



Ricerca di Sistema elettrico

# Teleriscaldamento di un quartiere ad alta densità abitativa di Roma: analisi e sviluppo della rete termica

F. Bonfà, J. Canonico, B. Di Pietra, L. Pazzola, G. Puglisi

TELERISCALDAMENTO DI UN QUARTIERE AD ALTA DENSITÀ ABITATIVA DI ROMA: ANALISI E SVILUPPO DELLA RETE

F. Bonfà, J. Canonico, B. Di Pietra, L. Pazzola, G. Puglisi (ENEA)

Settembre 2015

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico – ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2014

Area: Razionalizzazione e risparmio nell'uso dell'energia

Progetto: Risparmio di energia elettrica nei settori: civile, industria e servizi

Obiettivo: Reti di Poligenerazione

Responsabile del Progetto: ing. Ilaria Bertini, ENEA

*Ilaria Bertini*

Sommario .....	1
1. Introduzione .....	2
2. Individuazione e analisi del contesto territoriale oggetto dello studio.....	2
2.1 Analisi delle caratteristiche termofisiche degli edifici connessi alla nuova rete.....	4
2.2 Profili di utilizzo degli edifici tipo presenti nel quartiere oggetto dello studio .....	11
2.2.1 Profili di utilizzo edificio tipo residenziale .....	11
2.2.2 <i>Profili di utilizzo – scuola</i> .....	13
3. Caratterizzazione energetica delle utenze presenti nel quartiere simulato .....	14
4. Ipotesi di configurazione nuova rete di TLR a servizio del quartiere .....	22
5. Simulazione della nuova rete di teleriscaldamento .....	29
5.1 <i>implementazione in ENSim dei singoli componenti della nuova rete</i> .....	29
5.2 <i>Modello edificio</i> .....	32
5.3 <i>Modello configurazione 1 : rete alimentata da sistema caldaie ad alta efficienza</i> .....	37
5.4 <i>Modello configurazione 2 : rete alimentata da sistema cogenerativo e caldaia ausiliaria</i> .....	39
5.5 <i>Modello condotta di mandata</i> .....	40
5.6 <i>Modello condotta di ritorno</i> .....	42
5.7 <i>Risultati di simulazione</i> .....	44
5.7.1 <i>Scenario TLR con sistema di caldaie a condensazione</i> .....	46
5.7.2 <i>Scenario TLR con impianto cogenerativo</i> .....	49
5.7.3 <i>Valutazione energetica delle configurazioni simulate</i> .....	51
6. Conclusioni .....	52
7. Appendice: identificazione degli edifici tipo per la piattaforma ENSim.....	53

## Sommario

Oggetto del presente report è l'utilizzo della piattaforma ENSim (Energy Network Simulator), sviluppata da ENEA, per studiare la possibilità di efficientare i distretti cittadini reali attraverso l'installazione di una nuova rete di Teleriscaldamento (TLR).

Per lo studio in oggetto si è scelto di analizzare un contesto territoriale avente le dimensioni di un piccolo quartiere o di un agglomerato di piccole dimensioni con utenze prevalentemente di tipo residenziale.

In particolare l'obiettivo dell'attività svolta mira a valutare l'inserimento di una rete di TLR come alternativa all'attuale sistema di riscaldamento delle utenze condominiali (centralizzato o autonomo) di una porzione del quartiere Valle Aurelia della città di Roma. Il sito scelto, collocato in un contesto territoriale ad alta densità abitativa, si presenta con una pianta a maglia regular, con caratteristiche di replicabilità molto elevate costituita da 45 edifici, tutti edificati negli anni '70, che comprendono diverse destinazioni d'uso: residenziale, scuole e uffici.

Per poter simulare in ENSim i profili di richiesta termica di ciascun edificio connesso alla nuova rete di TLR è stata effettuata una intensa campagna di raccolta dati recuperando le informazioni sulle caratteristiche geometriche, urbanistiche e morfologiche del sito e sulle caratteristiche tipologiche e termo-fisiche delle utenze presenti nel contesto urbanistico oggetto di studio.

Analizzata nel dettaglio la topologia del quartiere è stata effettuata la progettazione tecnica-impiantistica della nuova rete di TLR definendo il tracciato planimetrico e le dimensioni delle condotte di mandata e ritorno.

Sulla base delle informazioni raccolte sul sito è stato implementato in ENSim il modello Simulink della nuova rete di TLR con il quale è stato possibile simulare e confrontare due ipotesi di configurazioni per la generazione termica:

- la prima basata sull'utilizzo di un sistema costituito da 10 caldaie a condensazione della potenza termica di 5000 kW,
- la seconda basata su un sistema cogenerativo costituito da un motore a combustione interna di potenza pari a 11.660 kWt, una caldaia tradizionale da 26.000 kW e una caldaia a condensazione di potenza pari a 8.950 kW.

I risultati delle simulazioni mostrano il comportamento orario della rete durante l'intero anno, valutando l'andamento delle temperature istantanei nelle condotte di mandata e ritorno per le due configurazioni simulate. Dall'analisi energetica si evince un effettivo risparmio in termini di energia primaria di circa il 16% della seconda configurazione rispetto all'utilizzo della sola caldaia centralizzata.

Un'ulteriore attività svolta nell'ambito dell'attività in oggetto è stata l'identificazione di profili di carico termico specifico (kW/mq) associati a edifici "tipo" che possono rappresentare i punti di prelievo dalla rete da simulare. I profili di carico sono stati ricavati simulando con il software ODESSE di ENEA diverse tipologie edifici (residenziali, uffici, scuole) e precaricati in ENSim al fine di agevolare la costruzione del modello di rete anche in presenza di informazioni limitate sulle caratteristiche termo fisiche delle utenze.

A conclusione dell'attività si può affermare che la piattaforma ENSim si può configurare come uno strumento in grado di replicare il comportamento dinamico di una rete di teleriscaldamento durante l'intero anno e può rappresentare un valido strumento non solo per valutare nuovi servizi energetici erogabili da reti esistenti (studio RdS/PAR2014/014 e RdS/PAR2014/015) ma anche un efficace strumento in fase di pianificazione di una nuova rete.

## 1. Introduzione

Il presente rapporto descrive le attività svolte da ENEA AVEE nell'ambito dell'attività previste dall'Accordo di Programma MiSE-ENEA, piano annuale di realizzazione 2014, Progetto C.1 obiettivo A: reti di poligenerazione.

Obiettivo del presente report è l'utilizzo della piattaforma ENSim (Energy Network Simulator), sviluppata da ENEA, per studiare la possibilità di efficientare i distretti cittadini reali attraverso l'installazione di una nuova rete di Teleriscaldamento (TLR).

In particolare per lo studio in oggetto si è scelto di analizzare un contesto territoriale avente le dimensioni di un piccolo quartiere o di un agglomerato di piccole dimensioni con utenze prevalentemente di tipo residenziale.

L'obiettivo dell'attività è rivolto a valutare i benefici e le criticità del TLR come alternativa all'attuale fornitura energetica, assenza di TLR e riscaldamento di tipo centralizzato/autonomo, del quartiere Valle Aurelia della città di Roma.

Una volta individuato il confine dell'area d'intervento da destinare alla rete TLR, è stata calcolata l'energia termica fornita dalla stessa, atta a garantire il benessere ottimale. Pertanto, nella prima fase è stata calcolata la richiesta termica a partire dalle caratteristiche energetiche-progettuali di ogni sistema edificio – impianto, in funzione del livello di comfort termo-igrometrico fissato dalla normativa di riferimento. Determinata, quindi, la richiesta termica in funzione delle utenze presenti negli edifici, sono state progettate due diverse configurazioni di reti termiche: la configurazione 1 costituita da una rete che fornisce l'energia prodotta mediante un sistema di caldaie a condensazione e la configurazione 2 nella quale l'energia è prodotta mediante un impianto cogenerativo costituito da un m.c.i, da una caldaia a condensazione e da una caldaia tradizionale.

Dopo aver definito la potenzialità termica della rete è stata effettuata la progettazione e la scelta delle caratteristiche fisico-dimensionali quali: lunghezze, diametri, velocità di circolazione del fluido, numero tratti e tipo di distribuzione, tenendo conto degli eventuali vincoli presenti per il passaggio delle condotte di distribuzione. Al termine della progettazione tecnica-impiantistica è stata effettuata l'implementazione informatica del modello della rete per la simulazione dinamica degli scenari energetici ipotizzati.

## 2. Individuazione e analisi del contesto territoriale oggetto dello studio

Il contesto territoriale, in cui viene valutata l'installazione di una nuova rete di teleriscaldamento come previsto dallo studio in oggetto, è quello di una porzione di quartiere ad alta densità insediativa all'interno della città di Roma coincidente con una porzione del quartiere Valle Aurelia e individuata dal Piano Regolatore Generale nella zona T2 come riportato in Figura 1; la zona è caratterizzata da tessuti di espansione novecentesca a tipologia definitiva e ad alta densità abitativa residenziale e commerciale.

Il sito scelto si presenta con una pianta a maglia regolare, con caratteristiche di replicabilità molto elevate. Costituita da 45 edifici, tutti edificati negli anni '70, che comprendono diverse destinazioni d'uso: residenziale, scuole e uffici.

