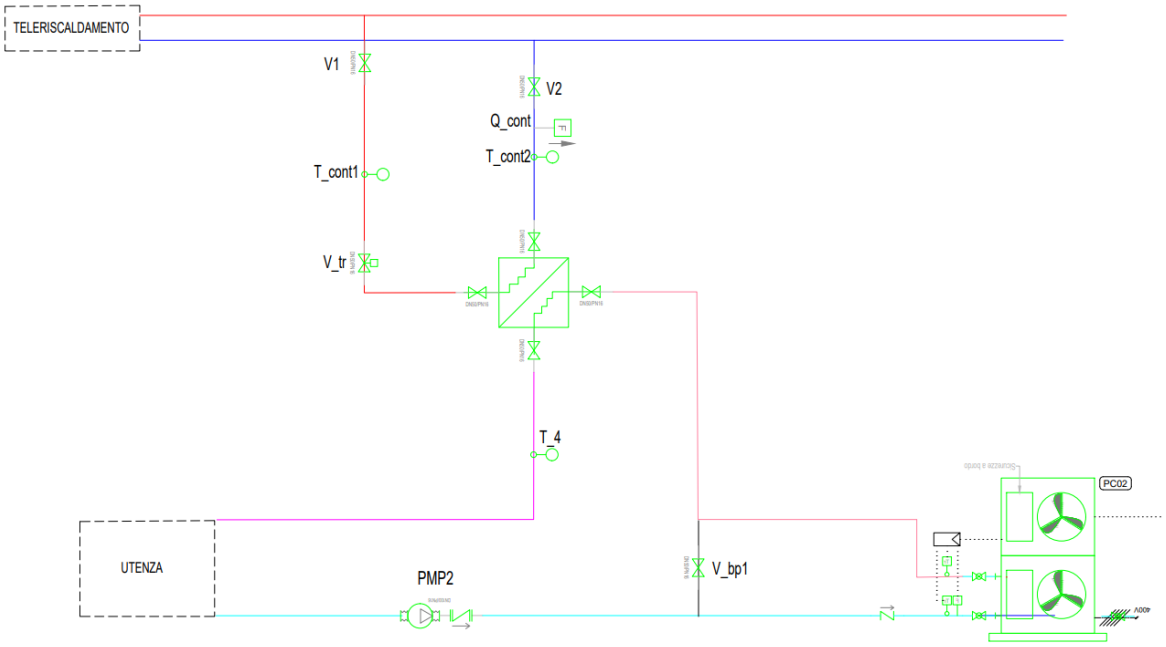


*Figura 19: Schema SST-B con preriscaldo*

Dal valore di picco trovato nell'analisi del giorno di riscaldamento tipologico, vengono analizzate le taglie di potenza termica visualizzabili in *tabella n.2*

*Tabella 2:Taglie di potenza della pompa di calore*

| % Potenza Picco | 10% | 30% | 50% | 70% | 90% |
|---|---|---|---|---|---|
| kW | 36 | 108 | 180 | 253 | 324 |

La potenza termica emessa dalla pompa di calore segue la curva di carico della sottostazione. Di conseguenza la PdC vedrà uno stop nelle finestre temporali in cui la sottostazione viene spenta. Operando in questa modalità si ottengono i risultati mostrati in *tabella n.3.* Si può notare come, anche solo tramite l'utilizzo di una PdC da 36 kW, si ottiene un rapporto di immissione quasi del 30%. Ciò risulta molto conveniente, poiché ottimizza la spesa da affrontare per l'investimento, visto la semplicità della sottostazione e della piccola taglia di potenza da impiegare per la PdC. Si può anche affermare, che tutte le taglie di potenza analizzate, restituiscono valori di rapporto di immissione ammissibili, ma bisogna verificare se per il salto termico d'interesse e per taglie più vicino al valore di picco non vengano gestite portate troppo grandi, le quali influiscono negativamente sui condotti del secondario e sulla potenza elettrica assorbita dalla pompa. Bisogna precisare che quest'impianto deve rispettare un dimensionamento consono alle colonne di distribuzione dei terminali condominiali. (Viene esclusa la possibilità di poter sostituire le colonne di distribuzione per non incrementare troppo i costi d'investimento).

*Tabella 3: Risultati energia immessa e rapporto di immissione*

| | E10 | E30 | E50 | E70 | E90 |
|---|---|---|---|---|---|
| **kWh/d** | 521,3 | 1510,9 | 2591,5 | 3628,1 | 4664,7 |
| $\alpha$ | 0,29 | 0,84 | 1,44 | 2,01 | 2,59 |

In *tabella n.4* vengono mostrati i valori di portata da elaborare nel secondario. Non si può definire un valore di portata di riferimento poiché essa dipende dal numero di terminali presenti nel condominio. Qualitativamente, si può semplicemente concludere che per utenze più piccole, le taglie maggiori del 50% della potenza di picco potrebbero smaltire una portata troppo grande. Prendendo come riferimento, invece, la SST considerata per il profilo tipologico, essa vede una portata media del secondario di circa 3 $m^3/h$. Di conseguenza per la tipologia di utenza in questione, la taglia ottimale della PdC risulta essere nell'intorno del 30% della potenza assorbita di picco (circa 108 kW).

*Tabella 4: Valori di portata del secondario*

| | E10 | E30 | E50 | E70 | E90 |
|---|---|---|---|---|---|
| **kg/s** | 0,25 | 0,74 | 1,23 | 1,72 | 2,21 |
| **$m^3/h$** | 0,89 | 2,66 | 4,43 | 6,20 | 7,97 |

## 3.4. SST-B Immissione ad intermittenza

In questo sotto-capitolo, viene presa in considerazione la configurazione P.R.I.R. con l'accoppiamento di una PdC ad alta temperatura ($T_{mand}$=90°C). In questo modo, si ha la possibilità di effettuare una reale immissione di potenza termica in rete, anche se nel ritorno. Inoltre, nei paragrafi che seguono verrà affrontata questa casistica con una generazione localizzata con e senza accumulo.

### 3.4.1. Immissione intermittenza senza accumulo

In *figura n.20*, viene mostrato il layout finale di questa tipologia di sottostazione. Le differenze con la casistica del preriscaldo sono poche. In questo caso, per poter immettere in rete, le uniche finestre sfruttabili sono quelle di interruzione del riscaldamento (figura *n.4)*.

*Tabella 5: Risultati rapporto di immissione con intermittenza*

| | E10 | E30 | E50 | E70 | E90 |
|---|---|---|---|---|---|
| **kWh/d** | 107,9 | 323,6 | 359,5 | 755,0 | 970,7 |
| $\alpha$ | 0,06 | 0,18 | 0,20 | 0,42 | 0,54 |

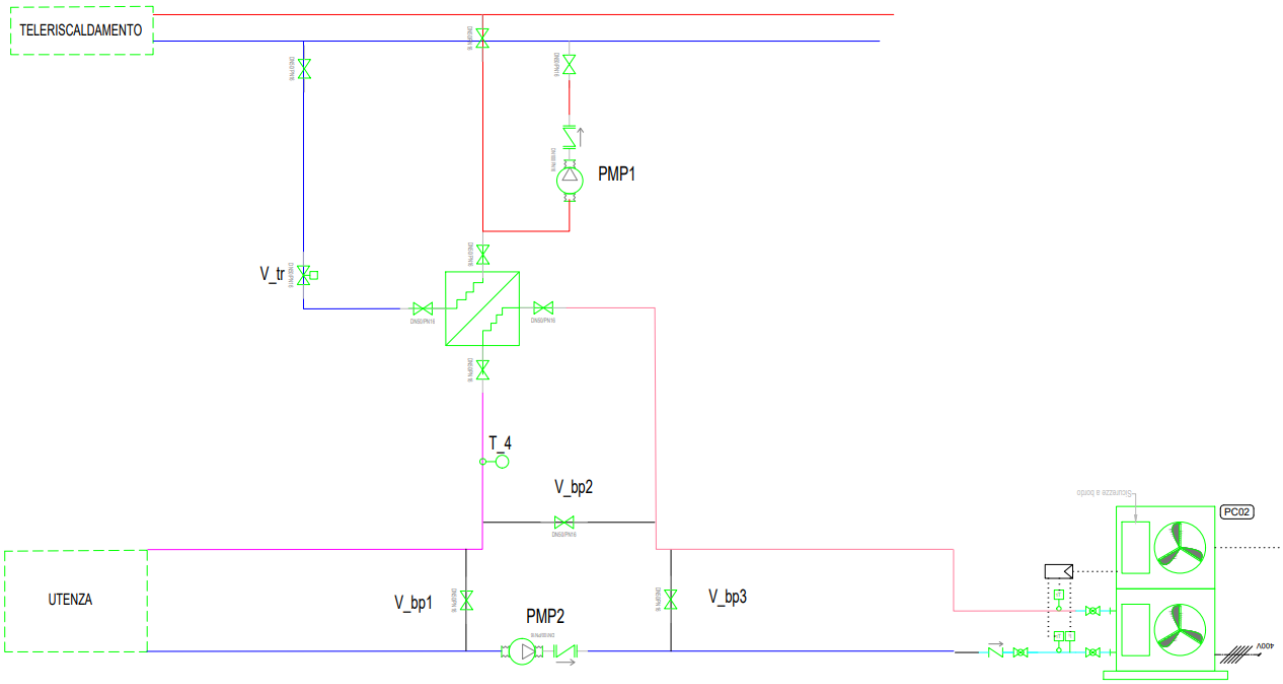


*Figura 20: Schema SST-B con immissione*

Come si può notare dalla *tabella n.5* si hanno dei rapporti di immissione abbastanza bassi da poter rendere questa scelta conveniente. Ciò è dovuto al fatto che la finestra di immissione presa in considerazione ha un arco temporale troppo ridotto, di conseguenza bisognerebbe utilizzare taglie di potenza prossimi al valore di picco. Utilizzando taglie troppo grandi si aggrava la gestione delle portate, le quali potrebbero risultare troppo elevate (come visto nel paragrafo precedente).
Di conseguenza nel paragrafo successivo, viene mostrata la casistica con un accumulo, il quale permette di ampliare la finestra di immissione.

## 3.4.2. Immissione intermittenza con accumulo

In questa configurazione, come da *figura n.21*, si può notare l'implementazione di un accumulo. Quest'ultimo permette una maggiore interazione della PdC con la rete. In particolare, l'accumulo (ACC), viene alimentato dalla PdC fino al raggiungimento della temperatura di esercizio dei terminali d'utenza. Nel momento in cui lo stoccaggio è carico, con un'apertura e chiusura simultanea dei condotti annessi alla SST-B, quest'ultimo va ad alimentare l'utenza. La PdC in uso è una pompa di calore ad alta temperatura con $T_{mand}$=90°C. Essa, una volta svincolata dall'accumulo, si dispone in assetto producer, andando a cedere calore alla rete, fornendo acqua calda al ritorno della rete.

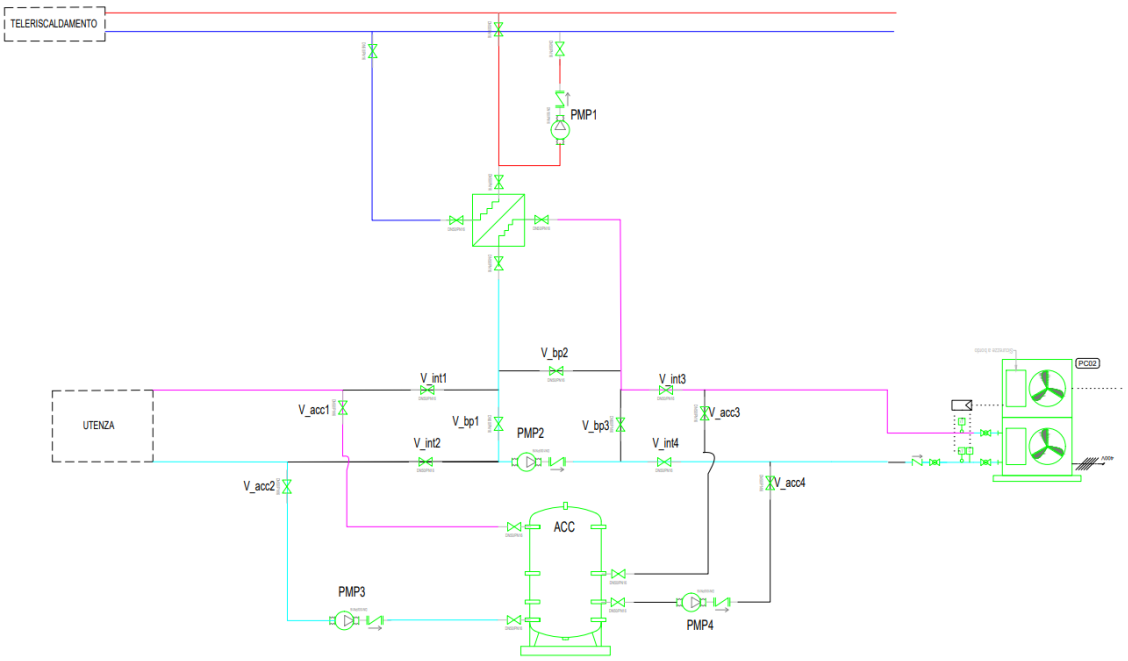


*Figura 21: Schema SST-B immissione con accumulo*

L'analisi proposta per questa tipologia d'impianto inizia con la verifica di funzionamento di tre ACC, rispettivamente da 1000 l, 1500 l, e da 2000 l. Si è calcolato inizialmente il tempo di carica e di scarica dello stoccaggio, in modo da capire la bontà delle finestre di immissione. Prendendo in considerazione i radiatori come terminale d'impianto, quest'ultimi hanno temperature di funzionamento pari a 70°C in mandata e 50°C in ritorno. Di conseguenza lo Stoccaggio completamente scarico si troverà ad una temperatura di 50°C. Poiché la PdC esercisce potenza a 90°C, quest'ultima dovrà innalzare il quantitativo di energia dello stoccaggio innalzando la temperatura da 50°C a 70°C. La *tabella n.6* riporta i tempi di carica dei tre stoccaggi per ogni taglia di potenza della pompa di calore presa in questione. Nelle analisi che seguono vengono eliminati i valori di τ inferiori a 10 minuti, poiché risultano essere tempi troppo brevi e renderebbero il sistema troppo dinamico.

*Tabella 6: Tempi di carica dello stoccaggio*

| - | - | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| V [L] | G [kg] | τ [min] | τ [min] | τ [min] | τ [min] | τ [min] |
| 1000 | 997 | 39 | 13 | 8 | 6 | 4 |
| 1500 | 1495,5 | 58 | 19 | 12 | 8 | 6 |
| 2000 | 1994 | 77 | 26 | 15 | 11 | 9 |

Attraverso i tempi di carica dell'ACC, si deduce il tempo tale per cui la SST-B deve lavorare in assetto *consumer*, andando ad alimentare l'utenza. Per avere un esatto accoppiamento tra accumulo e SST-B, bisogna definire anche il tempo di scarica di quest'ultimo. Il tempo di scarica è fissato dalla portata circolante nel secondario, la quale deve essere costante per l'effettivo bilanciamento dei terminali d'utenza. In *figura n.22*, si possono notare le curve dei tempi di scarica in funzione della portata

del secondario, calcolate secondo l'equazione che segue. Il tempo di scarica corrisponde alla finestra di immissione, di conseguenza essa deve essere quanto più grande possibile al fine di ottimizzare il rapporto di immissione.

$$y = \frac{V_{ACC}}{G_{UT}}$$

- $V_{ACC}$: volume dell'accumulo in [m³]
- $G_{UT}$: portata volumetrica da inviare all'utenza per soddisfare la richiesta termica [m³/h]

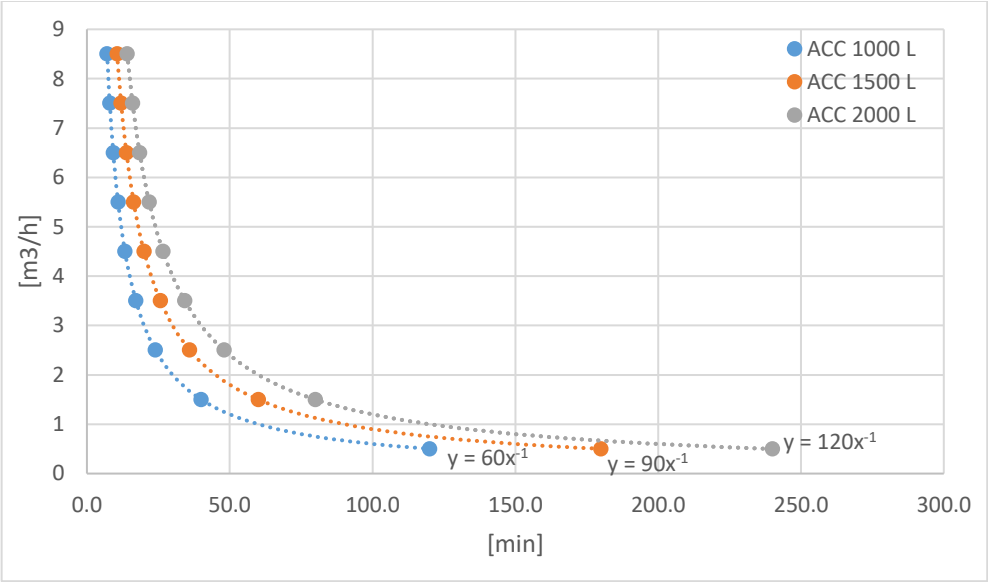


*Figura 22: Tempi di scarica di ACC in funzione della portata del secondario*

Per permettere il corretto funzionamento della SST-B, bisogna avere una situazione in cui il tempo di carica dell'ACC deve essere il più breve possibile, viceversa per il tempo di scarica dello scambiatore. Per quantificare un valore di rapporto di immissione, bisogna prendere in considerazione un valore di portata volumetrica. Poiché gli schemi d'impianto proposti, sono maggiormente riguardanti edifici di tipo residenziale, viene ipotizzato un valore di portata pari a 3 m³/h. Tale ipotesi è derivante da un'osservazione delle portate circolanti nel secondario di un edificio con 18 complessi abitativi. Tramite le equazioni ottenute dal grafico in *figura n.21,* vengono ricavati i valori dei tempi di scarica per ogni casistica degli ACC visti (*tabella n.7*).

*Tabella 7: Tempi di scarica dell'acumulo*

| V [L] | Gc [m3/h] | Tscar [min] |
|---|---|---|
| 1000 | 3 | 20 |
| 1500 | 3 | 30 |
| 2000 | 3 | 40 |

Effettuando varie simulazioni sul giorno tipo, sono emersi i seguenti risultati, raccolti in *tabella n.8.*

*Tabella 8: Risultati rapporto di immissione SST-B con accumulo*

| | ACC 1000 L | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| **kWh/d** | **240,00** | **1035,00** | **-** | **-** | **-** |
| **$\alpha$** | **0,13** | **0,57** | **-** | **-** | **-** |

| | ACC 1500 L | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| **kWh/d** | **240,00** | **1026,00** | **1890,00** | **-** | **-** |
| **$\alpha$** | **0,13** | **0,57** | **1,05** | **-** | **-** |

| | ACC 2000 L | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| **kWh/d** | **213,00** | **1080,00** | **2100,00** | **3192,00** | **-** |
| **$\alpha$** | **0,12** | **0,60** | **1,16** | **1,77** | **-** |

Come si può notare dalla *tabella n.8,* i casi con taglie dalla [5]PdC pari al 10% del picco massimo, risultano avere un rapporto di immissione abbastanza contenuto. I dati interessanti si notano con potenze nell'intorno del 30 % del picco massimo. Per queste taglie della PdC, si ottiene un rapporto di immissione del 60 %, dato ottimo ai fini del ritorno dell'investimento. Logicamente per taglie maggiori della PdC, si ottengono valori ottimi di rapporto di immissione, poiché si hanno dei tempi di carica dell'[6]ACC, molto brevi. Questo potrebbe essere un fattore non ottimale in ottica manutenzione e di disponibilità della sottostazione. In virtù di ciò, il caso con accumulo da 2000 L e con una PdC da 108 kW risulta essere il giusto compromesso.