I limiti dell'area su cui andremo ad inserire lo studio di fattibilità di una rete di poligenerazione sono suggeriti dalla morfologia del territorio che ne conferisce i confini attraverso un area verde destinata dal piano regolatore generale ad area naturale protetta a nord, con la riserva di Monte Mario che si eleva a 150 m metri dal mare, a sud con un area d'interesse storico vincolata e invalicabile, la città del vaticano, a ovest dalla stazione ferroviaria di Valle Aurelia a servizio dei quartieri Aurelio e Trionfale e ad est da piazzale degli eroi, questo ci ha aiutato nella definizione dei confini della superficie.



## Standard urbanistici

SERVIZI PUBBLICI SOGGETTI AD ESPROPRIO (CITTA' STORICA)	SERVIZI PUBBLICI ESISTENTI
 Servizi di interesse generale	 Servizi di interesse generale
 Servizi di interesse locale: attività collettive	 Servizi di interesse locale: attività collettive
 Servizi di interesse locale: verde ed impianti sportivi	 Servizi di interesse locale: verde ed impianti sportivi
 Parcheggi	 Parcheggi
SERVIZI PUBBLICI SOGGETTI AD ESPROPRIO (CITTA' CONSOLIDATA, ALTRO)	 Parchi istituiti
 Servizi di interesse locale: attività collettive verde ed impianti sportivi, parcheggi	 Confine comunale

Figura 1: Planimetria quartiere Aurelio - Piano Regolatore Generale - zona T2

Attraverso fotografie e misurazioni fatte durante i sopralluoghi nella zona di riferimento è stato possibile verificare il dimensionamento, la geometria e l'esposizione rispetto all'asse nord- sud degli edifici e la creazione di una planimetria su scala reale per poter effettuare le simulazioni necessarie a disporre gli algoritmi per il calcolo dei parametri energetici.

## 2.1 Analisi delle caratteristiche termofisiche degli edifici connessi alla nuova rete

Individuata l'area da analizzare per la progettazione della rete di TLR è stata effettuata la ricognizione territoriale delle utenze presenti, al fine di stabilirne sia le caratteristiche dimensionali sia le richieste di carico termico fondamentali per la successiva fase di progettazione della rete .

L'analisi energetica degli edifici è stata condotta attraverso le simulazioni effettuate con la piattaforma ODESSE di ENEA; dati di input per il modello software dell'edificio sono stati determinati in funzione della volumetria da riscaldare, della destinazione d'uso ( tipo di utenza), dei profili di occupazione, dell'ubicazione e dell' orientamento degli edifici e delle caratteristiche termofisiche dei materiali dei componenti opachi e trasparenti dell'involucro.

Grazie alla replicabilità delle caratteristiche geometriche-strutturali degli edifici presenti nel quartiere analizzato, è stato possibile raggrupparli in otto categorie come riportato in Tabella 1; ogni categoria è stata distinta per colore e riportata direttamente sulla pianta reale del quartiere come riportato in Figura 2.

**Tabella 1 – Volumetrie e numero edifici per categoria**

<b>Tipo edificio</b>	<b>numero</b>	<b>Volume risc ed [mc]</b>	<b>Volume Tot ed [mc]</b>
ARANCIONE	8	46250	370000
BLU	4	18375	73500
ROSA	3	60000	180000
ROSSO	5	25000	125000
VERDE	8	35000	280000
AZZURRO	15	20900	313500
SCUOLA	1	21852	21852
MARRONE	1	5940	5940
<b>Totale rete</b>	<b>45</b>	<b>233317</b>	<b>1369792</b>

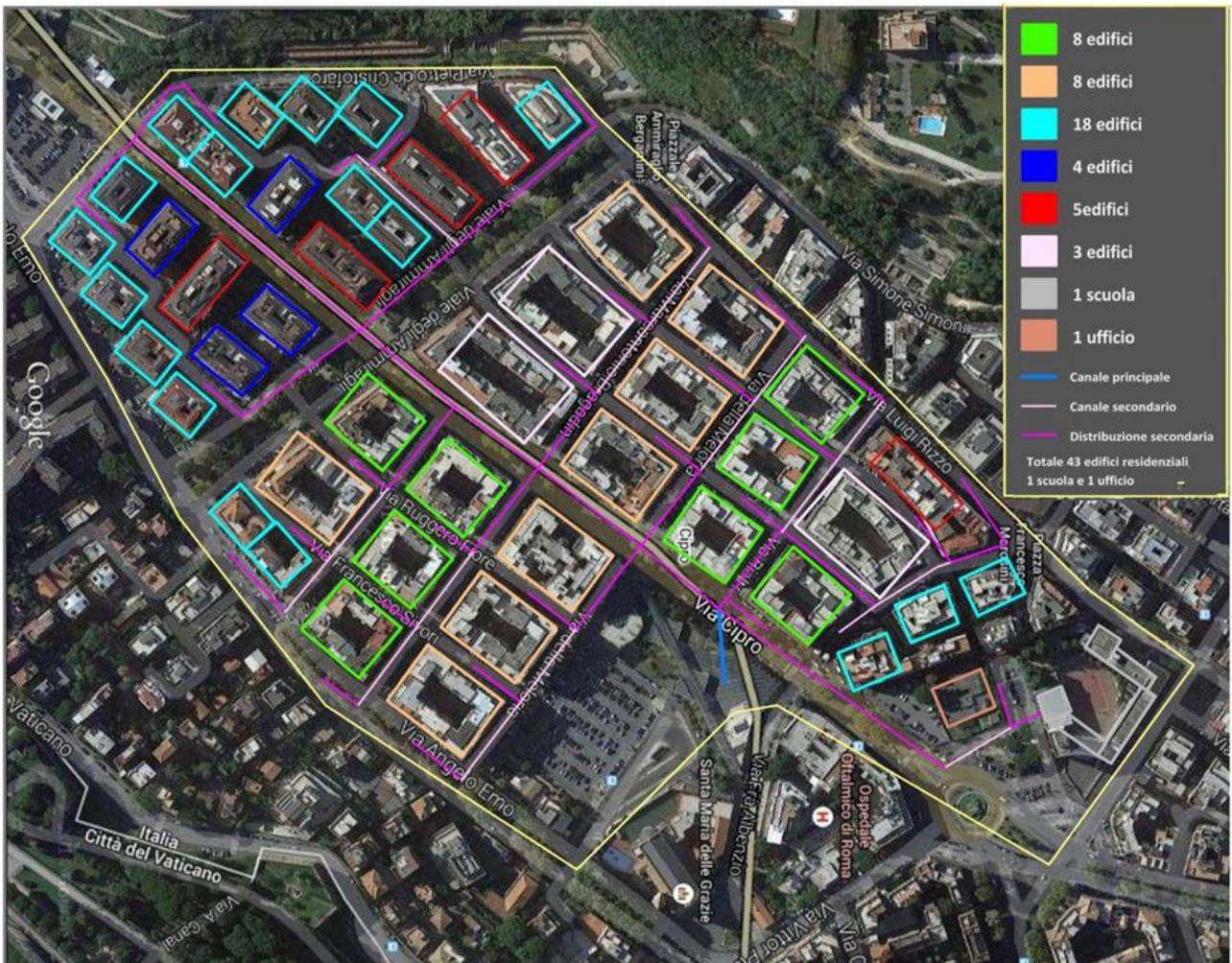


Figura 2: vista da satellite del quartiere oggetto di studio con identificazione delle 6 diverse tipologie di edifici

Attraverso i sopralluoghi effettuati si è potuto ricostruire la geometria e il numero di occupanti che caratterizza ciascuno degli 8 edifici tipo come riportato nelle seguenti tabelle :

**Tabella 2: caratteristiche edifici tipo : verde e arancione**

	edificio verde	edificio arancione
		
lunghezza	35 m	37 m
altezza	25 m	25 m
profondità	40 m	50 m
s/v	0.14	0.13
n.occupanti	162	216

**Tabella 3: caratteristiche edifici tipo : azzurro e rosso**

	edificio azzurro	edificio rosso
		
lunghezza	38 m	20 m
altezza	25 m	25 m
profondità	22 m	50 m
s/v	0.18	0.18
n.occupanti	108	114

**Tabella 4: caratteristiche edifici tipo : celeste e rosa**

	edificio celeste	edificio rosa
		
lunghezza	35	40
altezza	25	25
profondità	21	60
s/v	0.19	0.12
n.occupanti	103	270

**Tabella 5: caratteristiche edifici tipo : scuola e ufficio**

	scuola	ufficio
		
superficie riscaldata	7284	2160
s/v	0.31	0.29
n.occupanti	1300	400
numero di ricambi d'aria/ora	3	3

Nel corso dell'attività sono stati analizzati altre tipologie di edifici per individuare utenze tipo del parco nazionale in modo da facilitare il reperimento dei dati necessari per la simulazione delle reti di teleriscaldamento, tali "edifici tipo" sono riportati in appendice.

Per ogni edificio sono state misurate le superfici vetrate e, in funzione della tipologia di telaio e vetro, è stato calcolato la trasmittanza termica dell'infisso; si riporta in Tabella 6 nelle seguenti tabelle le caratteristiche geometriche e termofisiche degli infissi di ciascun edificio distinti per orientamento.