## 3.5. Risultati SST-B con rete a 120°C

Per ottenere un risultato di rapporto di immissione valido, bisognerebbe effettuare uno studio di fattibilità sull'installazione di fotovoltaico a servizio dell'alimentazione elettrica della pompa di calore. Ciò è dovuto al fatto che per avere una SST-B sostenibile, la PdC deve essere alimentata mediante energia rinnovabile. Di conseguenza la generazione localizzata dovrà seguire le curve di potenza elettrica immesse in rete dal sistema di pannelli solari. In particolare, per ammortizzare i costi ed evitare un'installazione stand-alone di pannelli fotovoltaici, e poter effettuare un utilizzo dei pannelli in modalità prosumer, si può pensare di alimentare la PdC nel

[5] Pompa di calore aria-acqua
[6] Accumulo termico

seguente modo. Durante la stagione estiva, periodo in cui il servizio di teleriscaldamento è inattivo, si avrà un certo valore di energia elettrica prodotta dal fotovoltaico. I $kWh_{el\ generati}$ nel periodo di riferimento, rappresenterebbero la baseline giornaliera dell'alimentazione della PdC durante il periodo di riscaldamento. Per ottimizzare la produzione e l'alimentazione della generazione localizzata della SST-B, si può pensare di far seguire l'alimentazione della PdC con la produzione elettrica del giorno prima del pannello fotovoltaico. In questo modo la PdC vedrà una quota fissa di energia elettrica data dalla produzione estiva del pannello fotovoltaico, e una quota variabile che varia con cadenza giornaliera, in base alla produzione di energia elettrica invernale del pannello fotovoltaico. Tramite questa tecnica di bilancio, si prova a sfruttare tutta la risorsa rinnovabile a disposizione.
Il processo in questione, non viene approfondito a livello di calcolo, in quanto il dimensionamento dell'impianto fotovoltaico è legato all'ingombro a disposizione per l'istallazione. Tale parametro è legato fortemente all'edificio, ed ogni utenza potrebbe avere condizioni differenti che non permettono la definizione di una valutazione generica.
L'istallazione dell'intero sistema SST-B potrebbe essere oggetto di analisi in fase di contrattualizzazione con l'utenza, tramite la modalità seguente. Si potrebbe effettuare uno studio di fattibilità sulla produzione di energia elettrica da fotovoltaico per ogni utenza. In base al valore teorico di $kWh_{el}$ prodotti si può valutare se l'utenza in questione può essere più o meno adatta ad una delle tipologie di SST-B viste nel capitolo 3.
Le sottostazioni presentate nel capitolo 3, portano notevoli vantaggi sia per ridurre i costi dell'utente, sia per motivi ambientali come la riduzione di $CO_2$ dovuta alla produzione della potenza termica in rete. Bisognerebbe capire se un eventuale integrazione massiccia delle SST-B presentate, può portare problemi al bilanciamento della rete o al rendimento delle centrali di produzione. Di seguito per singola sottostazione, viene presentata una riflessione qualitativa dell'interazione tra SST-B e rete.

### 3.5.1 Interazione tra rete e SST-B con preriscaldo

Per quanto riguarda la SST-B con preriscaldo, essa non dovrebbe portare conseguenze negative sul funzionamento della rete. Attraverso l'utilizzo di una PdC per preriscaldare il fluido termovettore da fornire all'edificio, si va ad abbassare la richiesta termica dell'utenza. Di conseguenza estendendo l'installazione su più larga scala di tale SST-B lungo la rete, quest'ultima si troverebbe una richiesta di energia diminuita, che potrebbe permettere un'estensione della rete stessa.

### 3.5.2 Interazione tra rete e SST-B con immissione ad intermittenza

Per quanto riguarda la SST-B con immissione ad intermittenza il ragionamento da effettuare è diverso. In questo caso la richiesta termica diminuisce, in virtù del fatto

che l'utenza per differenti finestre temporali viene alimentata dall'accumulo a servizio della PdC.
La *tabella n.9* mostra oltre al dato di rapporto di immissione, anche il rapporto di autoproduzione, nonché la quantificazione di quanta energia la PdC deve fornire all'utenza rispetto alla richiesta totale. β, di conseguenza, rappresenta la diminuzione percentuale della richiesta dell'utenza nei confronti della rete. Come si può notare dalla *tabella n.9,* in tutti i casi presi in considerazione si hanno valori di abbattimento della richiesta termica. In particolare, per la configurazione scelta, ovvero con accumulo da 2000L e PdC da 108 kW, oltre ad ottenere una γ di circa il 60%, si ottiene anche una diminuzione della potenza spesa dalla rete di circa il 40%.

*Tabella 9: Risultati SST-B con immissione tramite accumulo*

| | ACC=1000 L | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| **kWh/d** | **240,00** | **1035,00** | **-** | **-** | **-** |
| **γ** | **0,13** | **0,57** | **-** | **-** | **-** |
| **β** | **0,21** | **0,36** | **-** | **-** | **-** |

| | ACC=1500 L | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| **kWh/d** | **240,00** | **1026,00** | **1890,00** | **-** | **-** |
| **γ** | **0,13** | **0,57** | **1,05** | **-** | **-** |
| **β** | **0,21** | **0,37** | **0,41** | **-** | **-** |

| | ACC=2000 L | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| **kWh/d** | **213,00** | **1080,00** | **2100,00** | **3192,00** | **-** |
| **γ** | **0,12** | **0,60** | **1,16** | **1,77** | **-** |
| **β** | **0,23** | **0,39** | **0,45** | **0,50** | **-** |

L'immissione sul ritorno della rete, da un lato agevola l'utente sull'abbattimento dei costi, dall'altro però, considerando un'installazione in massa di tale SST-B, andrebbe ad innalzare la temperatura del ritorno della rete con conseguente abbassamento del rendimento dell'impianto in centrale. Questo effetto indesiderato, può essere eliminato attraverso l'introduzione di un ulteriore sottostazione che utilizzando il ritorno come fonte da cui prelevare energia, raffredda questo ramo della rete in modo da bilanciare il riscaldamento dovuto alla SST-B con intermittenza.

### 3.5.3 Descrizione SST-R di supporto per bilanciamento rete

La SST-R è un modello di sottostazione tramite il quale, l'utenza preleva calore dal ritorno in modo da utilizzare il livello termico ancora sfruttabile. Per introdurre la seguente configurazione bisogna distinguere le tipologie di terminali d'impianto delle

utenze. In particolare, per utenze con terminali a bassa temperatura, quali pavimenti e soffitti radianti (temperatura di funzionamento pari a 45°C), si può pensare all'introduzione di una sottostazione tradizionale con prelievo e immissione lungo il solo ritorno. Lo schema riportato in *figura n.23.*, mostra il layout di tale configurazione.

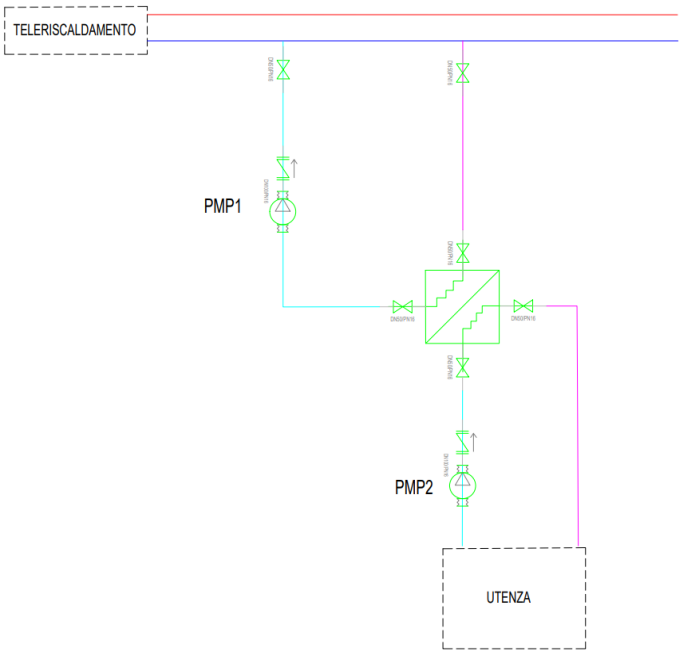


*Figura 23: SST-R per utenze con terminali a bassa temperatura*

Per utenze con terminali classici, quali radiatori e convettori, il solo livello di temperatura del ritorno della rete potrebbe non bastare per il corretto riscaldamento degli ambienti. Di conseguenza si è pensato ad una integrazione di una PdC aria/acqua ad alta temperatura al fine di ottenere una temperatura costante e pari a 70°C in mandata ai terminali d'impianto. Come mostrato nello schema in *figura n.24*, in questa ulteriore configurazione, la sottostazione preleva calore dalla rete al fine di alimentare un accumulo. Quest'ultimo raggiungendo un valore prefissato di temperatura, a sua volta, fornisce calore alla pompa di calore, la quale innalza il livello termico del fluido termovettore portandolo alla temperatura desiderata. Per quanto riguarda il controllo della temperatura di mandata dei terminali, si può pensare di posizionare una sonda di temperatura in mandata all'utenza che stabilisce il livello di portata da far circolare nella PdC, tramite una valvola con servosterzo posizionata all'uscita dell'accumulo. La problematica che potrebbe venir fuori da tale modello riguarda l'inerzia dello stoccaggio e i relativi tempi di carica e scarica. Con un accumulo, opportunamente progettato, avente un tempo di carica minore al tempo di scarica, la sottostazione funziona correttamente. In casi in cui, o per problemi di ingombro o per problemi relativi alla gestione delle portate, non si ha una gestione ottima dei tempi di carica e scarica, si può pensare di utilizzare dei bypass. In particolare, tramite i bypass passanti per le valvole $V_{bp1}$ e $V_{bp2}$, si può isolare l'accumulo, mettendo in comunicazione direttamente scambiatore e PdC. Questo può essere utile nei casi in cui si ha un picco

di richiesta molto elevato tale per cui con l'accumulo potrebbe lasciare scoperta l'utenza e la relativa PdC.

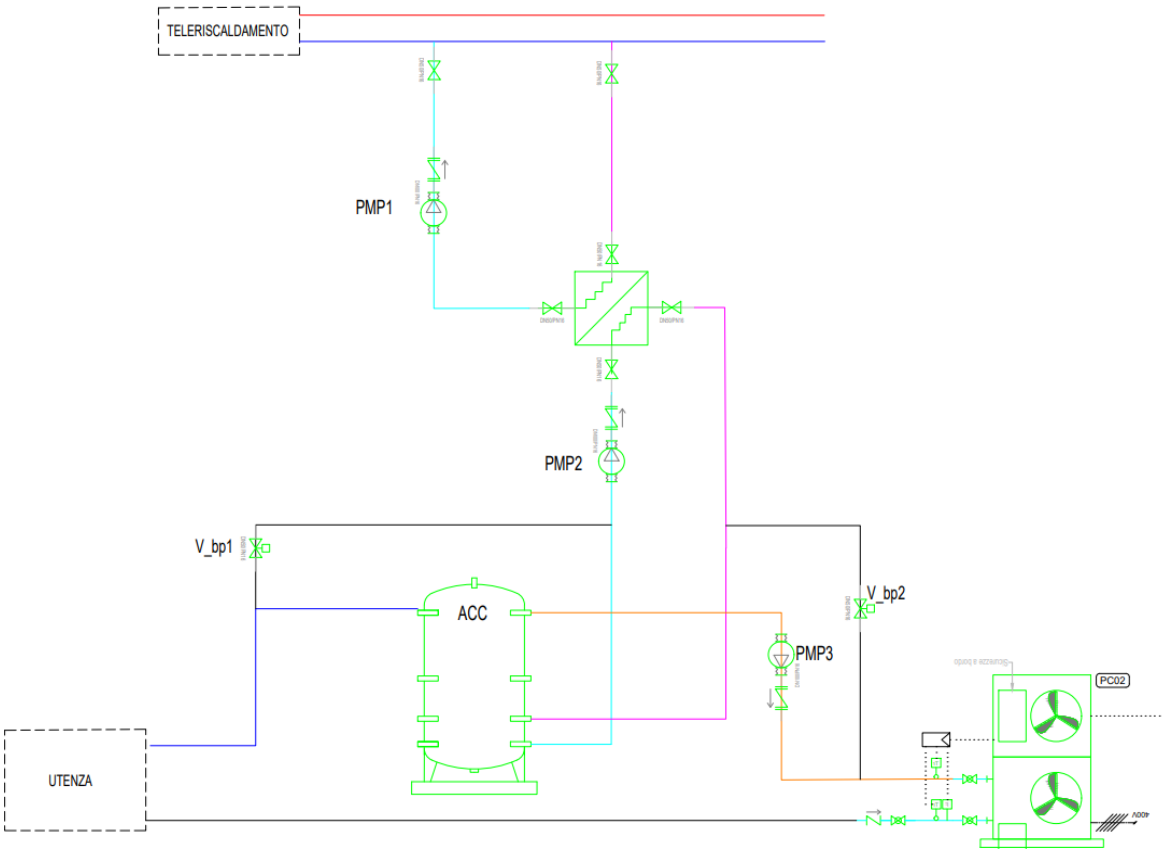


*Figura 24: SST-R per utenze ad alta temperatura*

# 4. Introduzione all'analisi con reti a 90°C

## 4.2 Analisi installazione pannelli fotovoltaici

Per arrivare ad un dato effettivo di rapporto di immissione della SST-B, come già anticipato, bisogna effettuare uno studio di fattibilità della produzione degli impianti fotovoltaici per l'alimentazione delle PdC. Poiché quest'analisi è legata alle superfici di ingombro non ombreggiate a disposizione del singolo edificio, si dovrebbe effettuare un clustering sulle caratteristiche fisiche dell'edificio, in modo da ottenere una classificazione di strutture aventi stesse caratteristiche. Ottenendo una classificazione degli edifici allacciati alla rete, per ognuno di essi si effettua un'analisi di fattibilità cercando di massimizzare la produzione di energia elettrica. Ottenendo così una classificazione degli edifici in base alla loro produzione di energia elettrica, si può capire se l'utenza in questione è più adatta per una delle SST-B preposte, piuttosto che un'altra. Inoltre, tramite tale analisi, è possibile ricavare un'indicazione sul bilancio di energia elettrica tra produzione del fotovoltaico e assorbimento della PdC.

### 4.2.1 Modello di calcolo per la produzione di energia elettrica

Per poter calcolare una quota di energia elettrica effettivamente prodotta, in questo capitolo si decide, la superficie di ingombro a disposizione per poter posizionare i pannelli. Per via del fatto che i dati presi in considerazione in questo studio, sono frutto di una media del fabbisogno di una serie di edifici presenti lungo un ramo del teleriscaldamento, bisogna effettuare una stima della superficie mediamente disponibile. In virtù di ciò viene effettuato il calcolo per una superficie di 100 $m^2$.
Questo dato viene fuori ipotizzando di avere a disposizione il tetto dell'edificio come superficie d'appoggio.
A questo punto dell'analisi, le modalità di utilizzo della fonte energetica possono essere differenti. In particolare, gli scenari possibili sono i seguenti:

- *Utilizzo stand-alone*: ovvero i pannelli fotovoltaici sono collegati a delle batterie, che fungendo da stoccaggio, forniscono energia elettrica nel momento del bisogno alla PdC. In questo modo, si riesce a sfruttare l'energia elettrica prodotta giornalmente dai FV. Logicamente, tramite queste modalità, è possibile sfruttare l'energia elettrica prodotta solo durante il periodo di riscaldamento, in cui la producibilità è minimizzata dal poco apporto solare a disposizione. Nel periodo primaverile-estivo, l'energia prodotta potrebbe essere utilizzata per soddisfare gli altri fabbisogni energetici presenti in un condominio, ma in questo modo la produzione di energia elettrica non verrebbe ottimizzata in funzione del teleriscaldamento.

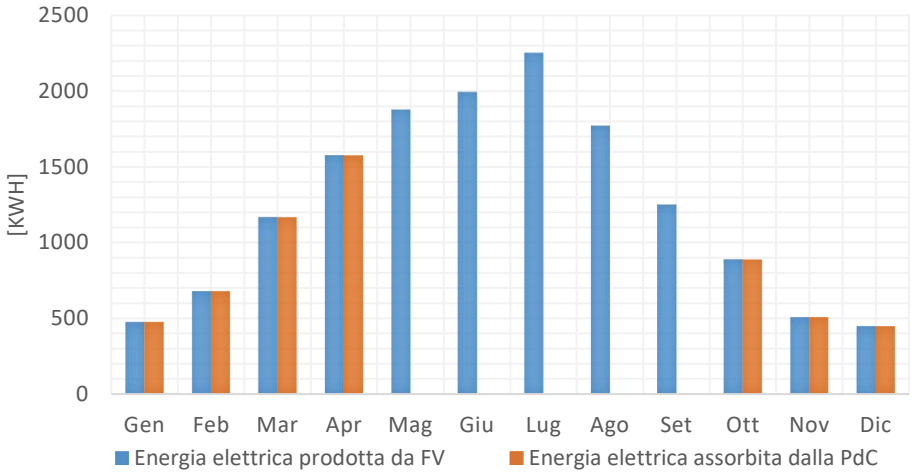


*Figura 25: Confronto tra Energia elettrica consumata dalla PdC e prodotta da FV tramite utilizzo di batterie*

- *Integrazione con la rete elettrica*: un'altra modalità di utilizzo potrebbe essere quella di integrare i pannelli fotovoltaici con la rete elettrica. In questo modo l'apporto di energia elettrica ottenuto potrebbe essere ceduto interamente alla rete elettrica durante tutto l'anno, in modo da evitare l'utilizzo di batterie di stoccaggio. Tramite un contatore di energia elettrica si potrebbe tenere traccia l'energia elettrica totale immessa in rete durante tutto l'anno, in modo che la PdC, possa assorbire una potenza elettrica tale da consumare l'intera energia elettrica prodotta nel solo periodo di riscaldamento. Lo svantaggio di questo metodo è che si è dipendenti dalla rete elettrica, poiché la PdC viene alimentata da quest'ultima. Il grafico in *figura n.26* mostra in modo qualitativo il concetto espresso, l'area blu rappresenta l'energia elettrica prodotta e ceduta alla rete elettrica, mentre l'area arancio rappresenta l'energia elettrica assorbita dalla PdC nei soli mesi di riscaldamento. Le aree sono della stessa dimensione, sono semplicemente traslate nel tempo. Logicamente, bisognerebbe differenziare l'assorbimento elettrico in base al fabbisogno termico lungo il periodo di riscaldamento, in modo da ottimizzare la produzione-consumo.

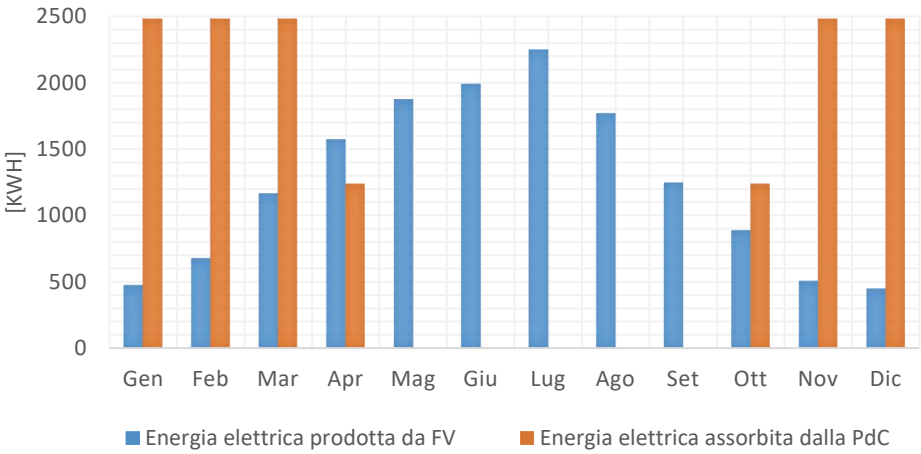


*Figura 26 : Confronto tra Energia elettrica consumata dalla PdC e prodotta da FV tramite integrazione della rete elettrica*

Successivamente, vengono prese in considerazione entrambi questi scenari per i due impianti visti nei capitoli precedenti.
La modalità di calcolo adottata per ottenere un risultato di energia elettrica prodotta annua è la seguente. Da dati statistici (link nei riferimenti) riferiti al comune di Torino, si ottiene un risultato di kWh,el/d. In particolare, partendo dal vincolo della superficie potenzialmente occupabile da solare dell'edificio in questione si ottengono i risultati mostrati in tabella n.1

*Tabella 10*

| | | |
|---|---|---|
| S | [m2] | 100 |
| S_spec | m2/kWp | 8 |
| Prod | [kWh/kWp] | 1200 |
| P_maxFV | [kWp] | 12,5 |
| En,el_Fv | [kWhel/y] | 15000 |
| **En,el_ass$^{A}$** | **[kWhel/d]** | **41,10** |
| **En,el_ass$^{B}$** | **[kWhel/d]** | **83,33** |

- S: *superficie dell'immobile potenzialmente occupabile da pannelli solari*
- S_spec : *m2 necessari ad avere 1 kWp a Torino*
- Prod: *quantità di energia elettrica prodotta annua per kWp a Torino*
- P_maxFV: *Potenza di picco installabile con una superficie (S) a disposizione*
- En,el_Fv: *Produzione media annua di energia elettrica*
- En,el_assA**:** *Produzione media giornaliera di energia elettrica in modalità stand-alone*
- En,el_assB**:** *Produzione media giornaliera di energia elettrica con l'ausilio della rete*

I risultati ottenuti, si intendono come una stima, per effettuare l'analisi di sensitività che segue. In particolare, si sta stimando una produzione dei pannelli fotovoltaici costante lungo tutti i mesi dell'anno, cosa assolutamente non esatta, come mostrato nei grafici in *figura n.25*. Nei capitoli successi, questo argomento verrà ripreso in modo da poter definire una producibilità maggiore, e quanto più prossima alla realtà.

## 4.3 Studio di nuovi scenari su reti a 90°

Data la fattibilità, tramite azioni di retrofit sui terminali d'impianto delle utenze, di poter esercire potenza termica in rete tramite un fluido termovettore a 90°C, si può pensare di analizzare un'integrazione delle SST-B su tale rete. Questo accoppiamento potrebbe risultare molto vantaggioso ai fini di uno scambio termico bidirezionale. Data la volontà di introdurre produzione da RES nella rete, e visto che attualmente non vi sono in mercato tecnologie di piccola taglia che da fonti rinnovabili producano una potenza termica con un livello di temperatura superiore ai 90°C, risulta impossibile effettuare un'immissione sulla mandata nella rete attuale. Di conseguenza,

attraverso l'abbassamento delle temperature di mandata e ritorno della rete, posso entrare in gioco differenti scenari di prelievo ed immissione

### 4.3.1 Manipolazione dei dati di monitoraggio delle Sottostazioni

Prima di passare all'analisi di sottostazioni con reti a 90°C, la pulizia dei dati ricevuti è fondamentale per ottenere informazioni affidabili sul consumo di energia e la temperatura nelle diverse aree servite dalla rete di teleriscaldamento. In questo paragrafo, viene esaminato uno script MATLAB che illustra il processo di pulizia dei dati delle sottostazioni nel comune di Torino. Nel primo passo dello script, vengono caricati i dati delle sottostazioni da file usando la funzione `load`. Questi dati includono la potenza (PHI), la temperatura (T1 e T2) e le relative serie temporali. Viene inizializzato un set di variabili per contenere i dati puliti. Queste variabili includono `phi_clean` per la potenza, `t1_clean` per la temperatura T1 e `t2_clean` per la temperatura T2. Inoltre, vengono inizializzati vettori per le medie delle serie temporali, `phi_avarage`, `t1_avarage`, e `t2_avarage`.
Per avere delle serie temporali rappresentative di tutti il ramo del teleriscaldamento analizzato, viene eseguita una media dei valori di ogni riga dei dati originali. In questo modo, si otterrà un vettore che conterrà le medie dei dati di ciascuna sottostazione. I valori NaN (Not-a-Number) e gli zeri vengono rimossi prima di calcolare la media. Analogamente alla potenza, anche per le temperature (T1 e T2), viene eseguito lo stesso processo. Anche qui, vengono rimossi i valori NaN e gli zeri prima di calcolare le medie. Va notato che il processo di pulizia delle temperature è suddiviso in due parti, ciascuna delle quali calcola le medie per una delle temperature.
Poiché nelle serie storiche analizzate, vi è la presenza di molti outliers puntuali, viene utilizzato il metodo Z-score per identificare quest'ultimi all'interno dei dati come mostrato in figura n.27. Si calcolano la media e la deviazione standard delle serie temporali pulite. Gli outlier sono individuati quando la deviazione standard tra la media e i dati supera una soglia specificata (`soglia_zscore`). Gli outlier identificati vengono sostituiti con valori interpolati. In questo modo, si ottengono dati puliti e coerenti.
Infine, sui 10 anni di monitoraggio forniti, vengono estratti solo i dati di interesse relativi al periodo più critico, ovvero il giorno in cui viene registrato il maggior picco di potenza assorbita.
Una parte essenziale del processo è la normalizzazione delle temperature. Questo passo è cruciale poiché permette di ottenere le temperature coerenti con una rete di teleriscaldamento di quarta generazione. Le temperature vengono ridimensionate in modo che abbiano valori compresi tra 0 e 90 gradi per "T1" e tra 0 e 50 gradi per "T2". Questo è importante per garantire che le temperature abbiano lo stesso peso nei calcoli successivi, soprattutto per la definizione della nuova portata massica "G".

```
% Calcola la media e la deviazione standard dei dati
media_phi = mean(phi_avarage);
media_T1 = mean(t1_avarage);
media_T2 = mean(t2_avarage);
dev_std_phi = std(phi_avarage);
dev_std_T1 = std(t1_avarage);
dev_std_T2 = std(t2_avarage);
% Imposta la soglia per il metodo Z-score (ad esempio, 2 o 3 deviazioni standard)
soglia_zscore = 4;
% Identifica gli outlier
outliers_phi = abs((phi_avarage - media_phi) / dev_std_phi) > soglia_zscore;
outliers_T1 = abs((t1_avarage - media_T1) / dev_std_T1) > soglia_zscore;
outliers_T2 = abs((t2_avarage - media_T2) / dev_std_T2) > soglia_zscore;
% Sostituisci gli outlier con valori interpolati
PHI = phi_avarage;
T1 = t1_avarage;
T2 = t2_avarage;
PHI(outliers_phi) = interp1(find(~outliers_phi),
    phi_avarage(~outliers_phi), find(outliers_phi), 'linear');
T1(outliers_T1) = interp1(find(~outliers_T1),
    phi_avarage(~outliers_T1), find(outliers_T1), 'linear');
T2(outliers_T2) = interp1(find(~outliers_T2),
    phi_avarage(~outliers_T2), find(outliers_T2), 'linear');
% Visualizza i risultati
fprintf('Numero di outlier sostituiti: %d\n', sum(outliers_phi));
fprintf('Numero di outlier sostituiti: %d\n', sum(outliers_T1));
fprintf('Numero di outlier sostituiti: %d\n', sum(outliers_T2));
```

*Figura 27: script per pulizia dei dati*

```
%normalizzo sia T1 che T2
T1 = zeros(size(t1, 1), 1);  % Inizializzo un vettore
t1_max = max(t1);

    for i = 1:size(t1, 1)
        T1 = ((t1*90)/t1_max);
    end

T2 = zeros(size(t2, 1), 1);  % Inizializzo un vettore
t2_max = max(t2);

    for i = 1:size(t2, 1)
        T2 = ((t2*50)/t2_max);
    end

G = zeros(size(phi));
% Calcola la portata massica utilizzando un ciclo for
    for i = 1:length(phi)
        G(i) = ((phi(i))/((T1(i)-T2(i))*4.187*1000));
    end
```

*Figura 28: normalizzazione temperatura e calcolo nuova portata*

La grandezza "G" è calcolata utilizzando la formula specificata nel codice in figura n.28. Si tratta essenzialmente di un rapporto tra la potenza (phi) e la differenza tra le temperature normalizzate (T1 e T2), considerando anche la conversione da W a kW e il calore specifico cp. Le *figura n.29* e *n.30*, vengono rappresentate rispettivamente la T1 e la T2 pre e post normalizzazione, mentre la figura *n.31* rappresenta la potenza termica estratta, e infine la *figura n.32* rappresenta la curva della portata massica calcolata attraverso i dati considerati in precedenza.

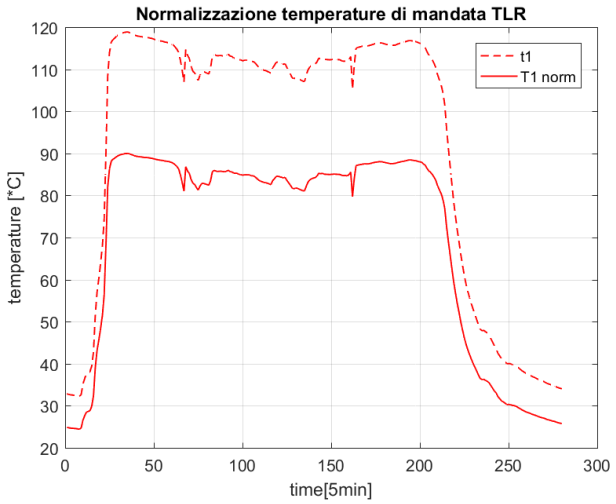


*Figura 29: Temperatura di mandata del TLR normalizzata*

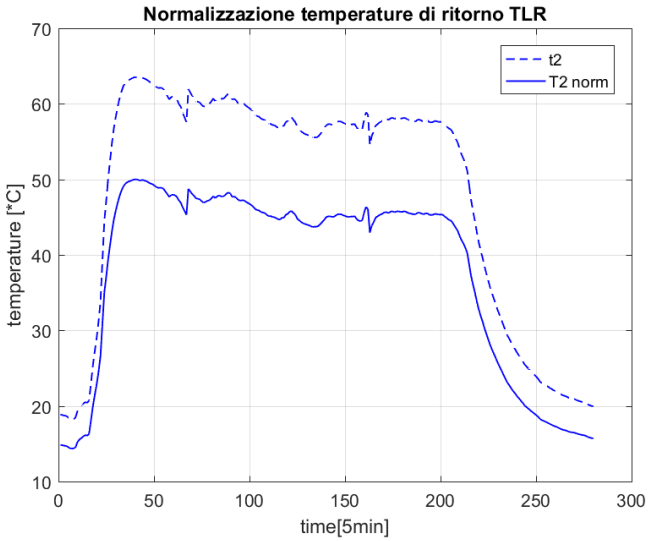


*Figura 30: Temperatura di ritorno del TLR normalizzata*

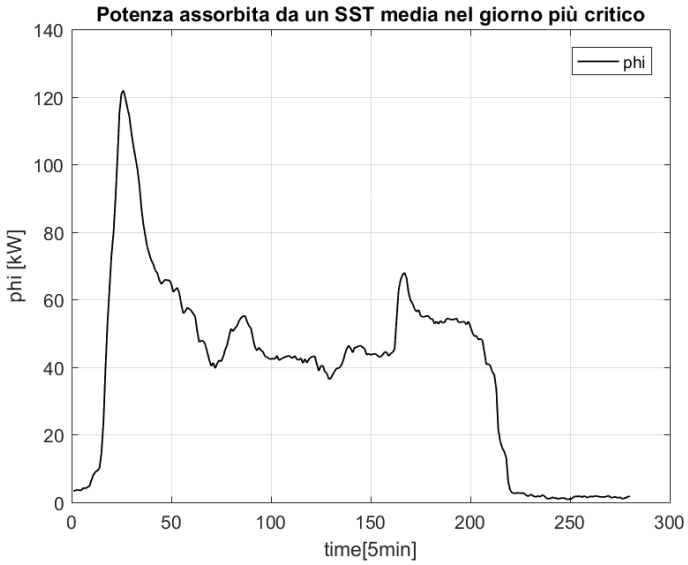


*Figura 31: Richiesta termica normalizzata rappresentativa del ramo 419 nel giorno più gravoso*

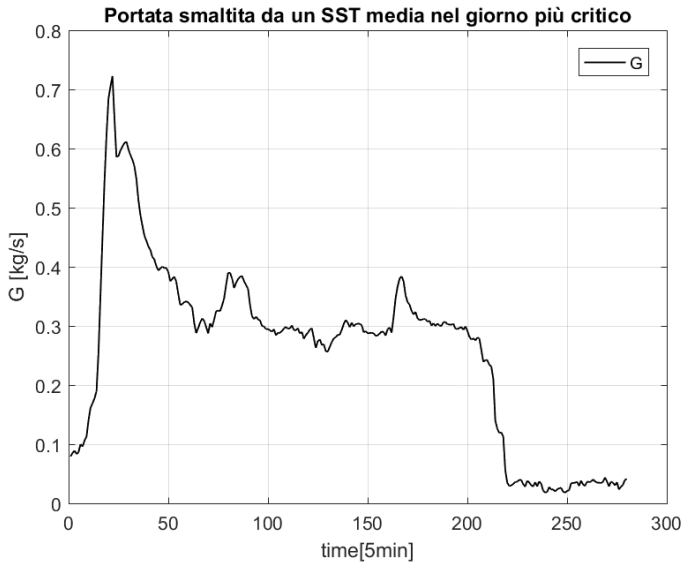


*Figura 32: Portata massica del primario normalizzata rappresentativa del ramo 419 nel giorno più gravoso*

# 4.4. Descrizione degli schemi di impianto scelti

Per l'analisi che segue, viene abbandonata la possibilità di immettere calore in rete tramite il condotto di ritorno. Questa scelta è dovuta al fatto che con temperature in mandata nell'intorno dei 90°C, la convenienza di scaldare il ritorno viene meno. Evitando di immettere calore nel ritorno, si evitano riduzioni del rendimento del generatore in centrale.
A partire dallo studio approfondito delle modalità di immissione in rete viste nei capitoli 2 e 3, si sceglie di effettuare un'analisi di sensitività su due layout di impianto, descritti come segue.

- PRIM: Prelievo nel ritorno con immissione in mandata
- PMIM: Prelievo in mandata con immissione in mandata

Nei paragrafi successivi vengono descritte le logiche che portano alla definizione di tali layout d'impianto.

## 4.4.1 Descrizione pompa di calore scelta

Attualmente il mercato delle pompe di calore vede un'ampia gamma di prodotti utilizzati per il riscaldamento a bassa temperatura (pannelli radianti). Si ottengono ottimi valori di COP, per questo tipo di impiego, più complesso risulta un impiego per ottenere un fluido ad alta temperatura. Tale studio è rivolto alla ricerca di un sistema efficiente di immissione di energia termica nella rete di riscaldamento. Dato che attualmente come visto nei capitoli precedenti, si ha a disposizione una rete di più vecchia generazione, le analisi che seguono risultano del tutto sperimentali, con la speranza che la ricerca e l'evoluzione portino a compimento la fattibilità dello studio

proposto. Per non dare un taglio poco concreto, si è pensato di proseguire l'analisi, prendendo in considerazione, una pompa di calore attualmente in commercio, utilizzata maggiormente per impianti ACS. Quest'ultima è in grado di riscaldare e produrre acqua calda sino a 90° C in presenza di una temperatura esterna di -25° C. Attualmente, i maggiori produttori che hanno sul mercato PdC che utilizzano come gas refrigerante la CO2, sono DENSO e Mitsubishi. Per quantità di dati tecnici forniti, viene presa in considerazione, il modello Q-ton della Mitsubishi, la quale propone unità da 30 kWth con un massimo di 6 unità combinabili.

### 4.4.2 Layout PMIM

Tale layout viene illustrato in figura n.n. Esso viene così progettato a partire dalla necessità di minimizzare l'assorbimento della potenza elettrica della pompa 'PMP1'. Come visto anche nei paragrafi precedenti, la differenza di pressione tra mandata e ritorno del TLR, è dipendente dalla localizzazione dell'utenza rispetto alla rete stessa. Per la rete attuale tale Δp può arrivare ad un massimo di 4 bar (utenze vicine al baricentro di immissione), dato non trascurabile per il bilancio energetico della SST. Bisogna precisare che con reti che eserciscono potenza termica a temperature superiore i 100 °C i livelli di pressione elevati sono necessari al fine di mantenere il fluido termovettore nella fase liquida. Per reti di nuova generazione, la temperatura di mandata essendo inferiore alla temperatura di ebollizione è possibile ridurre i livelli di pressione. Di conseguenza, il Δp che vede la SST è probabilmente inferiore rispetto l'attuale salto di pressione. Bensì per garantire il corretto defluire dell'acqua calda in tubazioni che hanno lunghezza dell'ordine dei km, bisogna garantire un Δp sicuramente non trascurabile.
Per via di tutte queste considerazioni, la PMIM risulta essere una SST-B ottima per essere installata nelle utenze localizzate nei pressi dei centri di pompaggio. Tale vantaggio risiede anche nel fatto che per come viene strutturata la SST-B, non si hanno grosse variazioni della portata nei due condotti del TLR. Ovvero prelevando e immettendo portata esclusivamente lungo la mandata si evita di togliere portata da tale condotto.

### 4.4.3 Layout PRIM

Tale layout viene illustrato in figura n.n. In questo impianto si può notare la presenza di un solo scambiatore di calore e di uno stoccaggio che permette la contemporanea vendita di calore alla rete termica e alimentazione dell'utenza. Tale schema impiantistico è stato introdotto già nel paragrafo 3.4.2, ma in questo caso invece di avere un condotto di immissione collegato con il ristorno del TLR, si ha un collegamento con la mandata. Le restanti caratteristiche dell'impianto risultano invariate rispetto al caso già descritto.

### 4.4.4 Differenza tra i due layout scelti

I due schemi d'impianto, per via delle differenti modalità operative che li caratterizzano, risultano essere molto differenti anche per i componenti utilizzati. La differenza più grande risiede nel fatto che nel PMIM si hanno due scambiatori di calore, mentre nel PRIM si ha un solo scambiatore accoppiato ad uno stoccaggio. Bisogna di conseguenza soffermarsi su questa differenza impiantistica per coglierne vantaggi e svantaggi in entrambi i layout visti.

**Utilizzo di uno stoccaggio (PRIM)**

| Vantaggi | Svantaggi |
|---|---|
| Efficienza energetica:<br>*Uno dei principali vantaggi di avere uno stoccaggio in un punto di immissione del teleriscaldamento è l'efficienza energetica. Il sistema consente di immagazzinare l'energia termica quando si ha disponibilità di energia elettrica da* FV*.* | Costi iniziali elevati:<br>*L'installazione di uno stoccaggio bidirezionale in una sottostazione di teleriscaldamento può comportare costi iniziali significativi. Questi costi possono includere l'acquisto dei sistemi di stoccaggio ma soprattutto l'adeguamento fisico del locale predisposto all'impianto di riscaldamento.* |
| Riduzione dei picchi di carico:<br>*Lo stoccaggio consente di bilanciare la domanda energetica, riducendo i picchi di carico sulla rete di teleriscaldamento. Ciò può contribuire a evitare sovraffollamenti e garantire una fornitura di calore stabile e affidabile.* | Manutenzione e gestione complessa:<br>*I sistemi di stoccaggio richiedono manutenzione periodica e una gestione attenta per garantire il loro corretto funzionamento. Questo può aumentare i costi operativi e richiedere competenze specializzate.* |
| Riduzione dei costi energetici:<br>*L'uso del sistema di stoccaggio può contribuire a ridurre i costi energetici complessivi, in quanto l'energia può essere acquistata quando i prezzi sono più bassi e utilizzata quando sono più alti. Ciò può portare a risparmi significativi per gli operatori del teleriscaldamento e i consumatori finali.* | Spazio fisico:<br>*L'installazione di apparecchiature di stoccaggio può richiedere spazio fisico aggiuntivo, il che potrebbe essere un vincolo*<br>*per edifici già esistenti o di non nuova costruzione.* |

Flessibilità operativa:
*La presenza di uno stoccaggio bidirezionale offre una maggiore flessibilità operativa, consentendo di adattarsi alle variazioni della domanda e dell'offerta energetica. Questa flessibilità può essere particolarmente importante in situazioni di emergenza o quando si lavora con fonti di energia intermittenti.*

Efficienza del sistema:
*Anche se lo stoccaggio può aumentare l'efficienza complessiva del sistema di teleriscaldamento, ci sono perdite di energia associate all'immagazzinamento termico, che possono ridurre leggermente l'efficienza complessiva.*

## Utilizzo di un secondo scambiatore (PMIM)

**Vantaggi**

Flessibilità nella produzione di calore:
*Un sistema con doppio scambiatore consente una maggiore flessibilità nella produzione di calore. È possibile adattare la capacità del sistema alle variazioni della domanda senza la necessità di uno stoccaggio termico, garantendo che il calore venga prodotto quando serve.*

Maggiore affidabilità:
*La presenza di un doppio scambiatore può aumentare l'affidabilità del sistema. Nel caso in cui si ha un guasto sullo scambiatore di immissione, l'utenza rimane coperta dal teleriscaldamento, grazie al secondo scambiatore.*

Costi iniziali inferiori:
*Rispetto a un sistema di stoccaggio, un sistema con doppio scambiatore può richiedere costi iniziali inferiori. La complessità e i costi associati all'installazione e alla gestione di uno stoccaggio termico possono essere evitati.*

**Svantaggi**

Mancanza di stoccaggio energetico:
*La principale limitazione di una sottostazione senza stoccaggio è la mancanza di capacità di stoccaggio termico. Questo significa che non è possibile accumulare calore in eccesso per utilizzi futuri, il che potrebbe essere un problema in situazioni in cui la produzione di calore e la domanda non sono allineate.*

Limitata gestione della variazione stagionale:
*Un sistema senza stoccaggio termico può essere meno adatto per gestire le variazioni stagionali nella domanda di riscaldamento. Durante i periodi di picco invernale, potrebbe essere necessario dimensionare i generatori di calore in modo più grande per soddisfare la domanda massima.*

Potenziale spreco di energia:
*In assenza di stoccaggio, potrebbe esserci un potenziale spreco di energia se la produzione di calore supera costantemente la domanda. Ciò potrebbe verificarsi in situazioni in cui la capacità di produzione è significativamente maggiore della domanda.*