Tabella 6: caratteristiche geometriche e termofisiche degli infissi di ciascun edificio tipo

SUPERFICI VETRATE		
Edificio Verde		
	parete nord-sud	parete est- ovest
sup_tot [mq]	1500	1000
sup_opaca [mq]	1208	847
sup_vetro [mq]	208	134
sup_telaio [mq]	85	52
sup_infisso [mq]	292	153
Trasmittanza [W/mq*K]	4.7	5.8
Edificio Arancione		
	parete nord-sud	parete est- ovest
sup_tot [mq]	1250	925
sup_opaca [mq]	850	714
sup_vetro [mq]	310	167
sup_telaio [mq]	90	43
sup_infisso [mq]	400	210
Trasmittanza [W/mq*K]	4.9	5.0
Edificio Azzurro		
	parete nord-sud	parete est- ovest
sup_tot [mq]	950	550
sup_opaca [mq]	805	423
sup_vetro [mq]	97	63
sup_telaio [mq]	48	61
sup_infisso [mq]	145	126
Trasmittanza [W/mq*K]	7.0	6.0
Edificio Rosso		
	parete nord-sud	parete est- ovest
sup_tot [mq]	500	1250
sup_opaca [mq]	267	1134
sup_vetro [mq]	167	83
sup_telaio [mq]	65	33
sup_infisso [mq]	232	116
Trasmittanza [W/mq*K]	5.7	6.7

<b>Edificio Celeste</b>	parete nord-sud	parete est- ovest
sup_tot [mq]	875	525
sup_opaca [mq]	698	273
sup_vetro [mq]	133	190
sup_telaio [mq]	44	62
sup_infisso [mq]	177	252
Trasmittanza [W/mq*K]	4.8	4.8
<b>Edificio Rosa</b>		
	parete nord-sud	parete est- ovest
sup_tot [mq]	1500	1000
sup_opaca [mq]	1208	847
sup_vetro [mq]	208	134
sup_telaio [mq]	85	52
sup_infisso [mq]	292	153
Trasmittanza [W/mq*K]	4.7	5.8

Per la definizione della struttura muraria degli edifici si è ritenuto opportuno seguire le indicazioni fornite dalla UNI /TS 11300- 1 sulle prestazioni energetiche degli edifici in particolare per la determinazione della trasmittanza termica dei componenti opachi in edifici esistenti, in quanto non è stato possibile effettuare una determinazione rigorosa di calcolo ne sulla base di ispezioni ne da altre fonti attendibili. Si riporta in Tabella 7 le caratteristiche termofisiche delle pareti opache .

**Tabella 7: caratteristiche termofisiche componenti opachi involucro edilizio (comune a ciascuno degli edifici tipo simulato)**

Caratteristiche strutturali solaio calpestio (no pilotis)															
strato	materiale (codice ODESSE)	s	$\lambda$	$\lambda$	$\rho$	cs	massa frontale	resistenza	hi	he	trasmissione	capacità termica UNI 13786 (kJ/m <sup>2</sup> K) -			
		(m)	(W/mK)	/hm	(Kg/m <sup>3</sup> )	(KJ/kgK)	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> K/W)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	tot	esterna	interna	
1	Piastrella porcellana (237)	0.02	1.000		2300	0.80		0.020	5.88						
2	collante(124)	0.01	0.400		1350	1.25		0.025							
3	Malta cementizia di sottofondo (99)	0.05	1.400		2000	0.67		0.036							
4	impermeabilizzante (133)	0.01	0.170		1200	1.47		0.059							
5	muratura 149	0.18			1800	1.00		0.300							
6	Vespaio (148)	0.15	1.200		1700	1.09		0.125							
7															
8															
9															
10															
<b>Totale</b>		<b>0.42</b>					<b>0.00</b>	<b>0.73</b>				<b>1.361</b>	<b>239.97</b>	<b>182.11</b>	<b>57.86</b>

Caratteristiche strutturali solaio copertura															
strato	materiale (codice ODESSE)	s	$\lambda$	$\lambda$	$\rho$	cs	massa frontale	resistenza	hi	he	trasmissione	capacità termica UNI 13786 (kJ/m <sup>2</sup> K) -			
		(m)	(W/mK)	/hm	(Kg/m <sup>3</sup> )	(KJ/kgK)	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> K/W)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	tot	esterna	interna	
1	Piastrella porcellana (237)	0.02	1.000		2300	0.80		0.020	10.00						
2	Malta cementizia di sottofondo (99)	0.03	1.400		2000	0.67		0.021							
3	isolamento(86)	0.02	0.054		40	0.67		0.370							
4	muratura 160	0.30			1800	1.00		0.370							
5	intonaco(97)	0.02	0.700		1400	1.09		0.021							
										25					
<b>Totale</b>		<b>0.39</b>					<b>0.00</b>	<b>0.94</b>				<b>1.0602</b>	<b>243.92</b>	<b>182.990</b>	<b>60.930</b>

Caratteristiche strutturali solaio intermedio															
strato	materiale (codice ODESSE)	s	$\lambda$	$\lambda$	$\rho$	cs	massa frontale	resistenza	hi	he	trasmissione	capacità termica UNI 13786 (kJ/m <sup>2</sup> K) -			
		(m)	(W/mK)	/hm	(Kg/m <sup>3</sup> )	(KJ/kgK)	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> K/W)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	tot	esterna	interna	
1	Piastrella porcellana (237)	0.02	1.000		2300	0.80		0.015	10.00						
2	collante(124)	0.01	0.400		1350	1.25		0.025							
3	Malta cementizia di sottofondo(99)	0.03	1.400		2000	0.67		0.021							
4	impermeabilizzante (133)	0.01	0.170		1200	1.47		0.059							
5	muratura 164	0.24			10	1.09		0.350							
6	intonaco(94)	0.02	0.700		1400	1.09		0.021							
7															
8															
9															
10										5.88					
<b>Totale</b>		<b>0.32</b>					<b>0.00</b>	<b>0.76</b>				<b>1.313</b>	<b>102.89</b>	<b>48.300</b>	<b>54.590</b>

Caratteristiche strutturali parete esterna															
strato	materiale (codice ODESSE)	s	$\lambda$	$\lambda$	$\rho$	cs	massa frontale	resistenza	hi	he	trasmissione	Capacità termica UNI 13786 (kJ/m <sup>2</sup> K) - 24h			
		(m)	(W/mK)	/hm	(Kg/m <sup>3</sup> )	(KJ/kgK)	(Kg/m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> K/W)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	(W/m <sup>2</sup> K)	tot	esterna (cep)	interna(cip)	
1	Intonaco interno (96)	0.02	0.350		1200	1.09		0.057	7.70	0.13					
2	Forato (109)	0.10	0.900		2000	0.84		0.111							
3	intercapedine d'aria (19)	0.040			1	1.00		0.180							
4	Forato (109)	0.250	0.900		2000	0.84		0.278							
5	Intonaco esterno (97)	0.02	0.700		1400	1.09		0.029							
6															
7															
8															
9															
10								0.82		25					
<b>Totale</b>		<b>0.43</b>					<b>0.00</b>					<b>1.213</b>	<b>164.33</b>	<b>104.53</b>	<b>59.80</b>

## 2.2 Profili di utilizzo degli edifici tipo presenti nel quartiere oggetto dello studio

### 2.2.1 Profili di utilizzo edificio tipo residenziale

Il guadagno interno dovuto all'illuminazione artificiale degli ambienti (Figura 3) e al profilo di affollamento degli occupanti (Figura 4), e i ricambi d'aria (Figura 5) sono stati valutati secondo le condizioni generali di utilizzo di un edificio residenziale, seguendo la normativa di riferimento esistente e applicandoli ai dati reali in nostro possesso; l'analisi è stata condotta secondo una media di persone per piano in base ai metri quadri dei singoli appartamenti.

Nei giorni feriali si è ipotizzato un numero inferiore di presenze nell'edificio durante le ore lavorative della giornata, dalle 8 alle 13 e dalle 16 alle 18, mentre nelle ore serali e notturne si è impostato il profilo con il numero totale degli occupanti.

Nei giorni festivi della settimana si è ipotizzato un carico totale del numero degli occupanti solo nelle ore serali della Domenica mentre per il resto delle ore si è pensato di ridurre il numero di occupanti a  $\frac{3}{4}$  circa del totale del numero di occupanti.