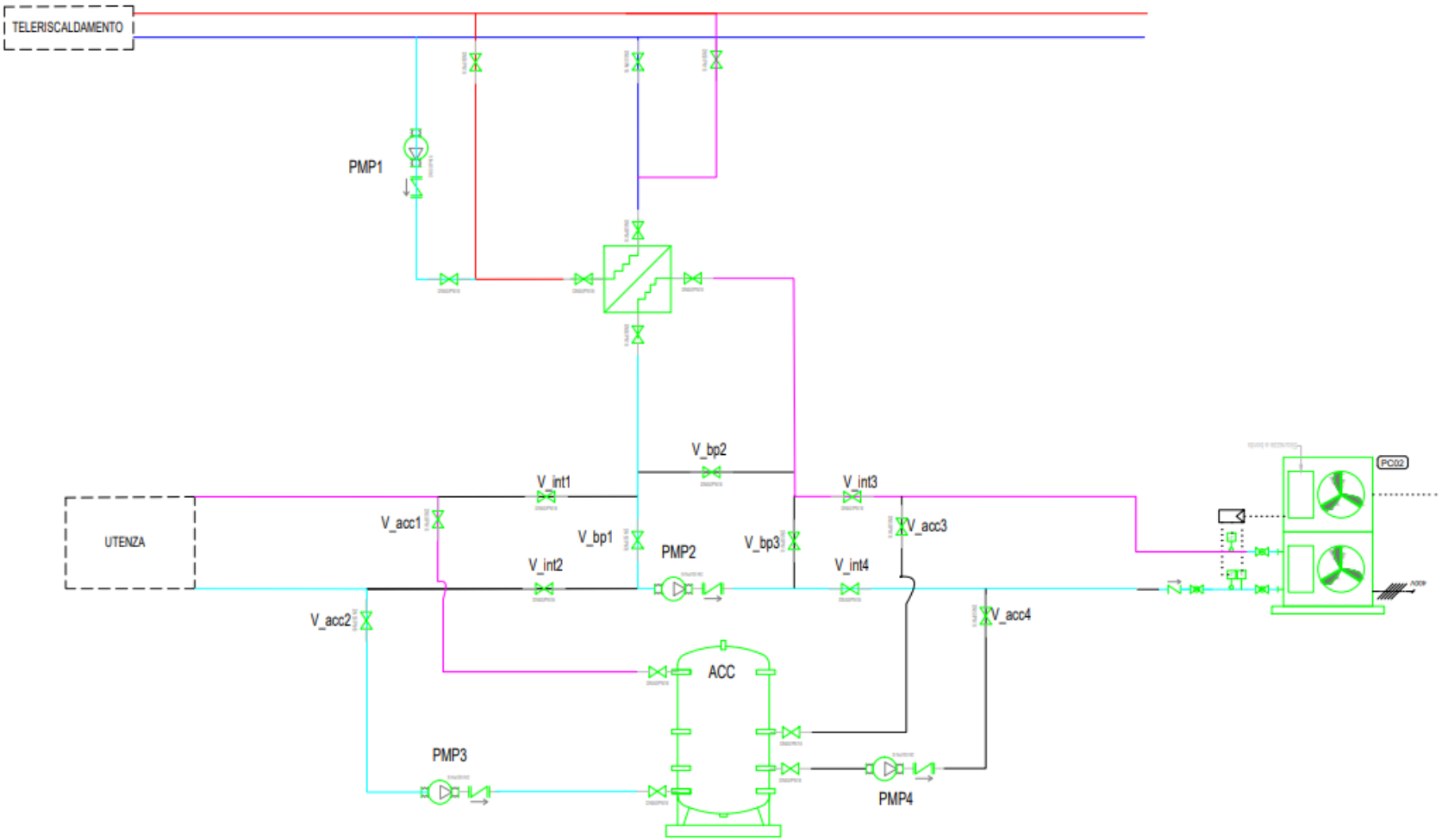


*Figura 33:Layout d'impianto PRIM in analisi*

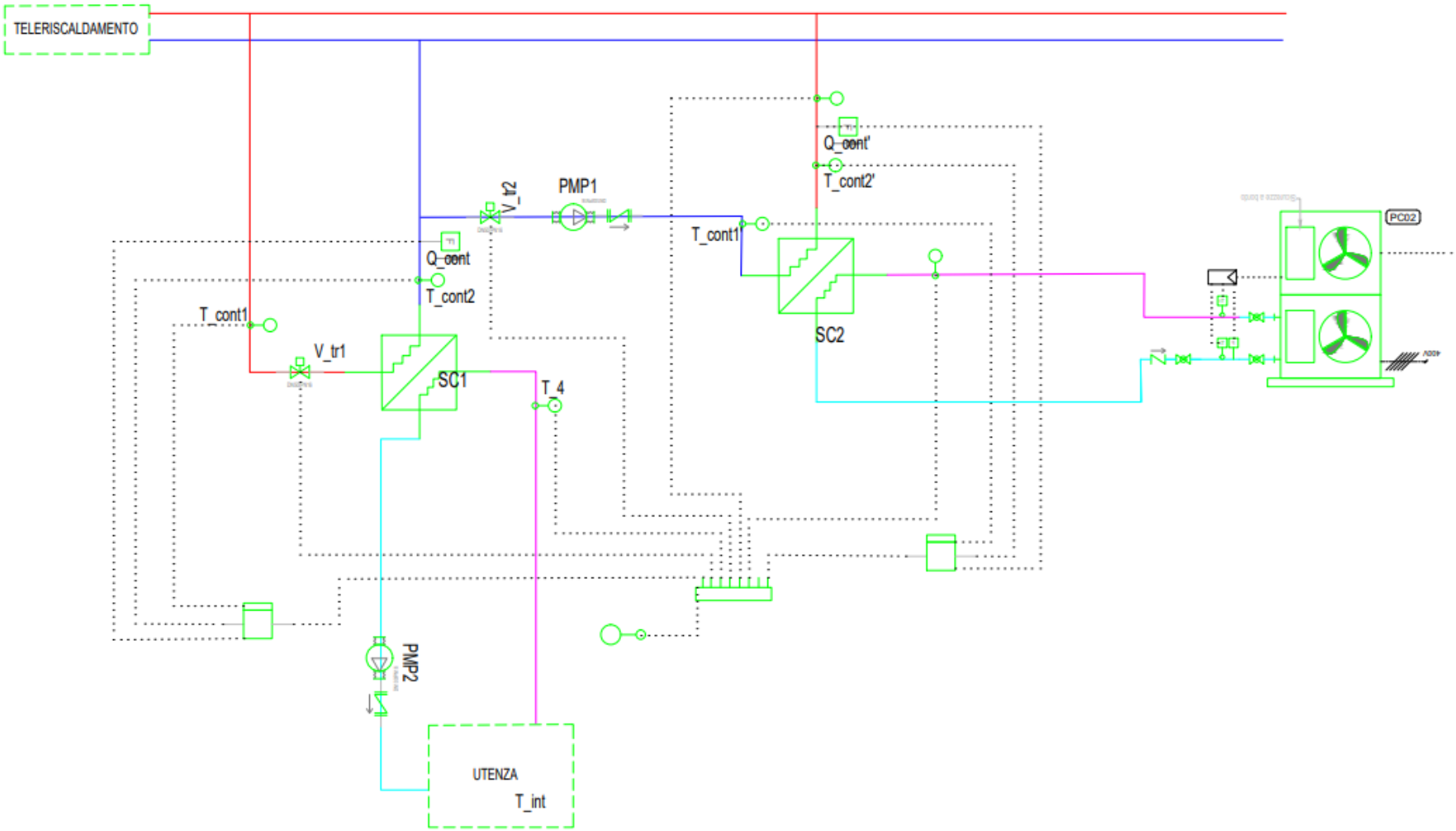


*Figura 34: Layout d'impianto PRIM in analisi*

# 5.Analisi di Sensitività

Adottando il modello di calcolo già presentato nel paragrafo 3.1, attraverso l'analisi che seguono si definisce la migliore taglia della PdC a servizio dei layout d'impianto scelti. Inoltre, tramite gli indicatori α, β e γ, si ottiene un primo confronto tra PRIM e PMIM a livello di quantità in energia immessa in rete.

## 5.1 Analisi scenario PRIM

In questo paragrafo vengono mostrati i risultati ottenuti, per l'impianto PRIM. Bisogna specificare che per definire delle potenze di riferimento, vengono ipotizzate pompe di calore della taglia pari ad una percentuale del picco massimo di richiesta termica dell'utenza in questione. (10%,30%,50%,70%,90%). In tabella n.11 vengono illustrati i dati di input di temperatura del modello. In tabella n.12 invece vengono illustrati i risultati ottenuti dal calcolo delle perdite di pressione del primario della SST-B in questione. Per arrivare ad un risultato di Δp, bisogna effettuare delle ipotesi. Come definito nel prospetto di fianco la tabella, vengono ipotizzate le perdite di pressione concentrate totali di tutti i componenti ausiliari presenti nell'impianto. Le perdite di pressione, invece, dello scambiatore di calore viene definito da scheda tecnica.

*Tabella 11*

| **°C** | | |
|---|---|---|
| **T1*** | **85** | *Temperatura media di immissione in rete* |
| **T2** | ***45*** | *Temperatura media di prelievo in rete* |
| **DT_prim** | **40** | *Differenza di temperatura nel primario* |
| **T3** | **90** | *Temperatura mandata PdC* |
| **T4** | **50** | *Temperatura ritorno PdC/alimentazione utenza* |
| **DT_sec** | **40** | *Differenza di temperatura nel secondario* |

*Tabella 12*

| **Perdite di pressione primario** | | |
|---|---|---|
| Dp/L | mmca/m | 40 |
| L_prim | m | 26 |
| DP_dist | mmca | 1040 |
| DP_dist | Pa | 10400 |
| DP_dist | kPa | 10,4 |
| Dp_sc | kPa | 30 |
| Dp_con | kPa | 15 |
| Dp_tot | kPa | 55,4 |

- Dp/L*: perdite di pressione distribuite per metro*
- L_prim*: Lunghezza condotto primario*
- DP_dist*: perdite di pressione distribuite nel primario*
- Dp_sc*: perdite di pressione concentrate nello scambiatore di calore (dato da scheda tecnica)*
- Dp_con*: perdite di pressione concentrate per valvole e componenti ausiliari (dato ipotizzato)*
- Dp_tot*: perdite di pressioni totali lungo il primario della SST.*

Trovate la perdita di pressione dell'impianto per il solo defluire del flusso, bisogna definire il Δp necessario per definire i consumi energetici di tutti i componenti ausiliari. Per fare ciò, come descritto precedentemente, la pressione dei condotti del TLR è dipendente dalla posizione dell'utenza. L'impianto in questione, in realtà, si presta bene ad una localizzazione di fondo linea, poiché in asseto producer, immettendo potenza in mandata, ne aumenta la portata. Per effettuare un confronto tra PRIM e PMIM solido, viene scelta per entrambi di trattare l'utenza come se fosse nei pressi di un centro di pompaggio, in modo da essere nelle condizioni peggiori a livello di salto di pressione. Nella tabella n.13, vengono mostrate le condizioni operative di pressione nella rete.

*Tabella 13*

| bar | |
|---|---|
| p1* | 14 |
| p2 | 10 |
| P_perd | 0,554 |
| Dp | 4,554 |

- p1***:** *pressione della mandata della rete*
- p2**:** *pressione di ritorno della rete*
- P_perd**:** *perdite di pressione totali lungo il primario della rete*
- Dp**:** *differenza di pressione da vincere per perlevare nel ritorno e immettere in rete*

A partire dai dati visti in tabella precedentemente, per ogni taglia di PdC presa in considerazione, si definisce il massimo tempo di utilizzo dell'assetto prosumer della SST-B. Questo dato (t_utile), è molto importante per un corretto funzionamento della sottostazione. In particolare, visto che l'energia immessa in rete rimane la medesima per le varie taglie di PdC, il tempo di immissione è un indicatore di come viene immessa tale energia in rete. Tempi di utilizzo troppo ridotti potrebbero portare ad un'instabilità del sistema. In tabella n.n, vengono riportati tutti i dati citati in precedenza. Altro dato utile per una comprensione dell'analisi svolta risulta essere il COP*. Come descritto nel prospetto relativo alla tabella n.n, esso risulta essere un COP della SST-B in tutta la sua interezza (PdC,ACC e tutti i relativi ausiliari), ovvero il rapporto tra energia termica immessa in rete ed energia elettrica primaria fornita dal FV. RID_COP, invece rappresenta la percentuale di riduzione del COP della PdC, nel momento in cui viene inglobata in tale impianto. Quest'ultimo è un ottimo indicatore che tiene traccia per via dell'utilizzo di tale SST-B.

*Tabella 14*

| COP | - | 3,5 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Pot_PdC | kW | 12 | 37 | 62 | 86 | 111 |
| eta_scamb | - | 0,9 | | | | |
| Pot_imm | kW | 11,58 | 34,75 | 57,91 | 81,08 | 104,24 |
| G_prim | kg/s | 0,32 | 0,32 | 0,35 | 0,48 | 0,62 |
| Ppmp_prim | kWel | 0,033 | 0,099 | 0,165 | 0,231 | 0,297 |
| G_sec | kg/s | 0,07 | 0,21 | 0,35 | 0,48 | 0,62 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P_SST | [kWel] | 4,02 | 11,05 | 18,08 | 25,12 | 32,15 |
| P_PdC | [kWel] | **3,77** | **10,80** | **17,83** | **24,87** | **31,90** |
| t_utile | [h] | 11,9 | 4,2 | 2,5 | 1,8 | 1,4 |
| COP* | - | 3,08 | 3,22 | 3,25 | 3,26 | 3,27 |
| RID_COP | % | 12,1% | 8,1% | 7,2% | 6,8% | 6,6% |

- **COP:** *COP PdC*
- **Pot_PdC:** *Potenza termica PdC*
- **eta_sc:** *Rendimento scambiatore di calore*
- **Pot_imm:** *Potenza termica immessa in rete*
- **G_prim:** *Portata circolante nel primario*
- **Ppmp_prim:** *Potenza pompa primario (la pompa più energivora)*
- **G_sec:** *Portata circolante nel secondario*
- **P_aus:** *Potenza assorbita dai componenti ausiliari*
- **P_SST:** *Potenza elettrica assorbita dall'intera sottostazione*
- **P_PdC:** *Potenza elettrica assorbita dalla sola PdC*
- **t_utile:** *tempo di funzionamento della PdC in base alla produzione del FV*
- **COP*:** *COP dell'intera SST-B infase di immissione*
- **RID_COP:** *Riduzione percentuale del COP della PdC*

Per definire l'ammontare dell'energia gestista dall'impianto in questione, bisogna studiare il funzionamento dell'ACC. In particolare, dato che lo stoccaggio vede come sua caratteristica principale quella di poter permettere lo switch della SST-B da modalità consumer a modalità producer, risultano importanti i tempi di carica e scarica dello stesso.
Per tale motivo, vi è la necessità di ipotizzare un volume di tale ACC, come mostrato in tabella n.15.

*Tabella 15*

| SCARICA ACC | | |
|---|---|---|
| V_acc | [L] | 2000,00 |
| Q_acc | [kg] | 1994 |
| Gc_sec | [kg/s] | 0,4 |
| T_scarica | [h] | 1,29 |
| T_scarica | [min] | 77 |
| En_charge | [kJ] | 2864917 |
| En_charge | [kWh_th] | 72,0 |

- V_acc: *Volume dell'ACC*
- Q_acc: *Massa contenibile dall'ACC*
- Gc_sec: *portata media del secondario per alimentazione utenza*
- T_scarica: *tempo di scarica dell ACC*
- En_charge: *Energia termica necessaria al caricamento dell'ACC*

I tempi di carica invece, dipendono dalla taglia della PdC, che ne determina la portata in ingresso. In questo caso la temperatura massima dell'ACC corrisponde alla temperatura di funzionamento dei radiatori dell'utenza. I vari tempi sono riportati in tabella n.16. Nella medesima tabella vengono riportati anche il numero di cicli di carica e di scarica che tale ACC riesce ad effettuare a partire dall'energia primaria che ha a disposizione. Bisogna precisare che lo stoccaggio è obbligato a lavorare in fasi, per via del fatto che, per come è definito il layout d'impianto, lo scambiatore deve essere slacciato dalla richiesta dell'utenza.

*Tabella 16*

| CARICA ACC | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | P10 | P30 | P50 | P70 | P90 |
| Pot_PdC | kW | 12 | 37 | 61 | 85 | 110 |
| T_charge | h | 6,2 | 2,1 | 1,2 | 0,9 | 0,7 |
| T_scarica | h | 1,29 | 1,29 | 1,29 | 1,29 | 1,29 |
| T_ciclo | h | 8,01 | 2,67 | 1,60 | 1,14 | 0,89 |
| N_cicli | - | **1,6** | **1,2** | **1,0** | **0,8** | **0,7** |

- **Pot_PdC:** *Taglia di potenza della PdC*
- **T_charge:** *Tempo di carica dell ACC*
- **T_scarica:** *Tempo di scarica dell ACC*
- **T_ciclo:** *Somma del tempo di carica e di scarica dell ACC*
- N_cicli: *Numero di cicli di carica-scarica ammissibili al giorno*

Tramite i tempi di carica e di scarica dell'accumulo si riescono a definire i valori di potenza immessa in rete e di potenza auto-consumata. In tabella n.17, vengono riportati i risultati così ottenuti, attraverso la produzione da FV in modalità stand alone.

*Tabella 17: con uno stoccaggio da 2000L con FV giornaliera*

| Guadagno rete | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Phi PdC | **12kW** | **37 kW** | **61 kW** | **85 kW** | **110 kW** |
| N_cicli | **1,6** | **1,2** | **1,0** | **0,8** | **0,7** |
| P_imm [kWh,th] | **23,76** | **55,51** | **74,36** | **86,83** | **95,70** |
| Producer RATIO | 0,04 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,15 |
| P_autoc [kWh,th] | **114,5** | **89,2** | **71,7** | **59,8** | **51,3** |
| Autocons. RATIO | 0,18 | 0,14 | 0,11 | 0,09 | 0,08 |
| Prosumer RATIO | **0,214** | **0,223** | **0,225** | **0,226** | **0,227** |

## 5.2 Analisi scenario PMIM

In analogia con il precedente scenario, viene riproposto il modello di calcolo per l'impianto PMIM. In tabella n.18, vengono riportati gli input di temperatura utilizzati.

*Tabella 18*

| °C | | |
|---|---|---|
| **T1*** | **85** | *Temperatura di immissione in rete* |
| **T2** | ***45*** | *Temperatura di prelievvo in rete* |
| **DT_prim** | **40** | *Differenza di temperatura nel primario* |
| **T3** | **90** | *Temperatura mandata PdC* |
| **T4** | **50** | *Temperatura ritorno PdC/alimentazione utenza* |
| **DT_sec** | **40** | *Differenza di temperatura nel secondario* |

In tabella n.19, vengono ripotate le perdite di pressione della SST-B. In questo layout impiantistico rispetto al PRIM, aumentano le perdite di pressione concentrate perché in questo schema ci sono due scambiatori. Raddoppia anche il valore ipotizzato di perdite concentrate per gli ausiliari, poiché si ha una geometria più complessa nel primario dello scambiatore.
Le condizioni operative della rete rimangono invariate al caso visto nel paragrafo precedente.

*Tabella 19*

| Perdite di pressione primario | | |
|---|---|---|
| Dp/L | mmca/m | 40 |
| L_prim | m | 26 |
| DP_dist | mmca | 1040 |
| DP_dist | Pa | 10400 |
| DP_dist | kPa | 10,4 |
| Dp_sc | kPa | 60 |
| Dp_con | kPa | 30 |
| Dp_perdite | kPa | 100,4 |

In tabella n.20, sono mostrati i risultati utili per definire la quota energetica immessa in rete. In questo caso si possono notare degli assorbimenti della pompa PMP1, molto inferiori rispetto al PRIM. Ciò è logicamente dovuto al fatto che il salto di pressione è più contenuto nel PMIM data la modalità di immissione. Da notare inoltre che per via della pompa meno energivora, il COP* e RID_COP*, sono più contenuti. Infine, non avendo lo stoccaggio il "t_utile" risulta l'effettivo tempo di immissione in rete.

*Tabella 20*

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| COP | - | 3,5 | | | | |
| Pot_PdC | kW | 12 | 37 | 61 | 85 | 110 |
| eta_scamb | - | 0,9 | | | | |
| G_prim | kg/s | 0,32 | 0,32 | 0,35 | 0,48 | 0,62 |
| Pot_imm | kW | 11,6 | 34,7 | 57,9 | 81,1 | 104,2 |
| G_prim* | kg/s | 0,07 | 0,21 | 0,35 | 0,48 | 0,62 |
| G_prim^ | kg/s | 0,25 | 0,11 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| Ppmp_prim | kWel | 0,027 | 0,045 | 0,026 | 0,036 | 0,047 |
| G_sec* | kg/s | 0,07 | 0,21 | 0,35 | 0,48 | 0,62 |
| P_aus | [kWel] | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| P_SST | [kWel] | **3,76** | **10,75** | **17,69** | **24,67** | **31,65** |
| t_utile | h | 12,0 | 4,2 | 2,5 | 1,8 | 1,4 |
| COP* | - | 3,08 | 3,23 | 3,27 | 3,29 | 3,29 |
| RID_COP | % | 12,0% | 7,6% | 6,5% | 6,1% | 5,9% |

- **COP:** *COP PdC*
- **Pot_PdC:** *Potenza termica PdC*
- **eta_sc:** *Rendimento scambiatore di calore*
- **Pot_imm:** *Potenza termica immessa in rete*
- **G_prim:** *Portata circolante nel primario (portata consumer)*
- **G_prim*:** *Portata di immissione in rete (portata producer)*
- **G_prim^:** *Portata diretta nel ritorno (portata di scarto)*
- **Ppmp_prim:** *Potenza pompa primario (la pompa più energivora)*
- **G_sec:** *Portata circolante nel secondario*
- **P_aus:** *Potenza assorbita dai componenti ausiliari*
- **P_SST:** *Potenza elettrica assorbita dall'intera sottostazione*
- **P_PdC:** *Potenza elettrica assorbita dalla sola PdC*
- **t_utile:** *tempo di funzionamento della PdC in base alla produzione del FV*
- **COP*:** *COP dell'intera SST-B infase di immissione*
- **RID_COP:** *Riduzione percentuale del COP della PdC*

Non avendo una quota energetica di autoconsumo, il prosumer risulta essere pari al producer ratio. In tabella n.21, vengono riportati i risultati così ottenuti, attraverso la produzione da FV in modalità stand alone.

*Tabella 21: produzione energia FV giornaliera*

| **Guadagno rete** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Phi PdC | **12kW** | **37 kW** | **61 kW** | **85 kW** | **110 kW** |
| En_imm [kWh/gg] | 138,50 | 145,40 | 147,18 | 147,78 | 148,11 |
| Prosumer Ratio | **0,214** | **0,225** | **0,227** | **0,228** | **0,229** |

# 5.3 Risultati

## 5.3.1 Risultati PMIM

Come si può notare dal grafico in *figura n.35*, il prosumer ratio assume un andamento logaritmico in funzione delle taglie della PdC, in cui l'incremento maggiore si nota tra le prime due potenze in analisi.

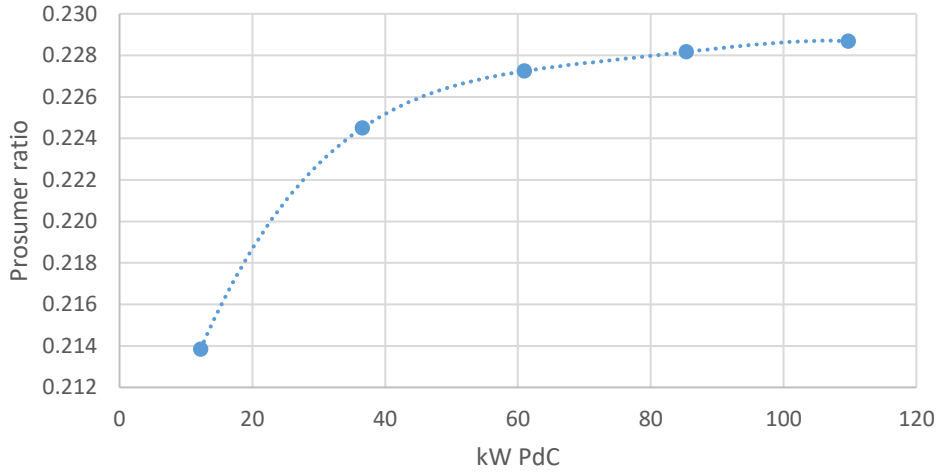


*Figura 35: Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC con 40kWhel di FV*

Il calcolo è stato effettuato con un valore di energia elettrico in ingresso alla PdC medio annuo, ovvero di circa 40kWh$_{el}$. La PdC non avrà mai la stessa energia da sfruttare. Quindi con il seguente grafico vediamo il prosumer ratio per ogni taglia della PdC al variare dell'energia a disposizione

Dal seguente grafico *in figura n.36* si può concludere che, la taglia che ottimizza l'immissione in rete corrisponde alla minima potenza costante al variare dell'energia prodotta dal pannello fotovoltaico. Nel caso in questione corrisponde a 37 kW, ovvero il 30% del picco di richiesta termica

Per poter confermare la tesi appena citata, bisogna verificare che tale comportamento si verifichi anche con curve di carico differenti da quella presa in analisi. Di conseguenza viene riproposta l'analisi per una richiesta termica doppia rispetto a quella sopracitata, sia in picco massimo che in potenza media.

Come si può notare dal grafico in *figura n.37*, la tesi viene confermata. Anche con curve di richiesta termica maggiore, la taglia della pompa di calore che massimizza l'immissione in rete, risulta essere quella che ha una potenza termica di immissione pari al 30 % del picco massimo dell'utenza presa in considerazione.

- CASO 1: 121kW di Picco massimo ($\Phi_{max}$) | Risultato PdC: 37kW$_{th}$ e 30% di $\Phi_{max}$

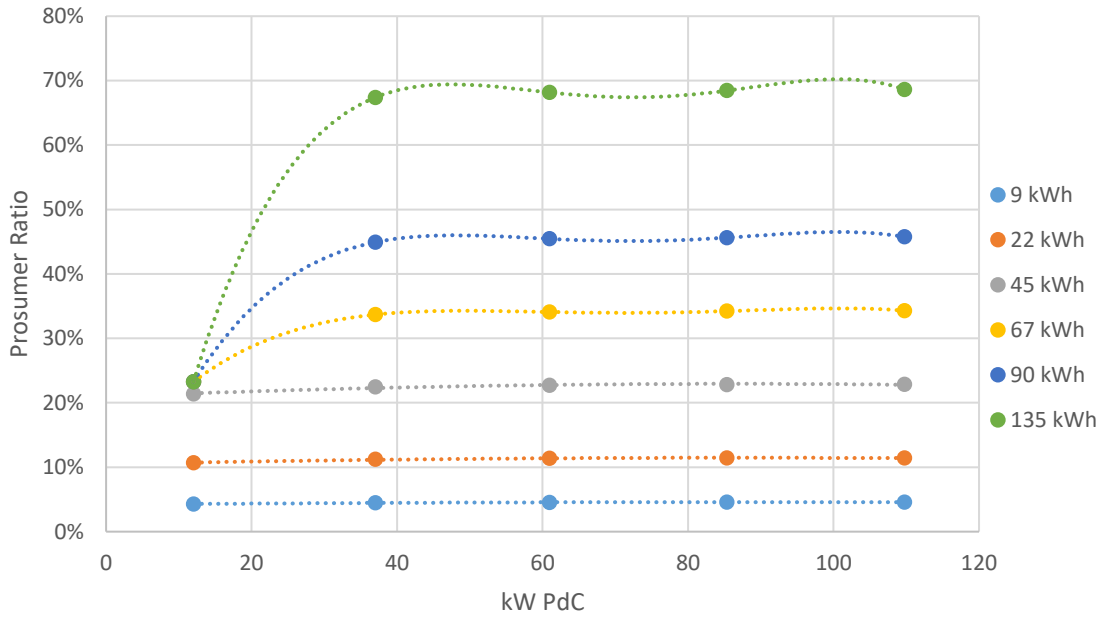


*Figura 36: CASO PMIM_1, Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC al variare dell 'En_el a disposizione*

- CASO 2: 243,8 kW di Picco massimo ($\Phi_{max}$) | Risultato PdC: 73 kW$_{th}$ e 30% di $\Phi_{max}$

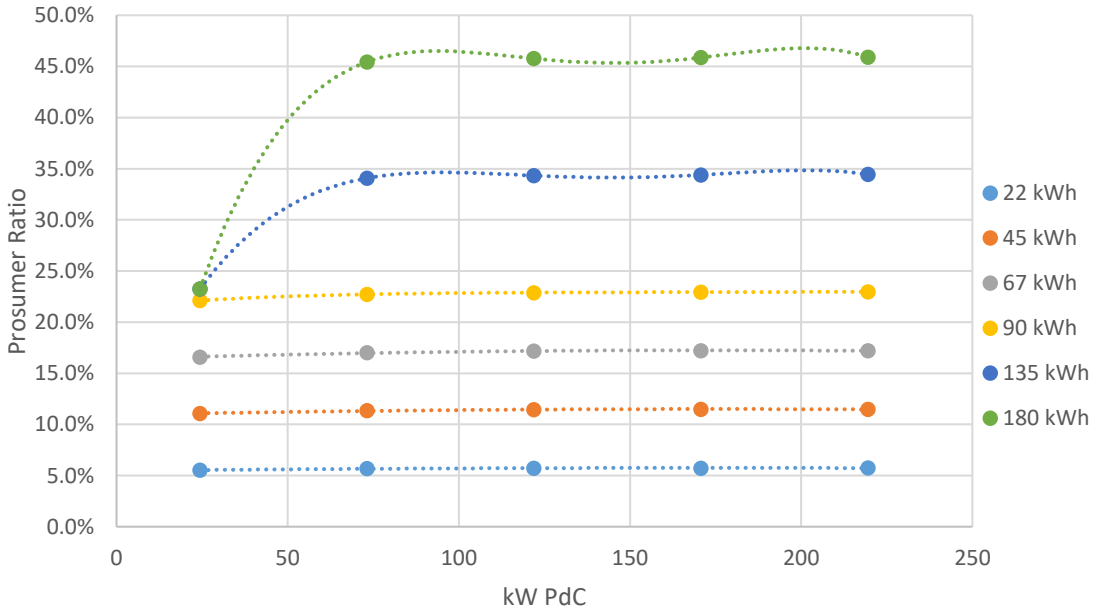


*Figura 37: CASO PMIM_2, Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC al variare dell 'En_el a disposizione*

### 5.3.2 Risultati PRIM

Il prosumer Index è un indicatore che comunica la convenienza di immettere energia in rete oppure di auto-consumarla. Più l'indice tendo allo 0 più conviene auto-consumare l'energia prodotta dalla PdC. Come si può notare dalla tabella n.n, più la potenza è piccola della pompa di calore, più la convenienza di immettere in rete viene meno visto che l'energia primaria per circa 80 % viene consumata. Tale indicatore deve essere interpretato nel seguente modo.

$$Ip = \frac{\beta}{\gamma}$$

- β : *Consumer ratio*
- $\gamma$ : *Producer ratio*
- $Ip$: Prosumer Index

- Ip < 1 la quota di energia primaria viene principalmente sfruttata per l'auto-consumo
- Ip > 1 la quota di energia primaria viene principalmente sfruttata per l'immissione in rete
- Ip = 1 la quota di energia primaria viene sfruttata la 50% per l'auto-consumo e per il restante 50% per l'immissione in rete

La validità di tale impianto si verifica nei quando questo indicatore tende all'unità. In caso contrario bisognerebbe capire se vale la pena realizzare tale impianto per minime quantità di energia di autoconsumo o di produzione. Il concetto di base è se dell'energia primaria manipolata, la maggior parte viene consumata, a questo punto potrebbe essere non conveniente a livello economico creare un'immissione in rete, piuttosto conviene ottimizzare un autoconsumo.
Tenendo fissato il volume dell'ACC, può essere utile capire come varia questo comportamento. Nelle condizioni fissate, si può notare (dal grafico in *figura n.38*) che la potenza che massimizza tale comportamento è corrispondente al 50% del picco massimo di richiesta termica. Questo è dimostrabile dal fatto che per tali potenze della PdC, si ha una velocità di carica dello stoccaggio molto simile alla velocità di scarica dello stesso.

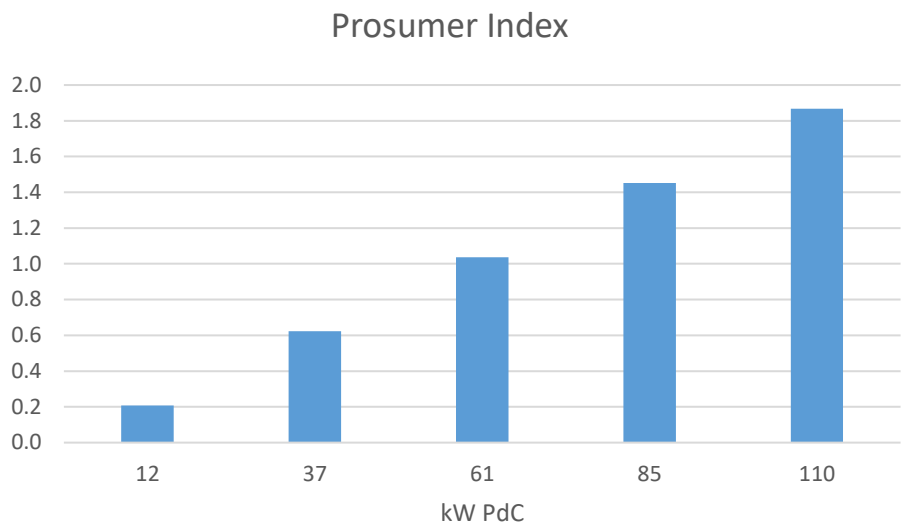


*Figura 38: Andamento prosumer index per il PRIM in funzione delle taglie della PdC*

Valutando la minima taglia che massimizza l'energia manipolata in assetto prosumer, il comportamento riscontrato risulta il medesimo visto nel capitolo precedente con l'impianto PMIM, come si può notare dal grafico in *figura n.39*. Con quantità di energia elettrica a disposizione superiore ai 90 kWh/d la taglia ottima corrisponde al 30% del picco massimo di richiesta termica. Anche in termini di COP* e RID_COP

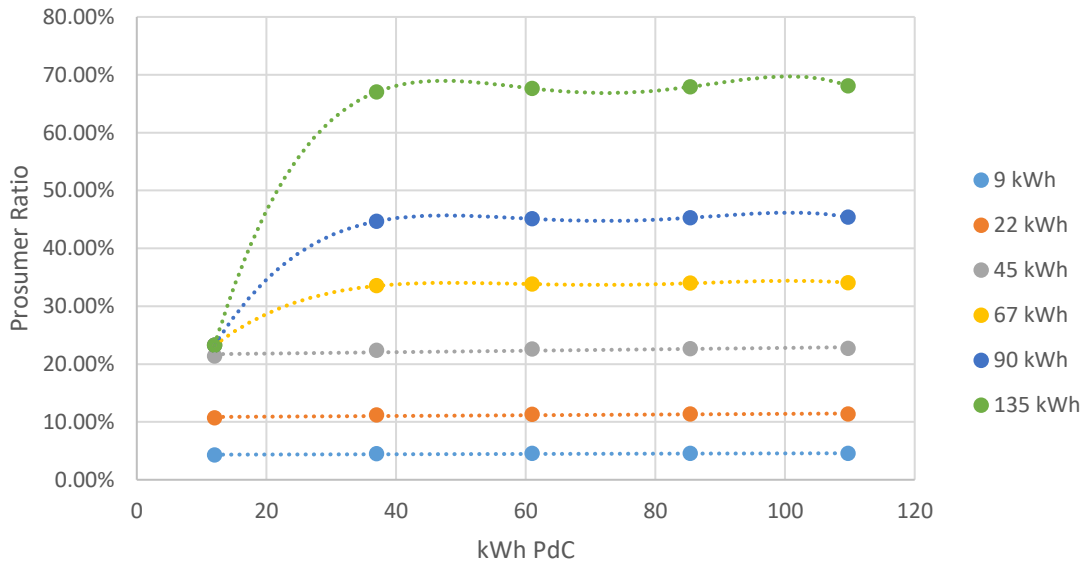


*Figura 39: CASO PRIM, Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC al variare dell 'En_el a disposizione*

### 5.3.3 Confronto tra i due impianti

Mettendo a confronto i due impianti a livello di prosumer ratio, la differenza è completamente trascurabile (*figura n.40*). Le piccole differenze di prosumer ratio tra i due impianti sono dovute alla pompa PMP1, che nei due impianti ha un comportamento differente. Come si può vedere dal grafico in figura n.n. le differenze tra i due layout ci sono, ma sono troppo contenute per poter decidere quale dei due impianti sia il più adatto.
Di conseguenza, viene portato avanti il confronto tra i due layout di impianto, spostando il punto di vista verso il generatore di potenza in centrale.

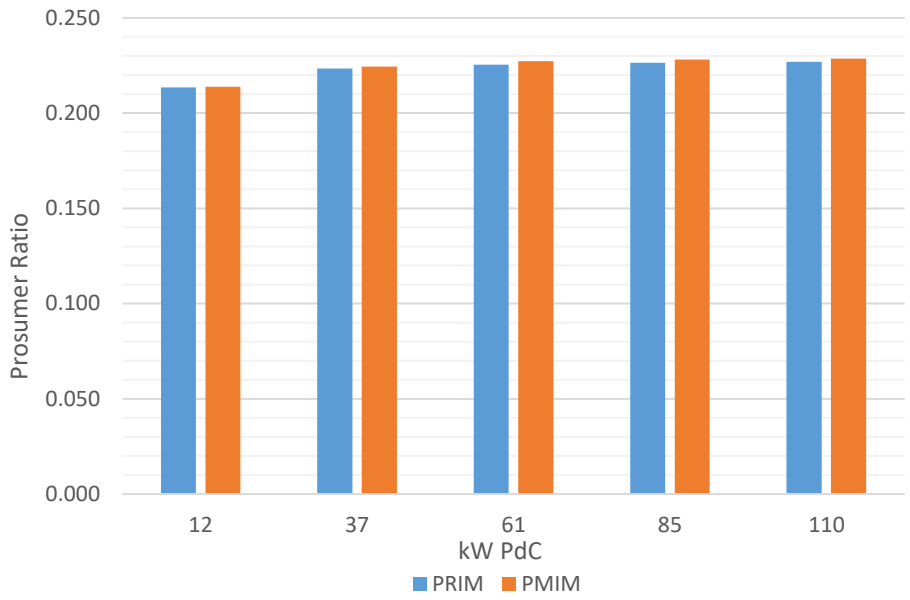


*Figura 40: confrontro tra i due impianti in termini di prosumer ratio in funzione della taglia della PdC*

# 6. Simulazione funzionamento giornaliero

Dallo studio mostrato nel capitolo 5, si può concludere che in termini di quantità energia sottratta alla richiesta termica, non si può definire quale dei due impianti in analisi presenta le prestazioni migliori. D'altra parte, però, si è arrivato ad un risultato utile per continuare lo studio. Mettendo in relazione produzione elettrica da fotovoltaico, tempo di utilizzo della SST-B, e caratteristiche impiantistiche, si è visto che la taglia ottima della PdC corrisponde sempre a circa il 30% del picco massimo di richiesta termica. Continuando a prendere in considerazione la curva di carico vista nel capitolo 4.3.1, la taglia ottima della PdC per entrambi gli impianti visti è pari a circa 37 $kW_{th}$.
Determinata la taglia ottima della PdC, nasce la necessità di capire quale comportamento impiantistico risulta più favorevole ai fini della gestione del TLR. Un eventuale installazione di una SST-B ha come obiettivo sia di agevolare l'utente con i costi in bolletta, sia di agevolare il gestore in modo da incentivarne l'utilizzo. A partire da questa considerazione, nei sotto capitoli che seguono, viene svolta una simulazione simulink di un giorno tipo, con il fine di determinare quale dei due impianti riesca a gestire al meglio i picchi di richiesta termica mattutina.

## 6.1 Segnali di input

Inizialmente vengono definiti gli input del modello, i quali saranno in comune per entrambe le simulazioni. Nell'immagine in *figura n.41*, si può notare oltre alla richiesta termica del giorno tipo, si ha una curva di temperatura esterna, e una curva di portata massica. In particolare, la temperatura esterna serve per definire una curva di COP, mentre la portata massica è utile per capire il funzionamento della SST-B in assetto tradizionale (consumer).

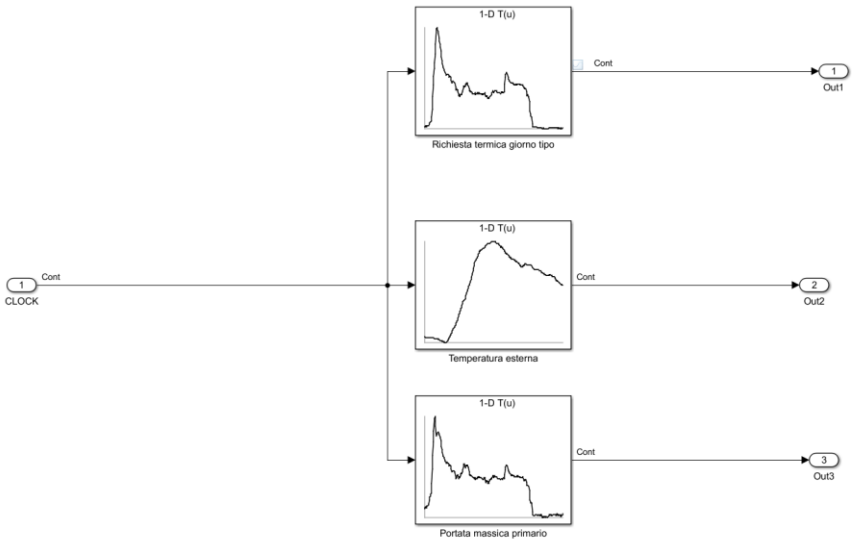


*Figura 41:Segnali di input dei modelli di simulazione*

EN_el_gg_max è l'energia elettrica massima assorbibile dalla SST-B. Questo valore viene calcolato creando un modello in cui in input si ha l'energia elettrica ottenuta dalla FV, ma anche l'energia elettrica assorbita dai sistemi di pompaggio e da tutta la componentistica ausiliaria. Importante sottolineare che per ridurre la complessità di calcolo, l'energia spesa per gli ausiliari viene considerata pari a 3 volte il consumo del sistema di pompaggio (dato probabilmente sovradimensionato ma che mette in sicurezza l'analisi svolta).