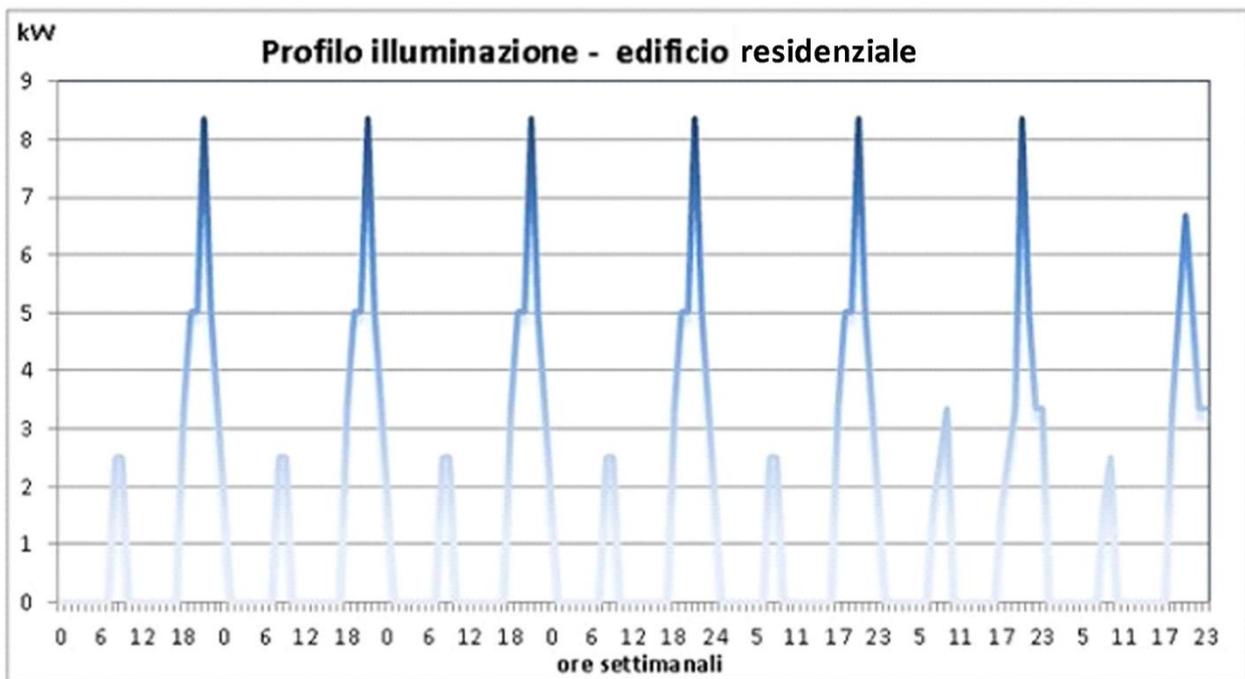


Figura 3: Guadagno per illuminazione artificiale : profilo giornaliero

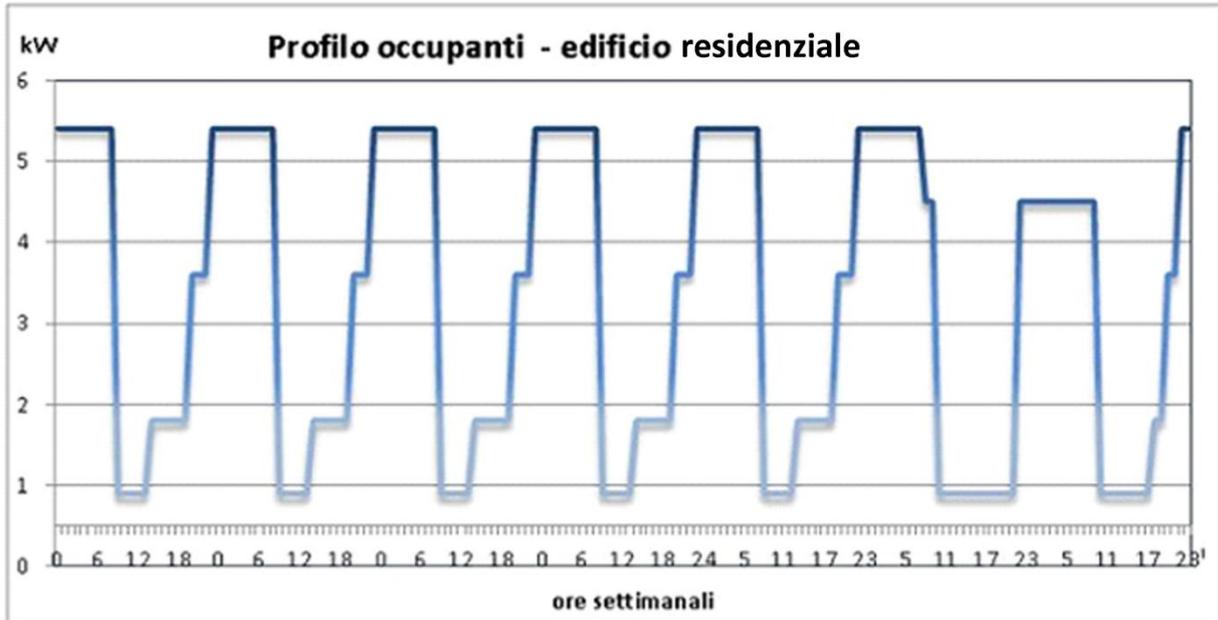


Figura 4: : Guadagno per occupanti edificio residenziale : profilo giornaliero

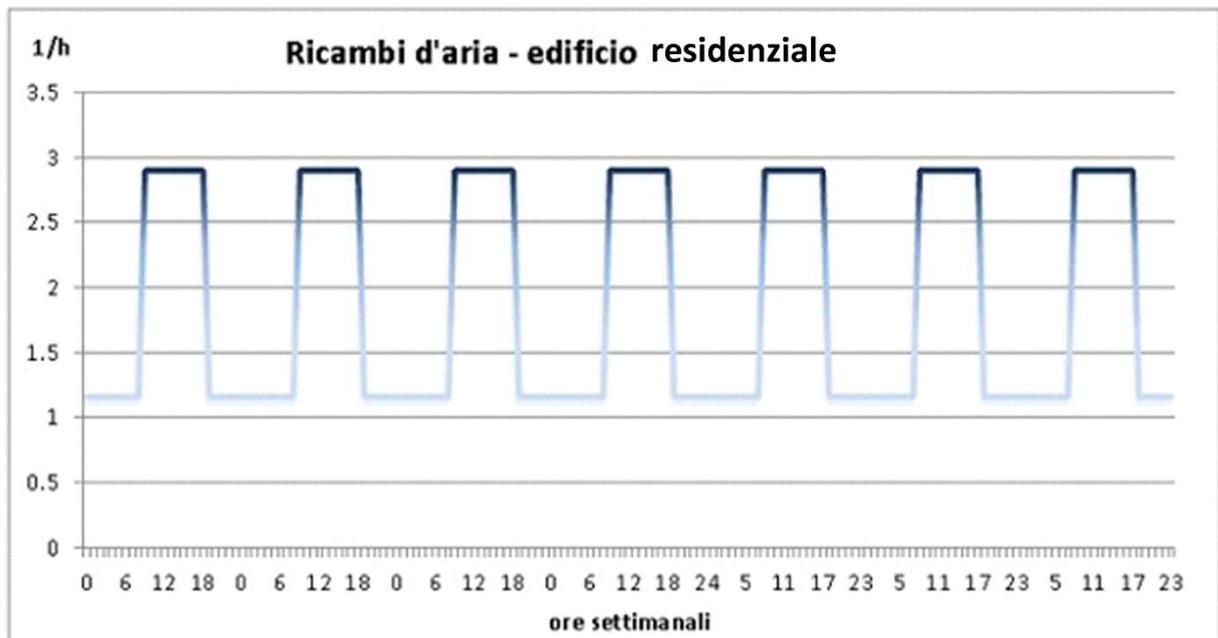


Figura 5: : ricambi d'aria edifici residenziale: profilo giornaliero

### 2.2.2 Profili di utilizzo – scuola

Attraverso il sopralluogo si è potuto stabilire il numero esatto degli alunni e del personale che frequentano la scuola in oggetto creando il profilo di carico degli occupanti e dei ricambi d'aria /ora corrispondente al numero reale dei fruitori della stessa.

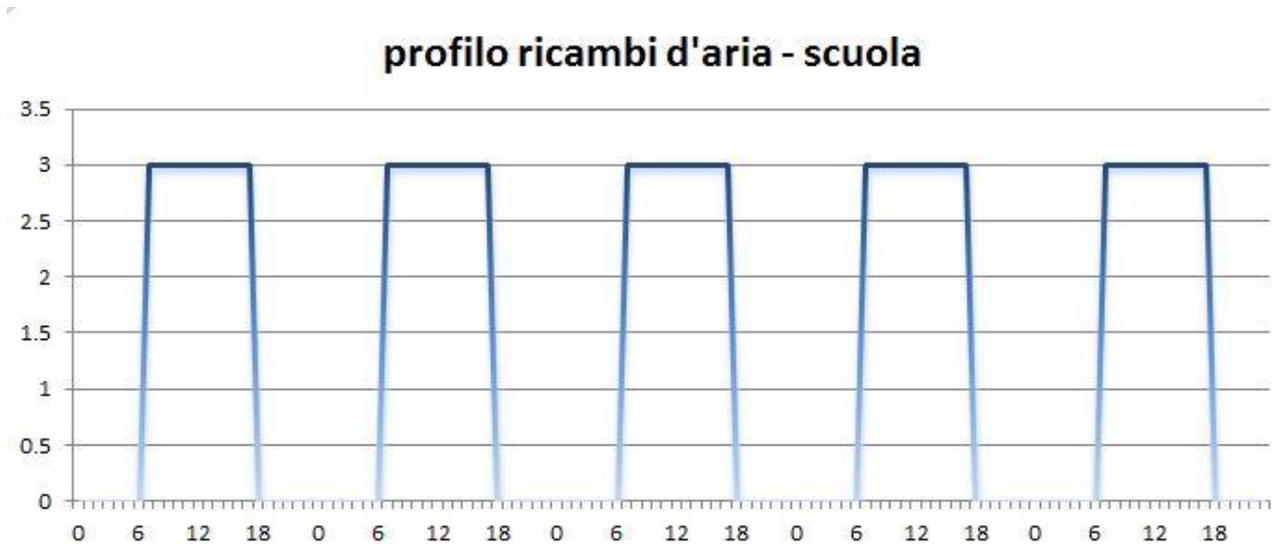


Figura 6: ricambi d'aria scuola: profilo giornaliero [1/h]

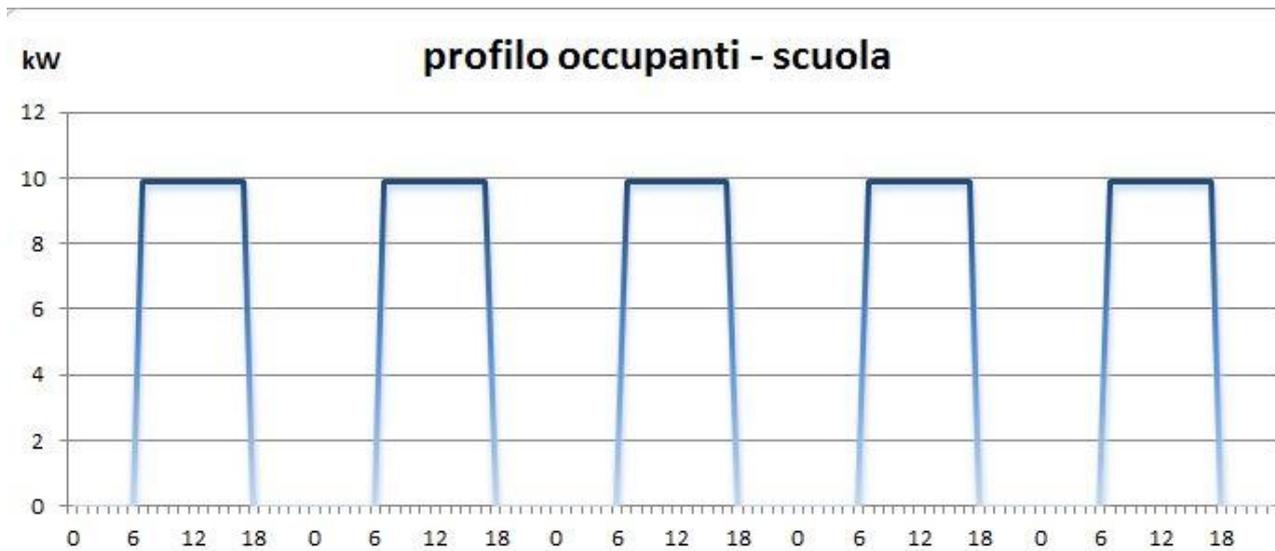


Figura 7: Guadagno per occupanti scuola : profilo giornaliero

### 3. Caratterizzazione energetica delle utenze presenti nel quartiere simulato

Grazie ai dati raccolti durante i sopralluoghi e alla elaborazione degli stessi è stato possibile valutare la richiesta termica delle singole tipologie di edificio, con l'obiettivo di stabilire la configurazione impiantistica ottimale e la strategia di gestione migliore della nuova rete di teleriscaldamento.

Utilizzando la piattaforma di simulazione ODESSE è stato valutato per ogni categoria di edificio, in base alle caratteristiche termofisiche dell'involucro e ai profili di utilizzo illustrati precedentemente, il fabbisogno energetico per il riscaldamento degli ambiente e per la fornitura di acqua calda sanitaria (ACS).

Non avendo avuto la possibilità di accedere alle centrali termiche degli edifici e non avendo a disposizione i dati di targa delle caldaie installate in ciascuno degli edifici è stata ricercata la potenza termica nominale della caldaia a gas la richiesta termica annua di ogni stabile attraverso la simulazione con la piattaforma ENSim.

Per ciascun edificio sono state effettuate diverse simulazione variando la potenza termica della caldaia centralizzata installata fino a raggiungere una condizione di confort termico annuale individuato dal mantenimento della temperatura interna pari a  $20^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  durante le ore diurne e  $18^{\circ}\text{C}\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  durante le ore notturne. La richiesta di energia termica è stata calcolata determinando l'apporto di calore necessario annualmente per compensare le dispersioni termiche attraverso l'involucro opaco e per infiltrazioni attraverso gli infissi.

Dai risultati ottenuti dalle singole simulazioni e attraverso l'esame puntuale di alcuni output, come l'andamento dell'energia termica dispersa e quello della temperatura è stato possibile individuare il carico termico nominale di ciascun edificio coincidente che nella successiva analisi dovrà essere fornito dalla nuova rete di TLR.

Si riportano in Tabella 8 i risultati delle simulazioni energetiche corrispondenti alla prima ipotesi dimensionale delle caldaie e dell'accumulo termico simulato per ogni edificio.

**Tabella 8 – Potenze termiche – ipotesi 1**

Potenza rete (ipotesi_1)						
Edificio	Potenza ed [kW]	numero edifici	Potenza tot [kW]	Volume riscaldato [mc]	Volume accumulo Vacc [mc]	Volume riscaldato tot [mc]
ARANCIONE	1600	8	12800	46250	53	370000
BLU	1000	4	4000	18375	24	73500
ROSA	2200	3	6600	60000	72	180000
ROSSO	1200	5	6000	25000	32	125000
VERDE	1400	8	11200	35000	25	280000
AZZURRO	1100	18	19800	20900	25	376200
SCUOLA	1200	1	1200	21852	26	21852
MARRONE	800	1	800	5940	7	5940
<b>Totale rete</b>		[kW]	<b>62400</b>	<b>233317</b>	<b>264</b>	<b>1432492</b>
		[MW]	<b>62,4</b>			

Nelle successive figure si rappresentano, a titolo di esempio, gli andamenti orari della temperatura interna e del carico termico di ciascun edificio corrispondenti ad una delle ipotesi dimensionali.

In particolare, per il gruppo di "edificio arancione", nelle Figura 8 e Figura 9 vengono rappresentati rispettivamente, l'andamento annuale del carico termico e della temperatura interna (con passo di

simulazione di 900 sec) corrispondente all'ipotesi di installazione di una caldaia a gas metano con potenza nominale pari a 1200 kW termici.

Come si osserva dall'andamento della temperatura, quasi sempre < ai 20 °C, detto valore non porta al raggiungimento del benessere termo-igrometrico; pertanto, sono state effettuate altre simulazioni fino a trovare il valore di 1460 kW che consente di raggiungere e mantenere la temperatura interna dell'edificio a 20 °C

Analogamente, anche per gli altri edifici sono state effettuate tali simulazioni. Si riportano rispettivamente per l'edificio verde e blu, nelle Figura 10, Figura 11 e Figura 12, Figura 13 e Figura 14 l'andamento del carico termico, quello della temperatura dell'accumulo di edificio (T<sub>tan</sub>) e quello della temperatura interna. Anche in questo caso le simulazioni sono state effettuate fino a quando la potenza scelta per la caldaia di edificio non consentisse di mantenere per tutto il periodo di riscaldamento una temperatura interna compresa tra 20°C e 18°C. Per un corretto dimensionamento dell'impianto termico di edificio è stato valutato anche il volume dell'accumulo modellizzato all'interno dell'edificio e necessario a valutare una corretta inerzia termica del reale volume d'acqua contenuto nell'impianto di riscaldamento. Il dimensionamento delle caldaie e del accumulo termico per ogni categoria di edificio è riportato in Tabella 9 e in Tabella 10.