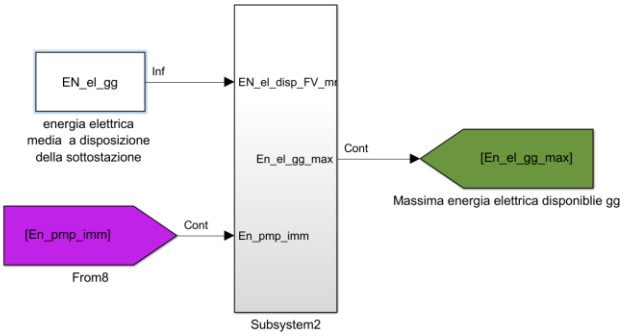


*Figura 42: Segnali di input e output per la definizione della massima En_el prodotta dal FV*

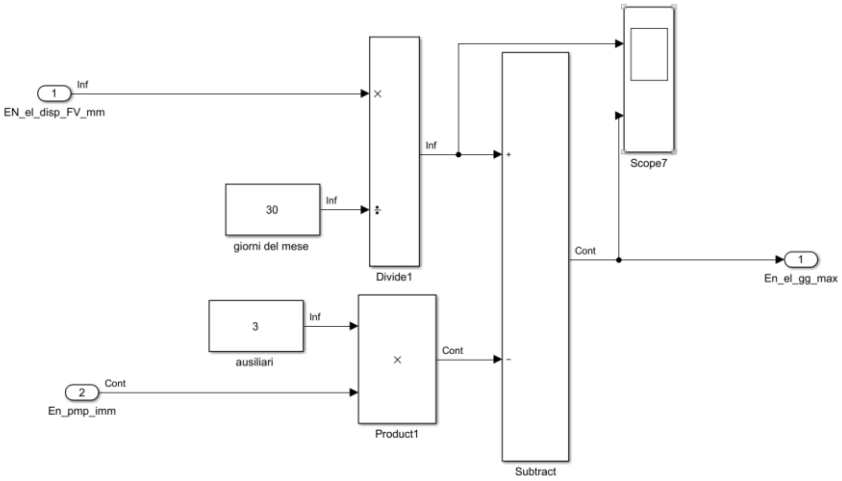


*Figura 43: Logica per la definizione della massima En_el prodotta dal FV*

# 6.2 Simulazione PRIM

Nel seguente paragrafo viene illustrata la metodologia per la definizione del modello per la simulazione del layout PRIM. In particolare, ci si sofferma sulla creazione del segnale che gestisce i cicli di carica e scarica dello stoccaggio, fondamentale per la gestione del funzionamento di tale impianto.

## 6.2.1 Definizione segnale fasi ACC

Si inizia con il definire il volume di accumulo pari a $2m^3$. Bisogna definire la giusta carica e scarica dello stoccaggio. Nella *figura n.44*, viene illustrata la logica che governa

le fasi dell'ACC. In particolare, la fase di scarica è dipendente dalla richiesta termica dell'edificio e di conseguenza si avranno tempi di scarica non costanti durante il funzionamento di tale impianto. Nel modello citato, si possono notare due input, che restituiscono un output (LOAD_G). In particolare, il primo input definisce la fase di scarica dell'accumulo, dipendente dalla portata del fluido termovettore da fornire all'utenza. Logicamente viene introdotto uno switch, il quale definisce quando la portata G_ut che può entrare nel modello. Lo switch ha la funzione di evitare errori dovuti ad una curva di richiesta termica non sempre, nulla. Di conseguenza viene impostato un valore di soglia di PHI (richiesta termica), sotto il quale non viene considerata una portata da inviare all'utenza. Il secondo input, invece, è la portata che viene inviata allo stoccaggio da parte della pompa di calore, nel momento in cui bisogna caricare l'accumulo. Questa è una portata costante ottenuta dalla massima potenza di funzionamento della PdC, al fine di avere un tempo di carica il più basso possibile.

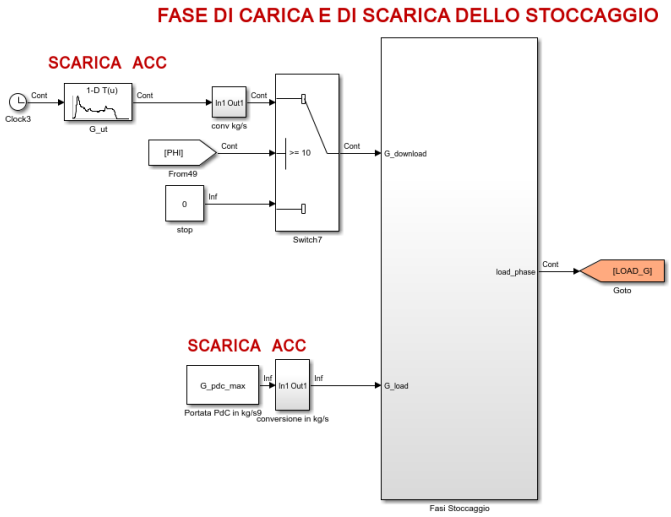


*Figura 44: Modello per segnale di fase dell'ACC*

La *figura n.45* definisce il modello all'interno del blocco visto precedentemente, in figura n.n. Al fine di ottenere una curva di carica e scarica che può entrare nel modello di immissione, vengono utilizzati due integratori con un reset. In particolare, per la fase di carica si integra la portata G_load, fino a che l'integrale della portata G_download, risulta essere minore della massima massa contenibile nel *ACC*. Speculare logica viene utilizzata per l'integratore della scarica. In prima battuta si assume l'ipotesi di avere delle soglie massime e minime di reset dei due integratori pari al minimo e al massimo volume contenibile, rispettivamente 0 $m^3$ e 2$m^3$. In realtà sarebbe più realistico usare valori soglia pari ad una percentuale del volume dell'ACC (es: 10% e 90% del volume massimo), ma poiché nell'analisi viene messa in discussione la capacità dello stoccaggio, questa precisazione può essere trascurata.

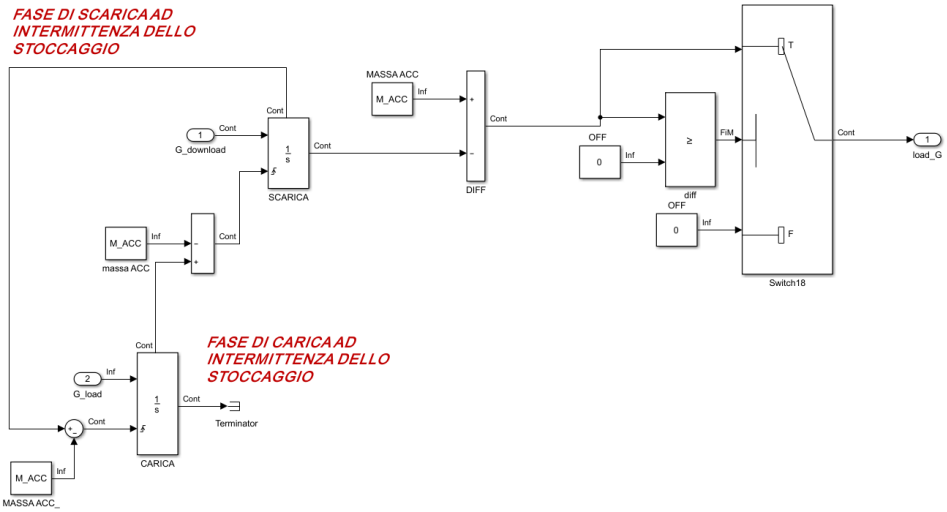


*Figura 45: Logica per la definizione delle fasi di carica e scarica dell'ACC*

Dal modello appena descritto si ottengono delle curve di scarica. La *figura n.46* si riferisce alle possibili scariche con un ACC da 2 $m^3$, mentre la *figura n.47* si riferisce ad uno stoccaggio da 0,5 $m^3$. Alle curve di scarica viene sovrapposta la curva di richiesta termica, solo al fine di notare le coincidenze temporali, gli assi si riferiscono esclusivamente alle curve rosse. In entrambi i casi, l'ACC è carico appena vi è una richiesta termica. Nel momento in cui, PHI supera una determinata soglia, inizia il ciclo. Si può notare, che le curve oblique descrivono la scarica, e la pendenza è dipendente dalla portata fornita all'utenza. Nel momento in cui la curva rossa è nulla, lo stoccaggio si carica, e come descritto precedentemente si hanno intervalli regolari, dovuti ad una portata costante di carica dello stoccaggio. Diminuendo il volume dell'ACC utilizzato, aumenta la frequenza del ciclo, rendendo l'immissione più instabile.

Le curve rosse appena descritte, risultano essere solo dei segnali da poter sfruttare in un altro modello, non risultano essere l'effettivo ciclo di carica e di scarica che avviene durante la simulazione del giorno di riscaldamento. A partire da questo segnale generato, bisogna analizzare il comportamento della pompa di calore.

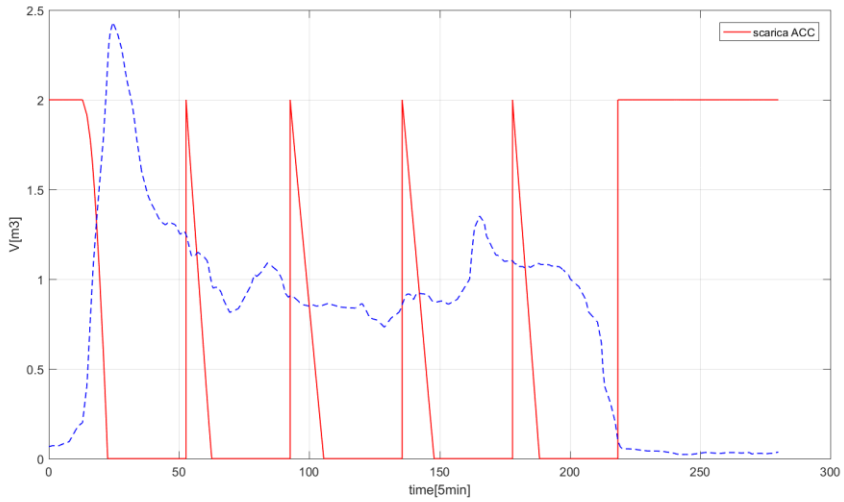

*Figura 46: segnale scarica ACC con volume di 2 m³*

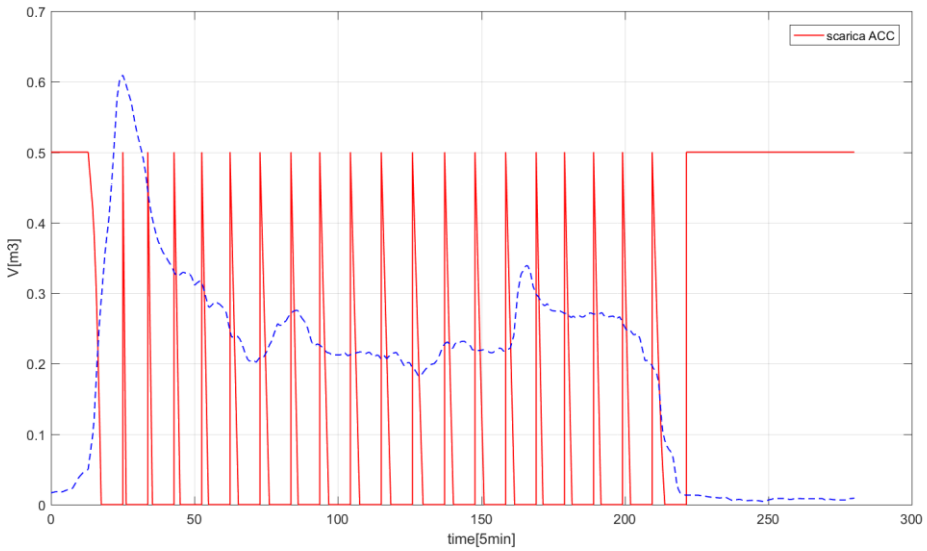


*Figura 47: segnale carica ACC con volume di 0,5 m³*

## 6.2.3 Definizione segnale potenza PdC

L'output descritto nel paragrafo precedente diventa un segnale di input per un altro modello, il quale va a definire un segnale della potenza in uscita dalla PdC.
In particolare, vengono utilizzati due switch in cui, a partire dal valore di *LOAD_G*, si ottengono due curve, PHI_producer e PHI_consumer, rispettivamente la potenza da poter immettere in rete e la potenza utilizzata per caricare l'accumulo.

- *PHI_producer*: nel momento in cui *LOAD_G* è diverso da zero, la curva assumerà valore pari a PHI_imm, altrimenti assumerà valore nullo

- *PHI_consumer:* nel momento in cui *LOAD_G* è diverso da zero, la curva assumerà valore nullo altrimenti assumerà valore pari alla massima potenza termica erogabile dalla PdC

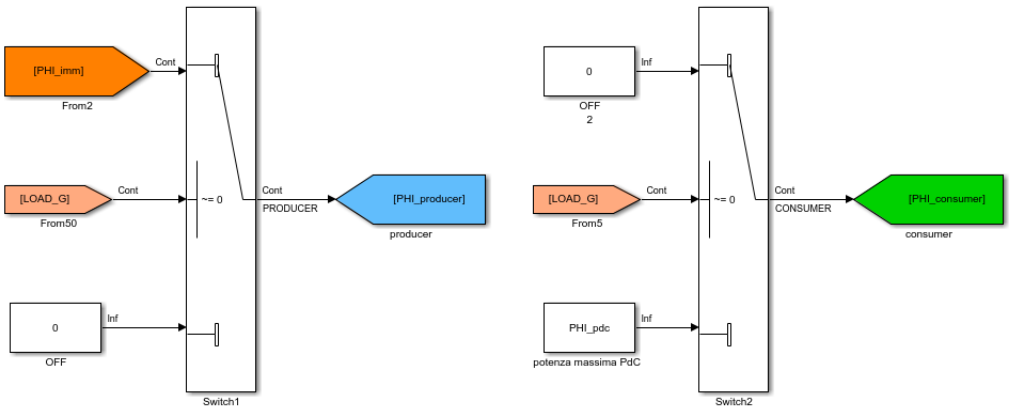


*Figura 48:Logica per definizione PHI_producer e PHI_consumer*

*PHI_imm* è la potenza termica che viene immessa in rete, essa in prima battuta viene considerata proporzionale alla richiesta termica. Tale logica, viene illustrata in figura n.n. Viene valutata questa modalità di immissione poiché riducendo la potenza a parità di energia si ha più tempo a disposizione per poter cedere calore alla rete. Di conseguenza si ha la possibilità di coprire i picchi presenti anche nelle ore centrali del giorno.

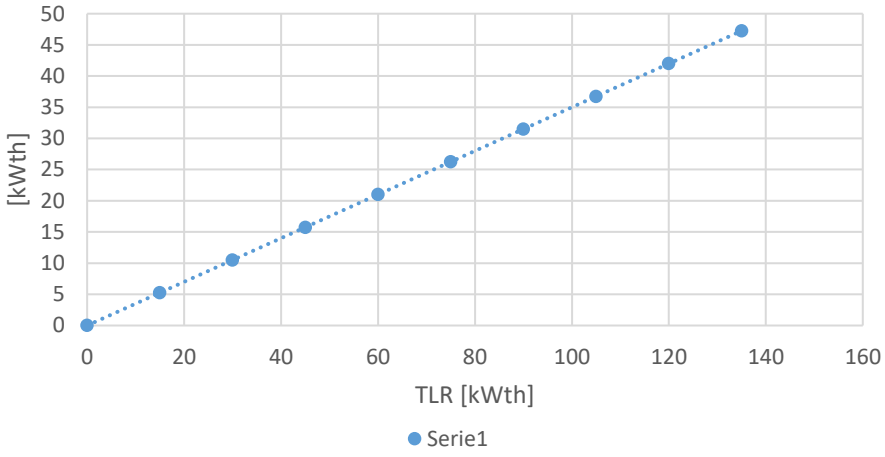


*Figura 49: Funzione di immissione in rete per PRIM*

La figura n.n, mostra così il possibile andamento della potenza termica erogabile dalla PdC, durante il giorno di riscaldamento. La curva in rosso rappresenta la potenza termica che deve erogare la PdC, nel momento in cui la SST-B si trova in assetto producer. La curva in blu, invece, rappresenta la potenza che la PdC deve fornire all'ACC per caricarlo. Si può notare da questo grafico come sia predominante la potenza spesa per caricare l'accumulo termico.

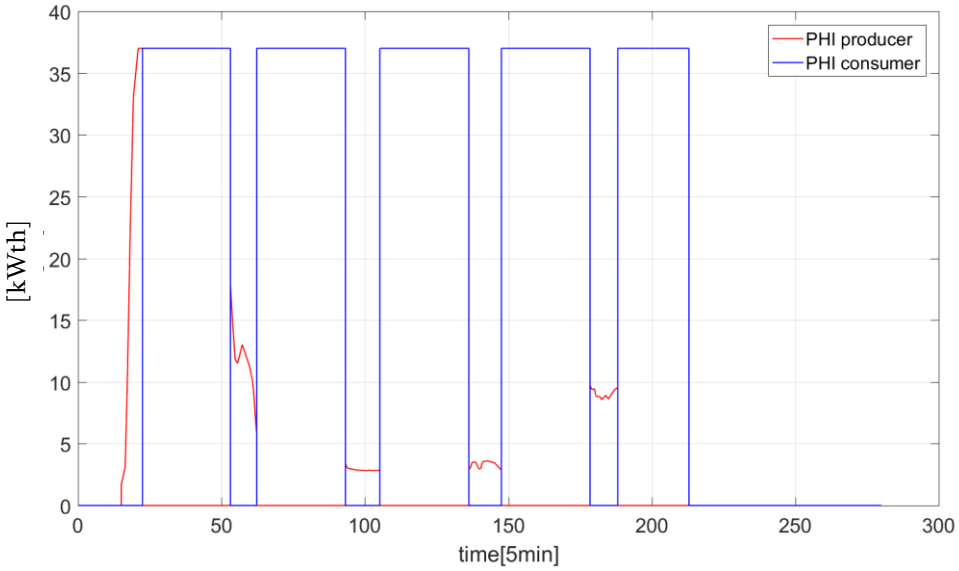


*Figura 50: Potenza erogabile dalla PdC con un ACC da 2m³ durante il giorno*

Logicamente il grafico appena descritto non ha nessuna valenza se non viene associato alla fonte di energia primaria. Quest'ultimo corrisponde, solamente al segnale che gestisce lo switch sulle valvole V_acc e V_int presenti nello schema in *figura n.33*.

### 6.2.4 Logica dell'impianto PRIM

Nel blocco, in figura n.n, vengono gestite le quote di energia prodotte in fase producer e in fase consumer da parte della PdC. Nel momento in cui la somma tra energia prodotta ed energia consumata superano l'energia elettrica massima giornaliera, il segnale diventa 0, e la sottostazione si predispone in modo tradizionale. Di conseguenza, si ottiene una curva *PHI_real_imm*, corrispondente alla potenza termica realmente messa in rete (grafico in figura n.n). Da quest'ultimo grafico, si può notare che attraverso la fonte di energia primaria a disposizione si riesce ad effettuare un solo ciclo di scarica e carica dell'impianto in questione. Bisogna verificare l'impatto che tale comportamento della SST-B ha sulla richiesta termica dell'utenza.

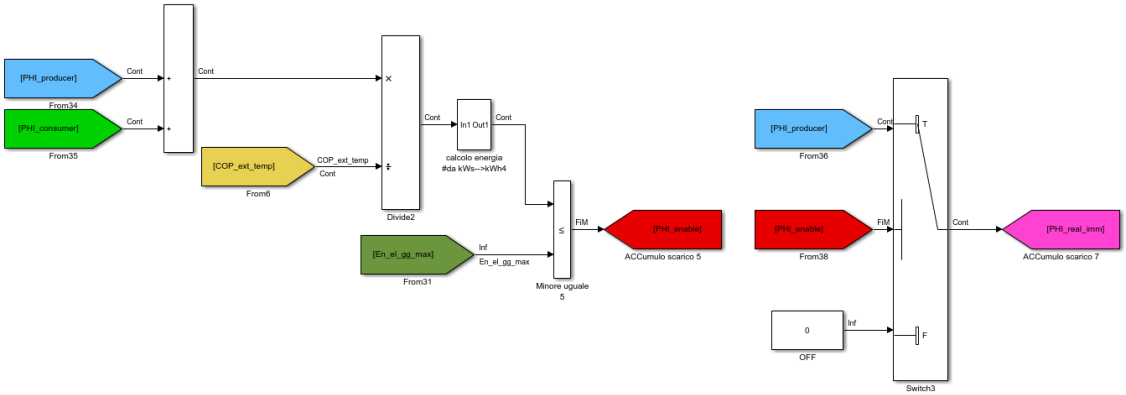


*Figura 51:Logica di funzionamento impianto PRIM*

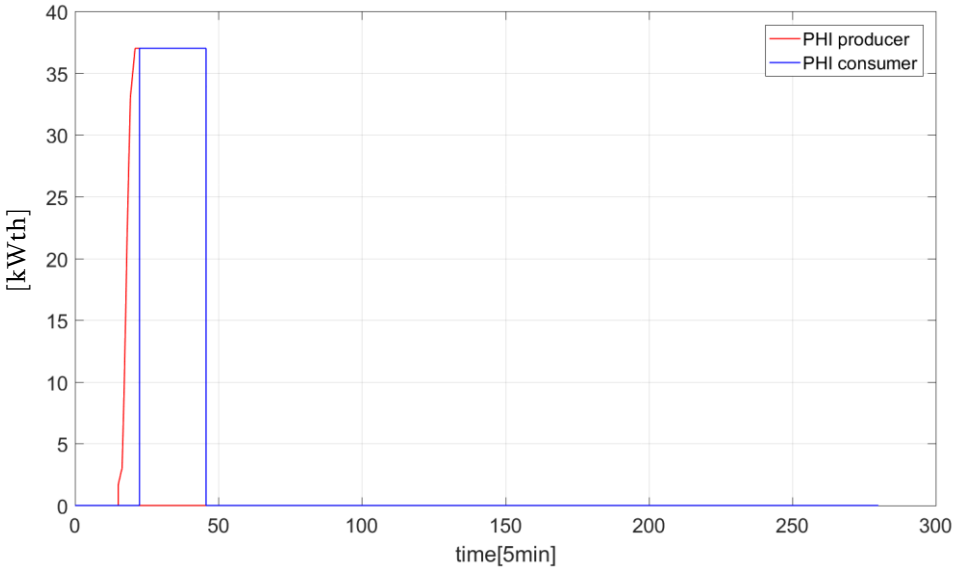


*Figura 52: Phi_real_imm*

### 6.2.2 Risultati simulazione PRIM

Per definire la bontà di tale impianto per la rete di teleriscaldamento, bisogna ragionare sulla curva di richiesta termica durante il funzionamento della SST-B. La rete nel momento in cui la SST-B si trova in assetto prosumer, ha una minore richiesta, poiché l'utenza è servita dallo stoccaggio. Nello stesso istante temporale, però, la PdC immette potenza termica nella rete. Di conseguenza, quando la SST-B si trova in assetto prosumer, alla richiesta termica va sottratta la quota di energia termica per l'autoconsumo e contemporaneamente la quota di immissione. Di conseguenza si ha un doppio effetto sul TLR, grande vantaggio di tale SST-B.