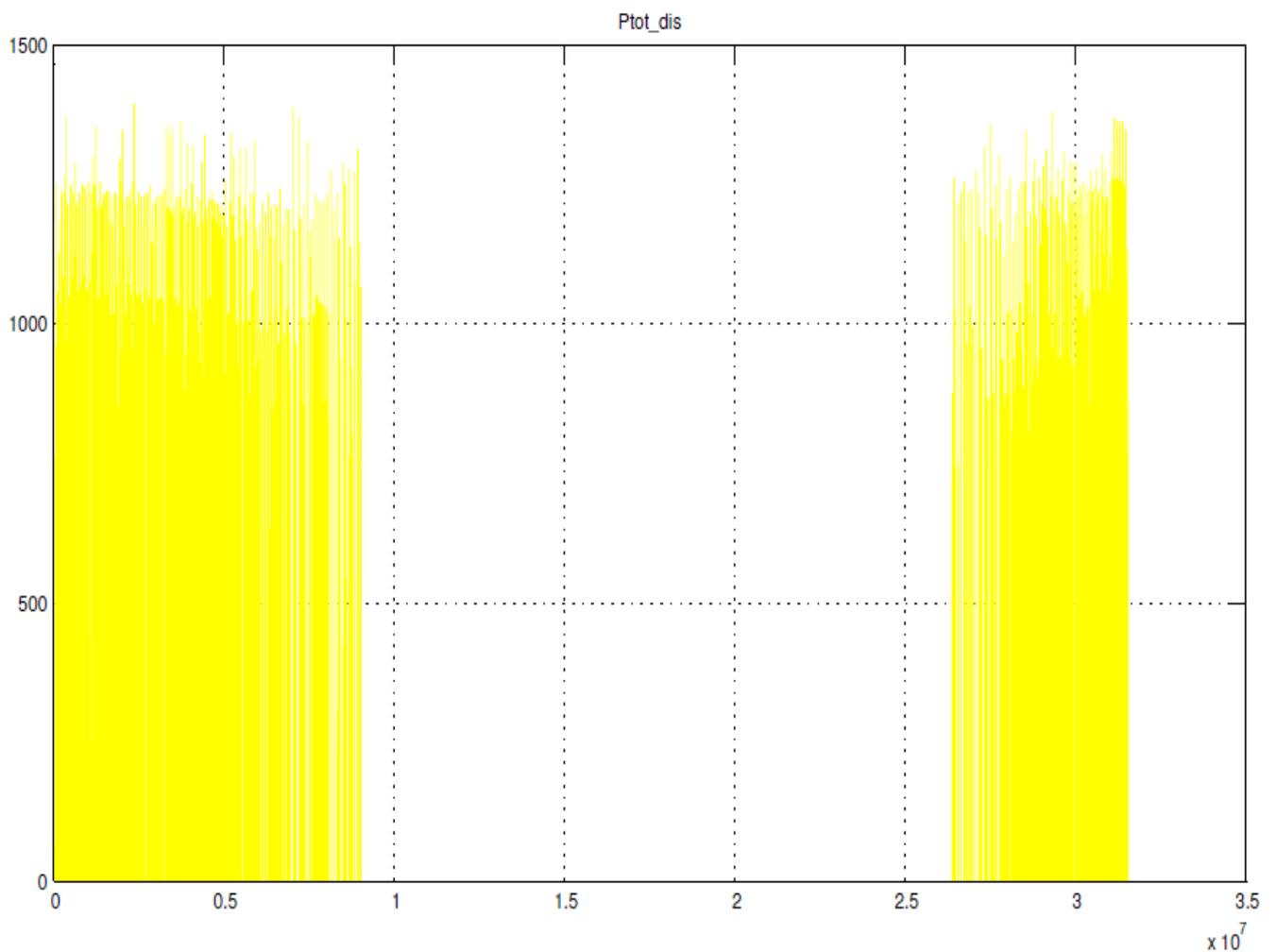


Figura 8- Carico termico da edificio arancione [kW]

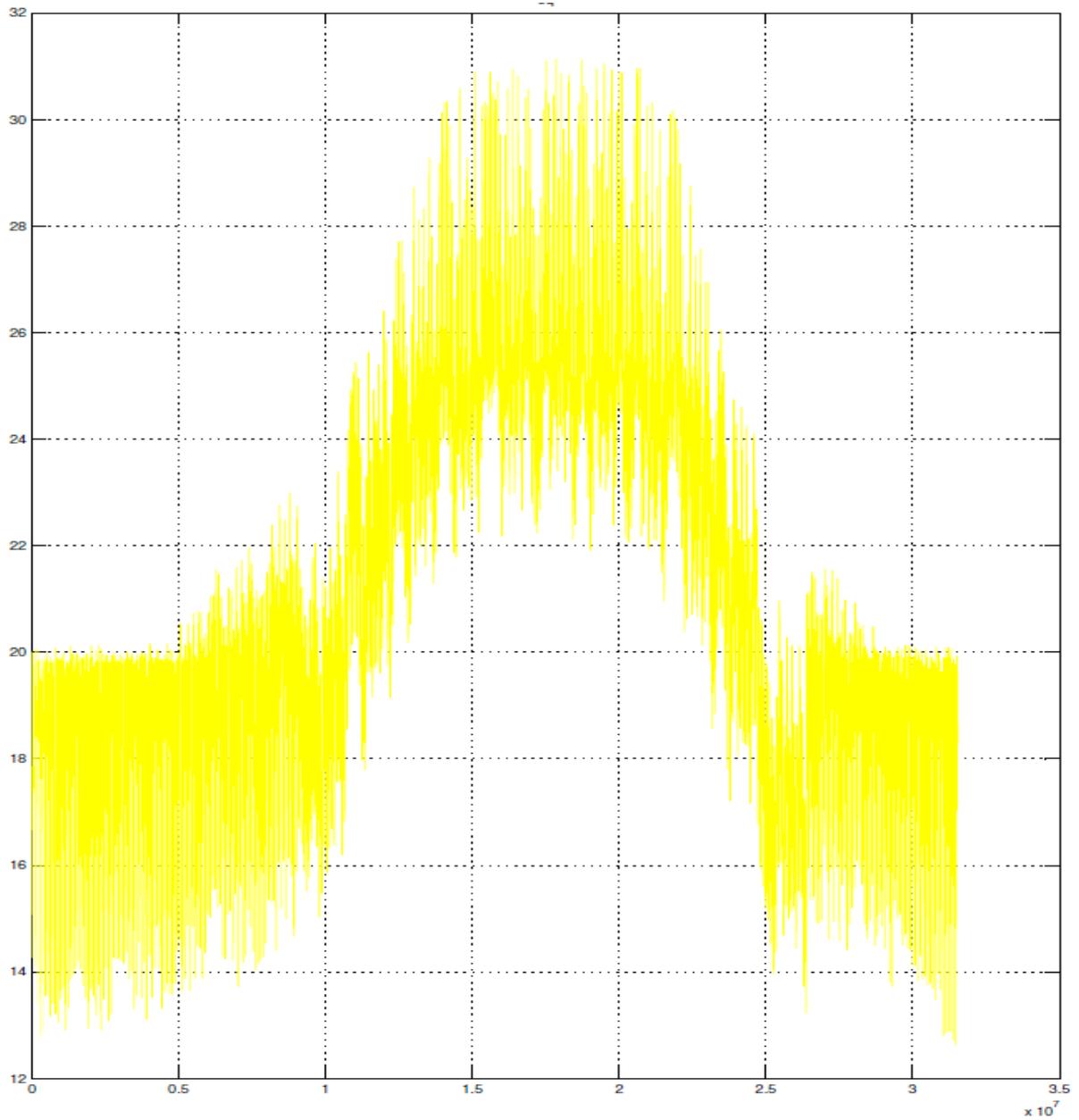


Figura 9- Temperatura interna- ed. arancione [°C] - ottenuta con potenza caldaia pari a 1200 kW

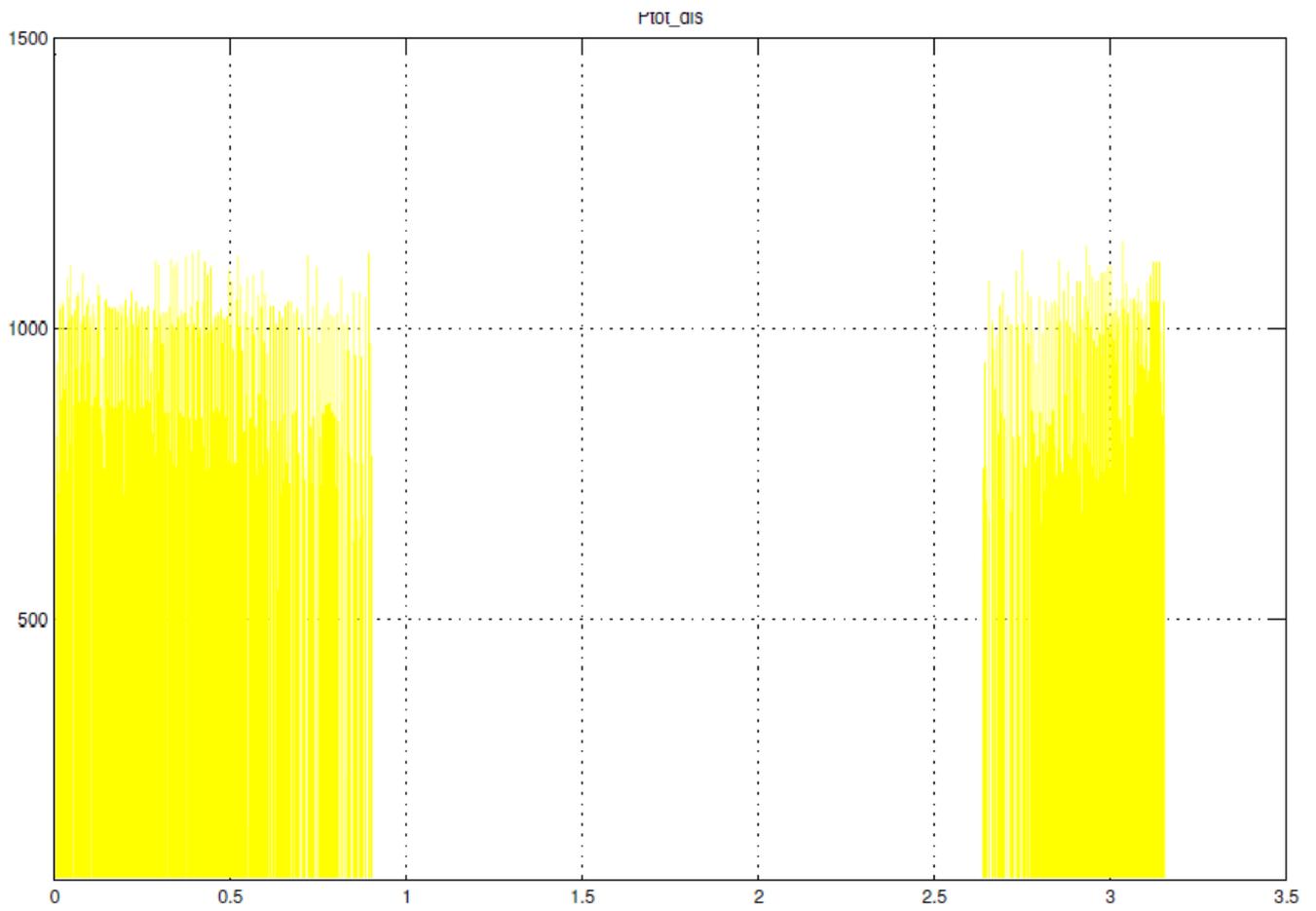


Figura 10- Carico termico richiesto da edificio verde [kW]

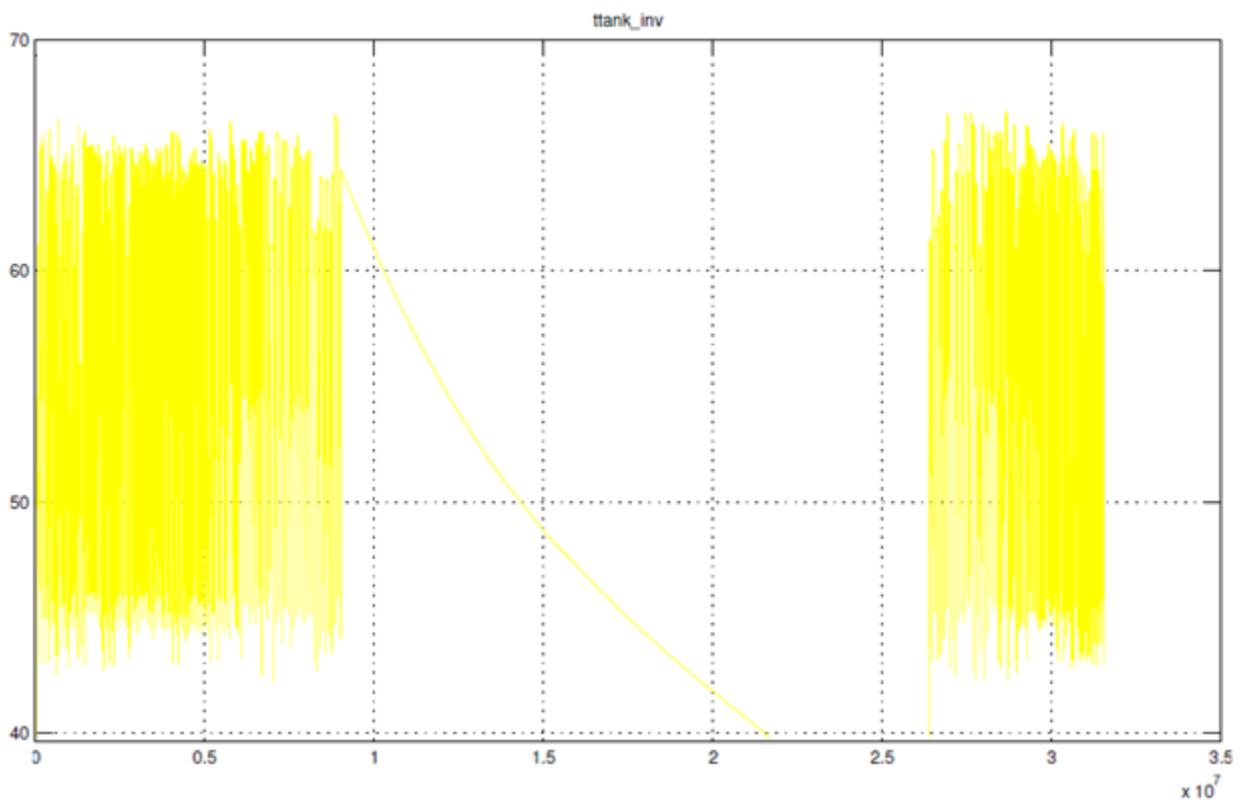


Figura 11- Temperatura accumulo termico (Ttank) [°C] - Edificio verde per potenza caldaia installata pari a 1000 kW

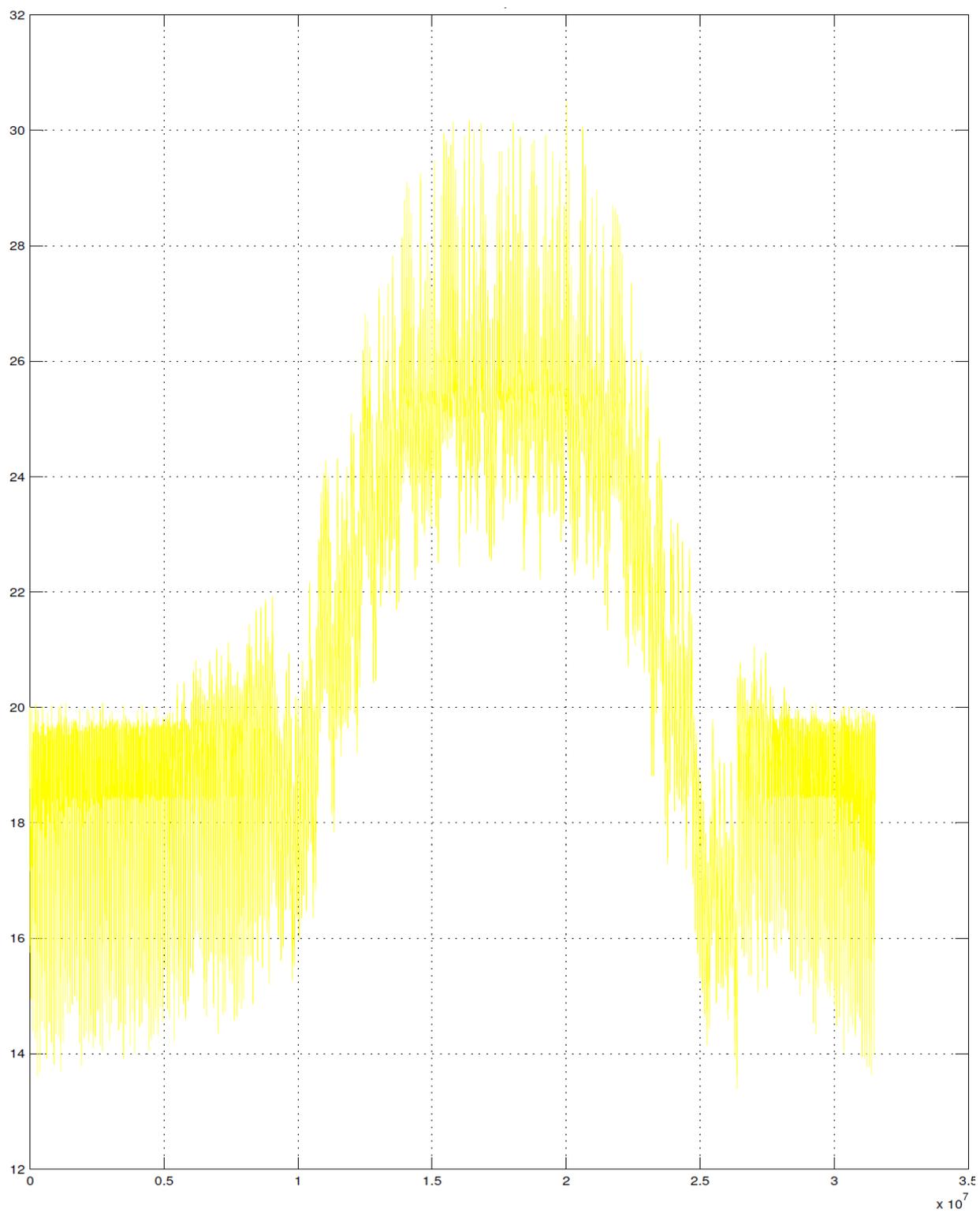


Figura 12- Temperatura interna- ed. verde ottenuta per potenza caldaia installata pari a 1000 kW

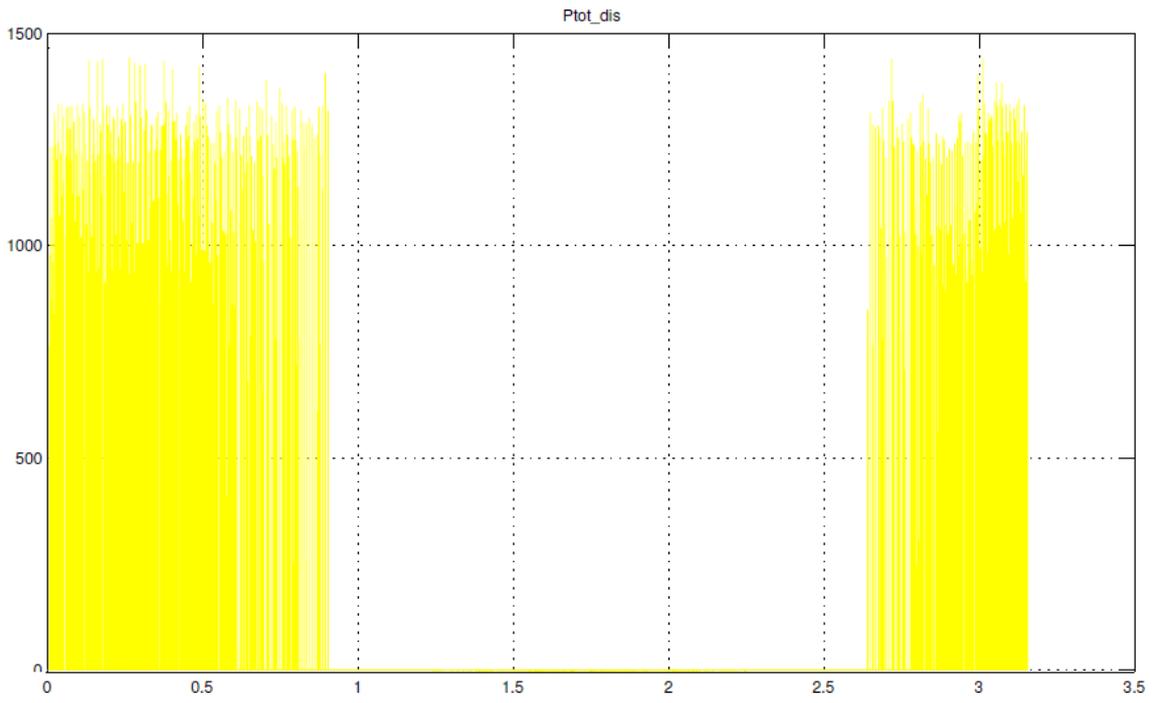


Figura 13- Carico richiesto da edificio blu [kW]