Nei grafici in figura n.n e n.n, in rosso è descritta la curva di immissione in rete di potenza, mentre la curva in blu rappresenta nuova richiesta termica ottenuta con tale sottostazione. La linea tratteggiata invece, descrive la porzione della richiesta termica totale dell'utenza che viene meno per via della quota di energia immessa in rete. Dal grafico in questione si può concludere che tale logica con il medesimo impianto non ha portato effetti benefici in termini di riduzione di picco. Infatti, la massima richiesta giornaliera risulta invariata pre e post-intervento della sottostazione PRIM. Tale comportamento è dovuto da:

- Volume dello stoccaggio non adatto al funzionamento della SST-B
- Start dell'assetto prosumer della SST-B non ottimizzato con il picco di richiesta termica

Per verificare il primo punto sopracitato, si effettua la simulazione variando il volume dello stoccaggio. In primis viene riproposto il grafico appena visto con un ACC da 0,5 $m^3$ (in figura n.n). Si può notare che riducendo il volume dello stoccaggio, si ottiene un'immissione di potenza con una frequenza tale da non permettere una vera e propria ottimizzazione della gestione del picco di richiesta termica. Successivamente è stato aumentato il volume dell'ACC, ma non sono stati raggiunti risultati migliori. In primis come già detto, le dimensioni dei vani predisposti per le SST, presentano un problema fisico. Inoltre, bisogna tenere in considerazione la quota di energia primaria limitata che non permette di effettuare dei cicli se l'accumulo è troppo capacitivo. Ci si potrebbe ritrovare in giorni in cui l'ACC viene solo caricato, ma non si ha abbastanza energia per predisporre la SST-B in assetto prosumer. La soluzione migliore dovrebbe essere quella che permetta una gestione della richiesta termica intelligente.

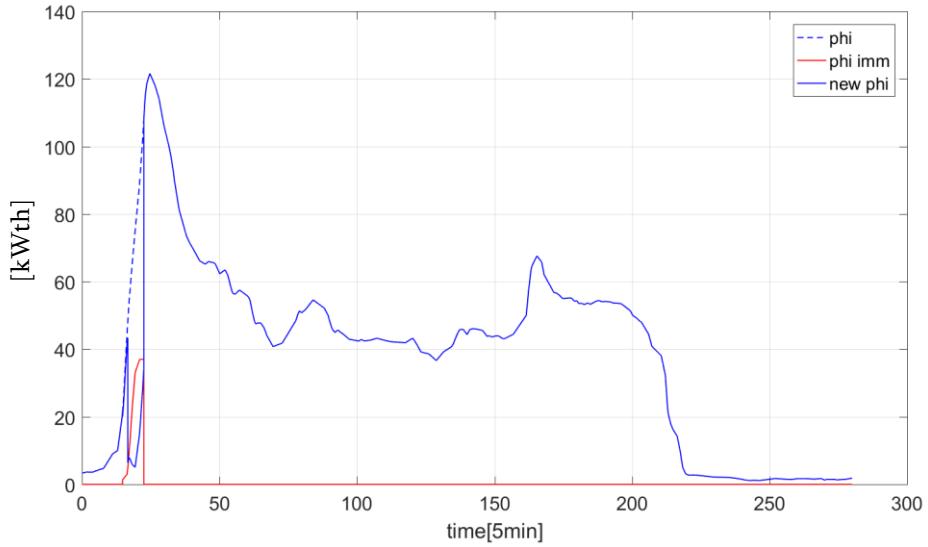


*Figura 53:Risultato in termini di richiesta termica del PRIM con ACC 2 m³*

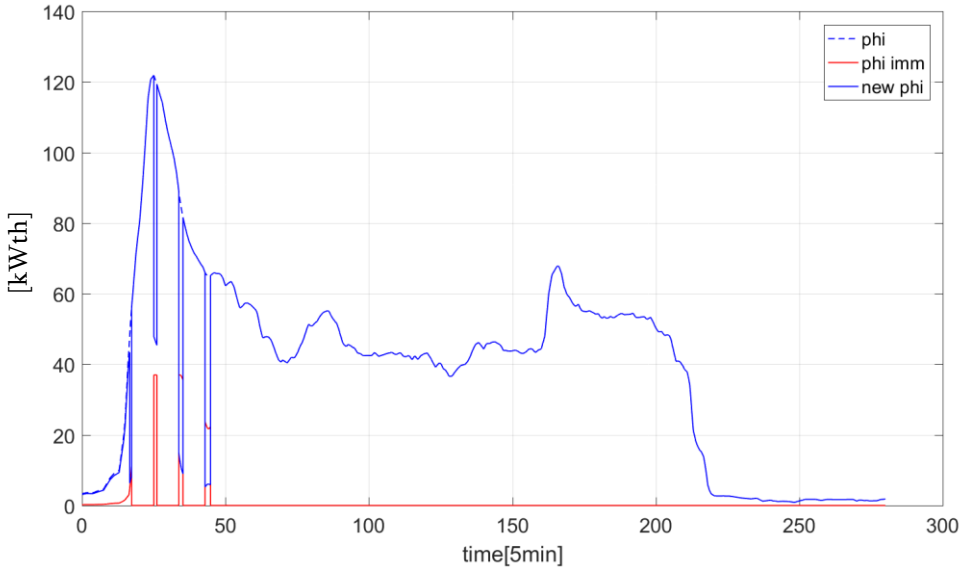


*Figura 54: Risultato in termini di richiesta termica del PRIM con ACC 0,5 m³*

Rimanendo su un ACC da 2 m³ e ipotizzando di avere una funzione di ottimizzazione che permetta di effettuare lo switch della SST-B in assetto prosumer esattamente in corrispondenza del picco massimo, si ottiene una richiesta termica mostrata in figura n.n. Come si può notare da tale grafico, anche ottimizzando lo start della SST-B in assetto prosumer, si continuano ad avere dei picchi di richiesta termica superiore ai 110 $kW_{th}$. Ciò è dovuto al fatto che l'ACC non ha un volume tale da poter coprire tutta l'ampiezza del picco mattutino. Si può concludere che tale layout d'impianto, si presta bene come riduttore del fabbisogno termico dell'edificio in questione, ma non ha un comportamento peak oriented, fattore che può determinare un possibile incentivo alla diffusione di tale impianto.

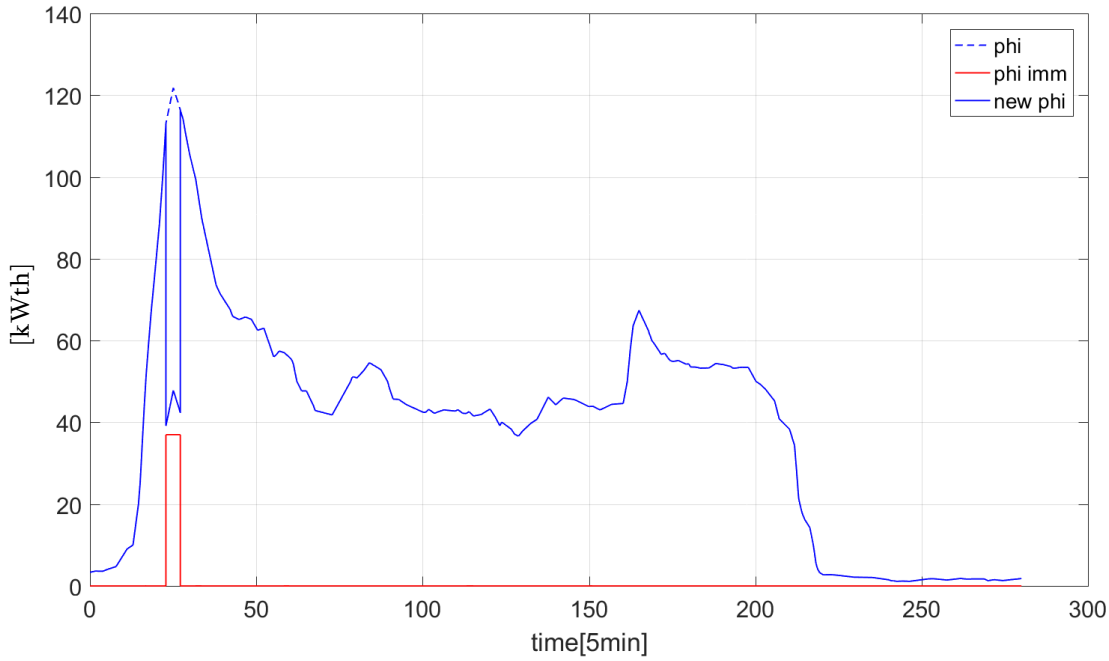


*Figura 55: Risultato in termini di richiesta termica del PRIM con ACC 2 m³ con ipotetica funzione di ottimizzazione applicata*

# 6.3 Simulazione PMIM

## 6.3.1 Costruzione modello PMIM

Rispetto alle logiche illustrate nella simulazione del PRIM, in questo layout, avendo un doppio scambiatore di calore, il modello di immissione in rete risulta notevolmente più semplice da gestire a livello software. Il componente più sensibile che permette il corretto funzionamento della SST-B risulta essere la valvola V_tr2. Quest'ultima dovrà essere responsabile della portata di immissione. Modulando la sezione di passaggio, tale valvola permette di regolare la potenza immessa in rete a parità di temperatura.
In *figura n.56*, si ha il modello utilizzato per simulare l'immissione in rete. In particolare, si ha in ingresso un COP_ext_temp, ovvero una curva del COP della PdC in funzione della temperatura esterna del giorno tipo. Un altro input è En_el_gg_max, ovvero la massima energia elettrica giornaliera prodotta dal FV. Quest'ultimo segnale serve per terminare la simulazione nel momento in cui viene sfruttata tutta la quota di energia primaria a disposizione della SST-B.
Infine, l'ultimo input al modello, risulta essere la PHI_imm. Quest'utlimo segnale, come già spiegato nel paragrafo 6.2.3, in funzione della richiesta termica dell'edificio, restituisce una potenza da poter immettere in rete. Esso viene sfruttato al fine di poter modulare la potenza di immissione nel tempo, con il fine di appiattire le creste della richiesta termica. Inoltre, va sottolineato che senza un ACC, questo segnale risulta di fondamentale importanza per ottenere un'immissione intelligente.

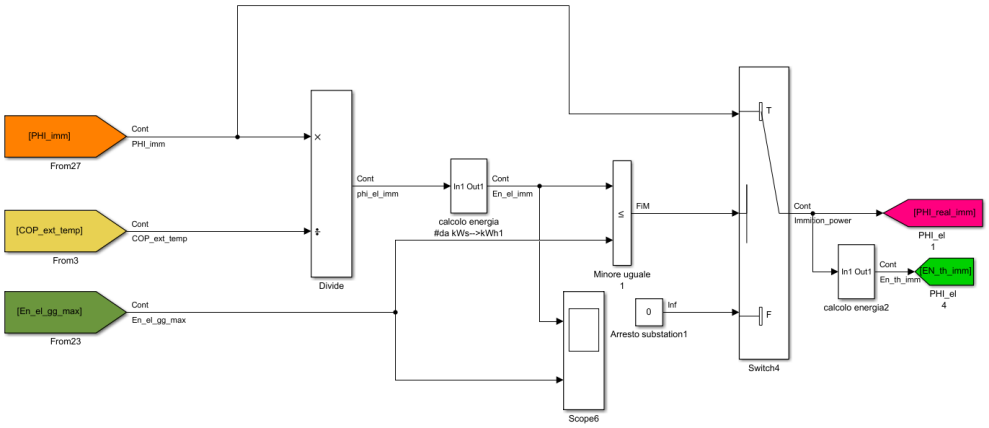


*Figura 56:Logica di immissione per impianto PMIM*

## 6.3.2 Calibrazione della PHI_imm

Inizialmente viene considerata una PHI_imm costante pari alla massima potenza termica di mandata della PdC, e in prima analisi la sottostazione inizia a immettere in rete quando la richiesta termica supera i 30kW.In questo modo quando si ha un carico all'utenza sopra il dato target, la PdC immette una quota di energia pari a circa 37kW (escluso il rendimento dello scambiatore). Il risultato ottenuto è mostrato in *figura n.58*. Nel grafico in *figura n.57* invece, si ha il grafico della funzione di immissione (PHI_imm).

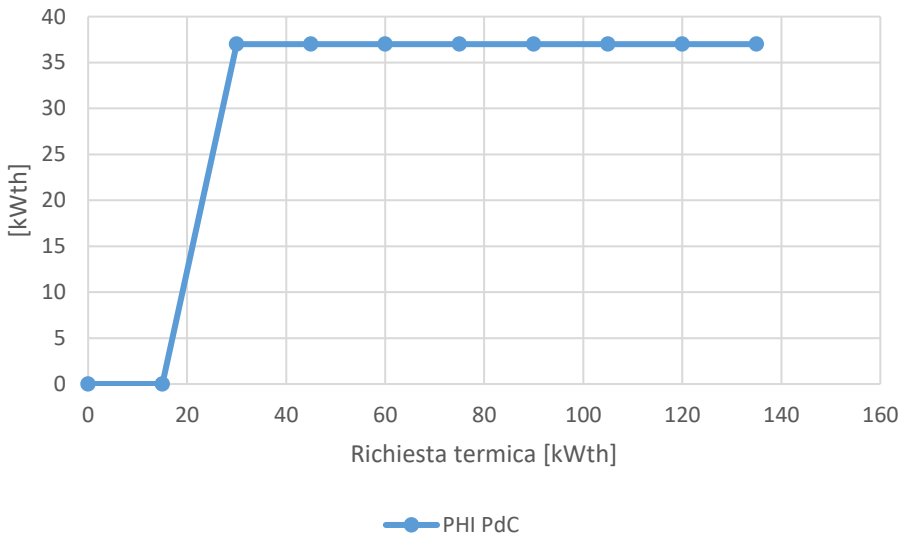


*Figura 57: Regolazione PdC Indipendente dalla richiesta termica*

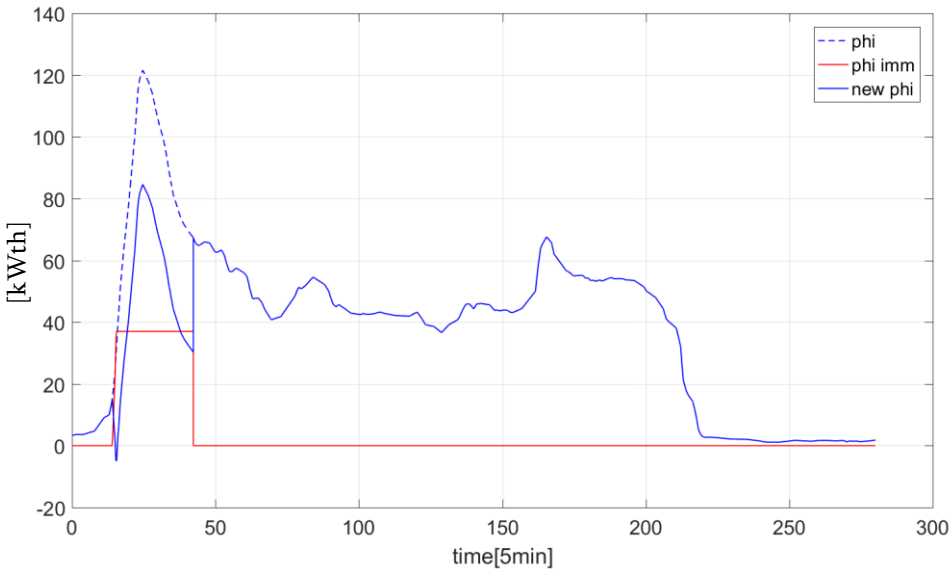


*Figura 58: Risultato richiesta termica con immissione costante*

Come si può notare in *figura n.58,* si ha una riduzione del picco sicuramente migliore del caso con l'impianto PRIM. In particolare, in questo caso si riesce ad avere una riduzione della massima potenza termica assorbita pari a circa il 33%, infatti immettendo in rete con questa logica si passa da un picco di 121 $kW_{th}$ a circa 82 $kW_{th}$. Si può notare però che l'immissione (curva rossa del grafico) si arresta intorno al quarantaduesimo timestep della simulazione generando un secondo picco di circa 68 kWth. Di conseguenza si cerca di modulare la potenza di immissione, come mostrato con il PRIM, nel paragrafo 6.2.3, con il fine di avere una richiesta termica finale con meno picchi possibili.
In *figura n.59* viene illustrata la retta utilizzata per modulare la potenza immessa in rete in funzione della richiesta termica dell'edificio.

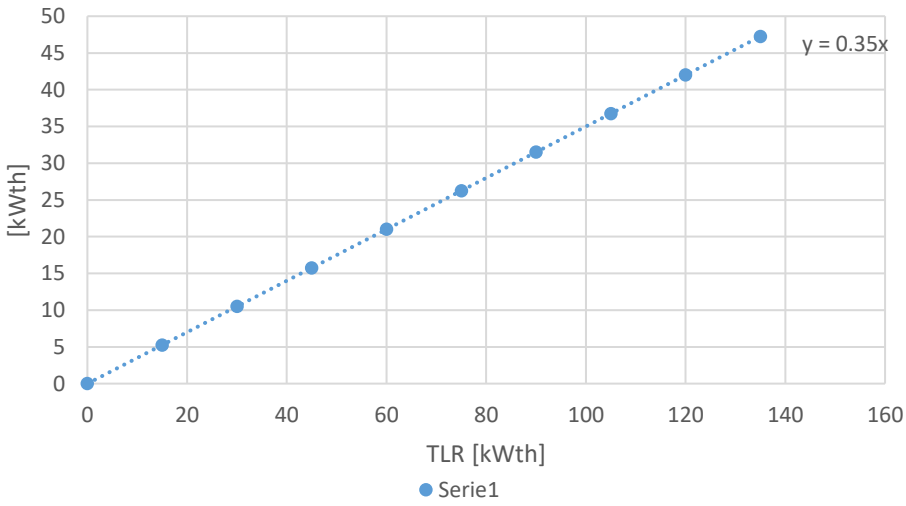


*Figura 59: Regolazione PdC dipendente dalla richiesta termica caso con y = 0,35x*

In *figura n.60* viene illustrato il risultato ottenuto da tale simulazione. Si può notare come l'immissione in rete si sia arrestata 8 timestep (40 minuti) dopo la simulazione precedente. Inoltre, si può affermare che il secondo picco formatosi dall'immissione viene ridotto a 61,5 kWth, confermando la tesi appena citata.

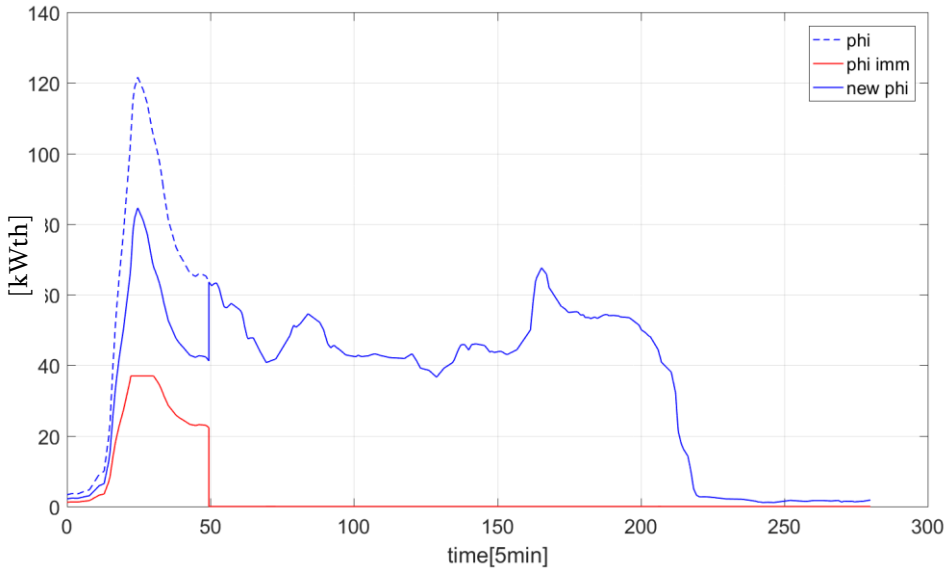


*Figura 60: Risultato richiesta termica con immissione lineare*

### 6.3.3 Risultati simulazione PMIM

Si può concludere quindi che a parità di condizioni al contorno, l'immissione in rete linearmente dipendente dalla richiesta termica dell'utenza, risulta sicuramente più vantaggiosa rispetto ad un'immissione costante (*figura n.57*).
Bisogna però precisare che le prove appena viste vengono effettuate con un valore di energia elettrica primaria costante, caso che non rispecchia la realtà. Di conseguenza usando un'unica retta di immissione per varie produzioni del FV, si potrebbe ricadere in gestioni del picco non ottime. Per tali motivi, vengono effettuate nuovamente le simulazioni viste ma con una quantità di energia primaria differenti e variando il coefficiente angolare della retta di regolazione. L'idea è quella di creare un piano di regolazione in cui vi è un fascio di rette per base alla quantità di energia elettrica a disposizione. Il CASO 1 mostra i risultati di una simulazione svolta con 20 kWhel di energia elettrica prodotta dal FV. In *figura n.61,* vengono rappresentate le rette adottate. In *figura n.62* viene illustrato il risultato mantenendo il coefficiente angolare costante (m=0,35) rispetto alle simulazioni precedenti; in *figura* n.*63* viene mostrata la richiesta termica adottando una retta di immissione con coefficiente angolare dimezzato (m=0,175). Si può notare come diminuendo la pendenza della retta l'immissione risulti più costante oltre al fatto che il picco massimo viene ridotto da 102kW$_{th}$ a 100 kW$_{th}$.
Di conseguenza, si può concludere, che attraverso una corretta funzione di ottimizzazione, la quale correli nel modo corretto il coefficiente angolare della retta di regolazione con l'energia elettrica a disposizione, si riesce ad ottenere una gestione del picco ottimale.

- CASO 1: En_el = 20kWhel | m = 0,18

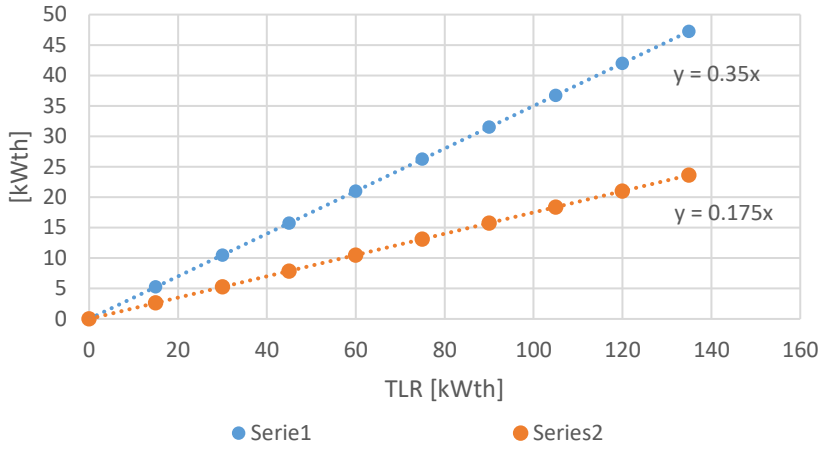


*Figura 61: Regolazione PdC dipendente dalla richiesta termica CASO 1*

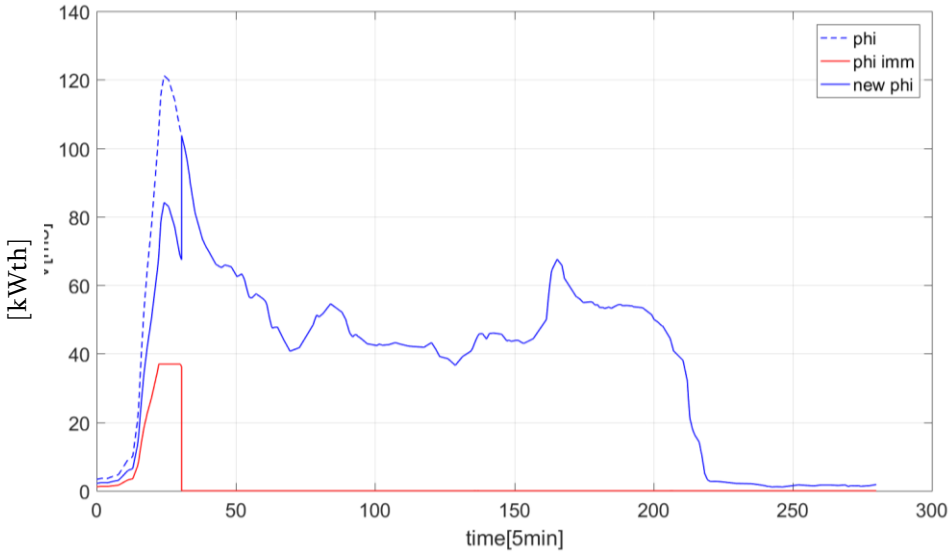


*Figura 62: Risultato richiesta termica CASO 1 con immissione lineare y=0,35x*

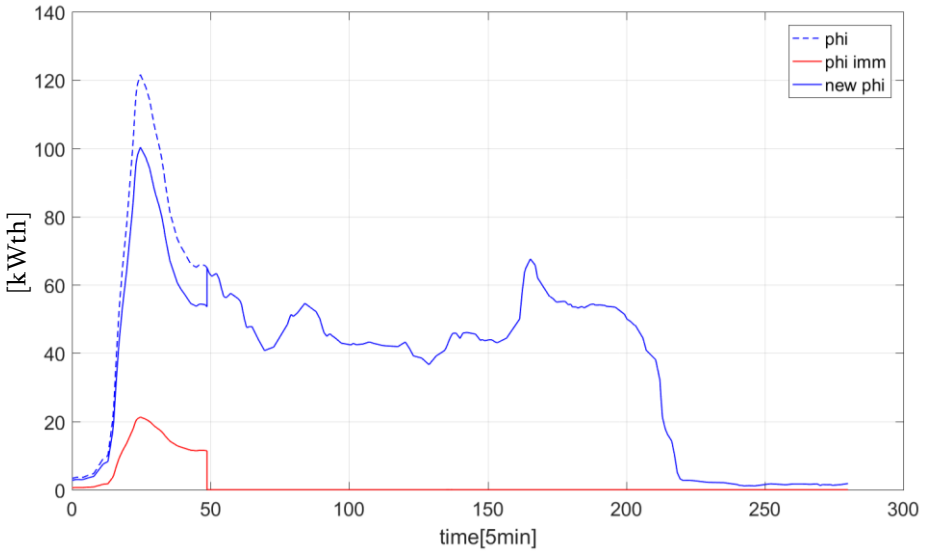


*Figura 63: Risultato richiesta termica CASO 1 con immissione lineare y=0,17x*

- CASO 2: En_el = 56 kWh | m = 0,7

In giornate in cui l'energia elettrica del FV è molto alta, la SST-B potrebbe non riuscire a scaricare tutta l'energia termica generata. In via del tutto dimostrativa, in questo caso viene mostrato come un incremento del coefficiente angolare riesca a far arrestare l'immissione in anticipo a parità di energia termica immessa.

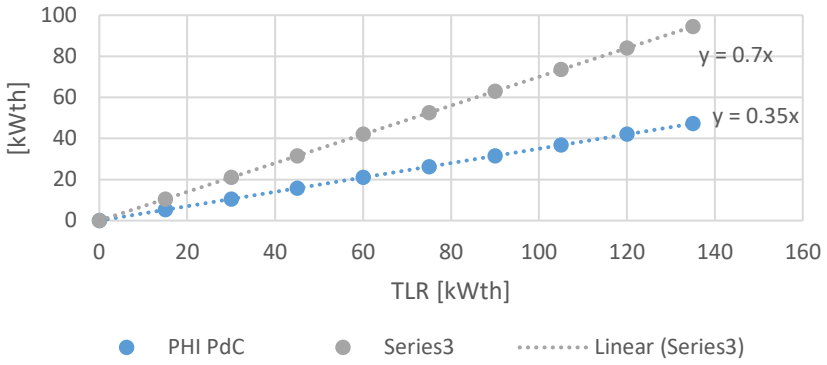


*Figura 64: Regolazione PdC dipendente dalla richiesta termica CASO2*

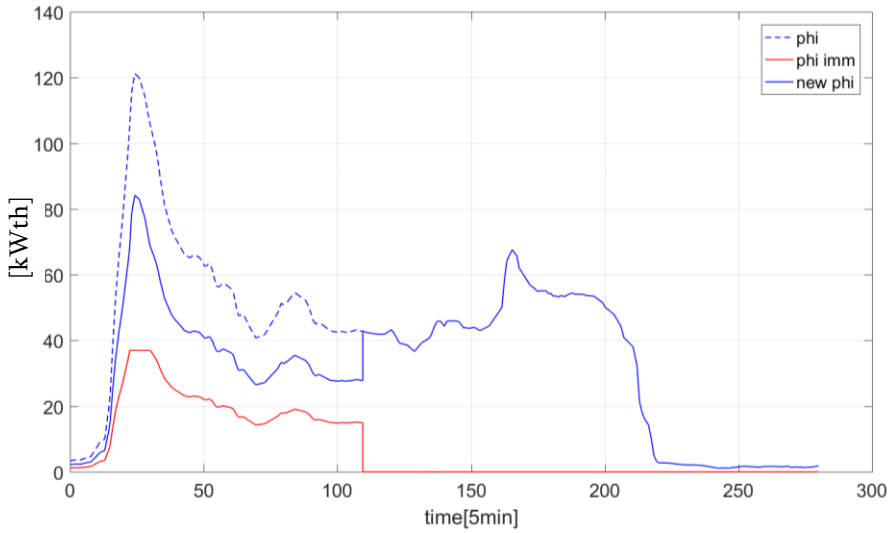


*Figura 65: Risultato richiesta termica CASO 2 con immissione lineare y=0,35x*

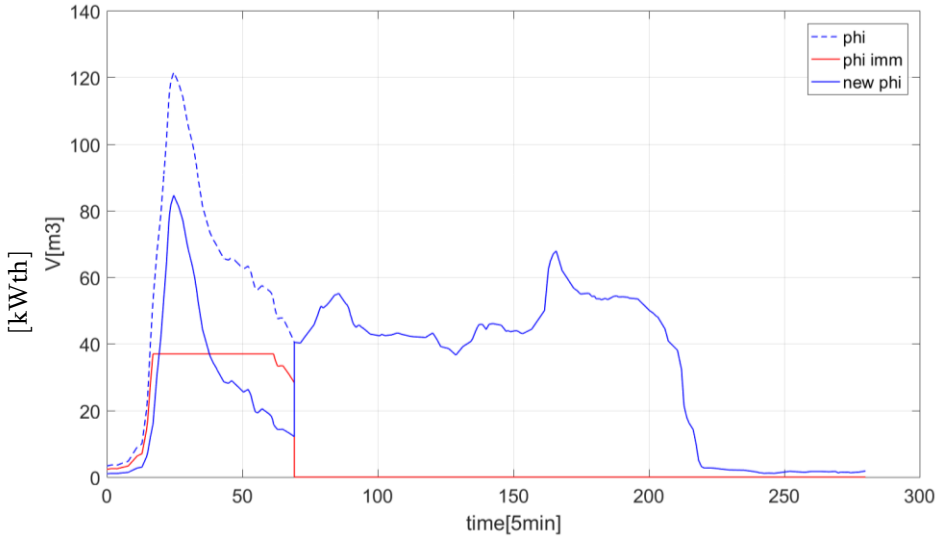


*Figura 66: Risultato richiesta termica CASO 2 con immissione lineare y=0,7x*

# Risultati

Con il seguente studio si è cercato di trovare delle soluzioni impiantistiche che permettessero di integrare lungo la rete del teleriscaldamento, una sottostazione bidirezionale. Tale sottostazione vede come fine quello di ridurre il fabbisogno termico dell'utenza servita, in modo da diminuire la produzione di potenza termica in centrale. Attraverso un'implementazione di pannelli fotovoltaici e pompe di calore è possibile cedere calore alla rete. Tra le svariate soluzioni impiantistiche affrontate i layout PRIM e PMIM risultano essere le favorite in termini di quantità di energia prodotta e immessa in rete. Dall'analisi di fattibilità, effettuata su entrambi gli impianti, risulta che la minima taglia di PdC che massimizza l'energia termica prodotta risulta essere pari al 30% della massima potenza termica richiesta dall'utenza.
Mettendo a confronto i due impianti però, non si sono evidenziate grosse differenze di produzione data la medesima fonte di energia primaria a disposizione. Si può bensì affermare che la sottostazione PMIM risulta meno ingombrante data l'assenza dell'ACC, e di più semplice controllo, visto la presenza del secondo scambiatore di calore. In termini pratici la SST-B con prelievo nel ritorno, risulta di difficile installazione per via della dipendenza di uno stoccaggio di grandi dimensioni.
Infine, per definire ulteriori differenze tra i due layout, in modo da poter definire la migliore tra le due SST-B, viene effettuata una simulazione con simulink, al fine di condurre un'analisi peak oriented. Da quest'ultimo studio si può concludere che ai fini della riduzione del picco di richiesta termico mattutino, la sottostazione PMIM ha un comportamento molto più idoneo. Nello specifico la PRIM, a parità di energia immessa riesce a ridurre il picco mattutino al massimo fino a 110 kW. Ciò è dovuto al fatto che il volume dell'accumulo non riesce a predisporre la SST-B in assetto prosumer per un tempo necessario a coprire l'ampiezza del picco termico mattutino. La sottostazione PMIM, invece, grazie ad un adeguata funzione di calibrazione e ad un corretto coefficiente angolare di tale curva, riesce ad abbassare la potenza termica del picco mattutino fino a 83 $kW_{th}$.
Si può concludere affermando che il miglior utilizzo di una sottostazione bidirezionale, che permetta l'immissione in rete di energia termica e contemporaneamente permetta una gestione intelligente del picco termico mattutino, risulta essere strutturato secondo lo schema proposto in *figura n.34*.

*"Se vuoi scoprire i segreti dell'universo, pensa in termini di energia, frequenza e vibrazione."*

Cit. Nikola Tesla

# Indice delle figure

Figura 1: Possibili scambi di flusso tra rete e generazione localizzata 6
Figura 2:Configurazione primario P.R.I.M. 7
Figura 3: Configurazione primario P.R.I.R. 8
Figura 4: Configurazione primario P.M.I.M. 8
Figura 5:Profilo di carico utenza 9
Figura 6:Configurazione secondario con assetto tradizionale 10
Figura 7: Configurazione secondario con assetto in isola 11
Figura 8: Configurazione secondario assetto producer 12
Figura 9: Configurazione con fase di vendita e carico all'utenza 13
Figura 10: Configurazione con divisione di portata 13
Figura 11: Impianto P.R.I.M. in assetto consumer 15
Figura 12: PRIM assetto in isola 16
Figura 13: modalità prosumer senza carico all'utenza 17
Figura 14: modalità prosumer con divisione di portata 18
Figura 15: SST-B con divisione di portata 18
Figura 16: Andamento temperatura di mandata Rete 19
Figura 17: Schema funzionale P.R.I.R 20
Figura 18: Schema funzionale P.M.I.M. 21
Figura 19: Schema SST-B con preriscaldo 25
Figura 20: Schema SST-B con immissione 27
Figura 21: Schema SST-B immissione con accumulo 28
Figura 22: Tempi di scarica di ACC in funzione della portata del secondario 29
Figura 23: SST-R per utenze con terminali a bassa temperatura 33
Figura 24: SST-R per utenze ad alta temperatura 34
Figura 25: Confronto tra Energia elettrica consumata dalla PdC e prodotta da FV tramite utilizzo di batterie 36
Figura 26 : Confronto tra Energia elettrica consumata dalla PdC e prodotta da FV tramite integrazione della rete elettrica 36
Figura 27: script per pulizia dei dati 39
Figura 28: normalizzazione temperatura e calcolo nuova portata 39
Figura 29: Temperatura di mandata del TLR normalizzata 40
Figura 30: Temperatura di ritorno del TLR normalizzata 40
Figura 31:Richiesta termica normalizzata rappresentativa del ramo 419 nel giorno più gravoso 40
Figura 32: Portata massica del primario normalizzata rappresentativa del ramo 419 nel giorno più gravoso 41
Figura 33:Layout d'impianto PRIM in analisi 45
Figura 34: Layout d'impianto PRIM in analisi 46
Figura 35: Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC con 40kWhel di FV 53

Figura 36: CASO PMIM_1, Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC al variare dell 'En_el a disposizione 54
Figura 37: CASO PMIM_2, Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC al variare dell 'En_el a disposizione 54
Figura 38: Andamento prosumer index per il PRIM in funzione delle taglie della PdC 56
Figura 39: CASO PRIM, Andamento prosumer ratio in funzione della potenza del PdC al variare dell 'En_el a disposizione 56
Figura 40: confrontro tra i due impianti in termini di prosumer ratio in funzione della taglia della PdC 57
Figura 41:Segnali di input dei modelli di simulazione 58
Figura 42: Segnali di input e output per la definizione della massima En_el prodotta dal FV 59
Figura 43: Logica per la definizione della massima En_el prodotta dal FV 59
Figura 44: Modello per segnale di fase dell'ACC 60
Figura 45: Logica per la definizione delle fasi di carica e scarica dell'ACC 61
Figura 46: segnale scarica ACC con volume di 2 $m^3$ 62
Figura 47: segnale carica ACC con volume di 0,5 $m^3$ 62
Figura 48:Logica per definizione PHI_producer e PHI_consumer 62
Figura 49: Funzione di immissione in rete per PRIM 63
Figura 50: Potenza erogabile dalla PdC con un ACC da 2$m^3$ durante il giorno 63
Figura 51:Logica di funzionamento impianto PRIM 64
Figura 52: Phi_real_imm 64
Figura 53:Risultato in termini di richiesta termica del PRIM con ACC 2 $m^3$ 66
Figura 54: Risultato in termini di richiesta termica del PRIM con ACC 0,5 $m^3$ 66
Figura 55: Risultato in termini di richiesta termica del PRIM con ACC 2 $m^3$ con ipotetica funzione di ottimizzazione applicata 67
Figura 56:Logica di immissione per impianto PMIM 68
Figura 57: Regolazione PdC Indipendente dalla richiesta termica 68
Figura 58: Risultato richiesta termica con immissione costante 69
Figura 59: Regolazione PdC dipendente dalla richiesta termica caso con y = 0,35x 69
Figura 60: Risultato richiesta termica con immissione lineare 70
Figura 61: Regolazione PdC dipendente dalla richiesta termica CASO 1 71
Figura 62: Risultato richiesta termica CASO 1 con immissione lineare y=0,35x 71
Figura 63: Risultato richiesta termica CASO 1 con immissione lineare y=0,17x 71
Figura 64: Regolazione PdC dipendente dalla richiesta termica CASO2 72
Figura 65: Risultato richiesta termica CASO 2 con immissione lineare y=0,35x 72
Figura 66: Risultato richiesta termica CASO 2 con immissione lineare y=0,7x 72

# Riferimenti

[1] M. Pipiciello, M. Caldera, M. Cozzini, M. A. Ancona, F. Melino, B. Di Pietra. (2021).
Experimental characterization of a prototype of bidirectional.

[2] M.A. Ancona, M.Bianchi, L.Branchini, A. De Pascale, F.Melino, A.Peretto, J.Rosati(2021).
*Influence of the Prosumer Allocation and Heat Production on a District Heating Network*

[3] Haoran Lia, Natasa Norda (2018).
Transition to the 4th generation district heating - possibilities, bottlenecks, and challenges

[4] Elisa Guelpa, Ludovica Marincioni (2019)
Demand side management in district heating systems by innovative control

[5] IREN spa
Dati di monitoraggio sottostazioni ramo 419 e 422 del comune di Torino

[6] IREN spa
Schema impiantistico sottostazione a singolo scambiatore

[7] IREN spa
Schema impiantistico sottostazione a doppio scambiatore con alimentazione ACS

[8] IREN spa
Dati di pressione dei condotti del teleriscaldamento

[9] https://www.mitsubishi-termal.it/wp-content/uploads/2023/07/mhi-qton.pdf

[10] https://www.denso-am.eu/it/other/residential-co2-heat-pump

[11] https://www.regreen.it/Piemonte/Torino/producibilita_fotovoltaico

[12] Schede tecniche scambiatori di calore Alfa Laval (schede-tecniche.it)

[13] http://www.thermofluid.it/files/offerte/08%20scambiatore/pac/caldaia.pdf