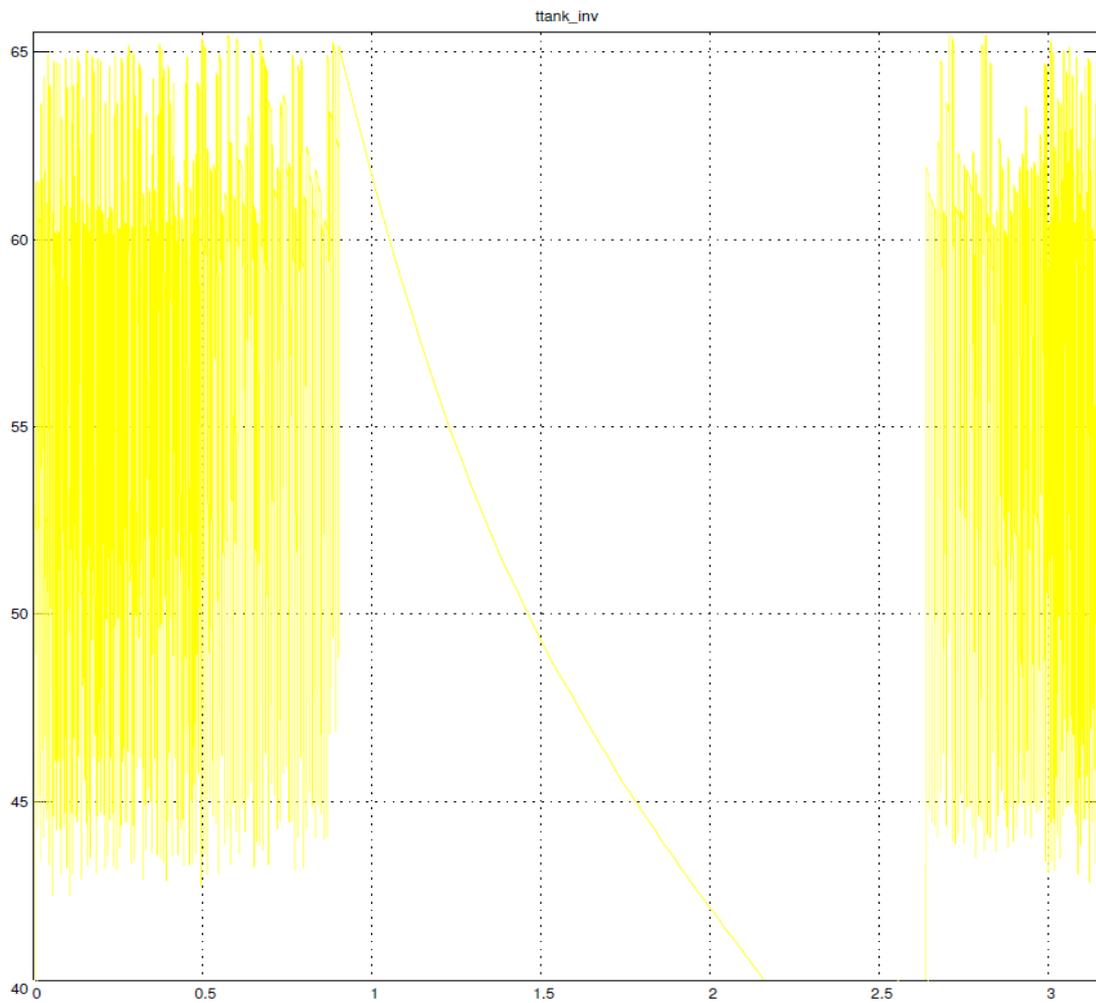
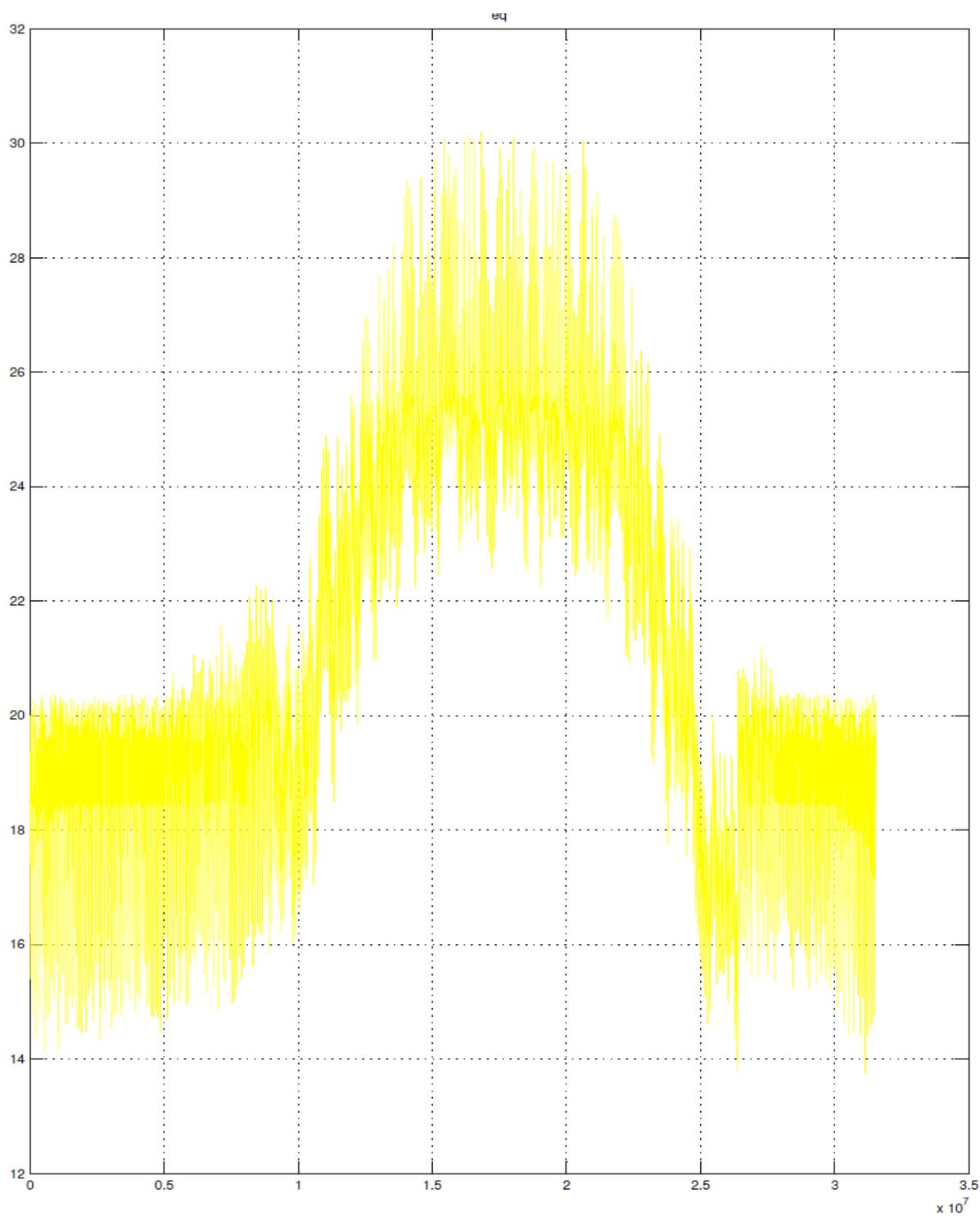


Figura 14- Temperatura Ttank - ed. blu ottenuta per potenza caldaia installata pari a 1300 kW



**Figura 15- Temperatura interna- ed. blu [°C] ottenuta per potenza caldaia installata pari a 1300 kW**

Terminata la fase di analisi energetica dei 45 edifici, una volta scelto il valore delle potenze per gli edifici e i volumi di accumulo, riportati nelle Tabella 10 e Tabella 11, è stata fissata una potenza termica della rete di TLR pari a circa 45 MW.

**Tabella 9 – Potenze termiche edifici**

Potenze tipo edificio [kW]							
arancione	rosa	rosso	verde	blu	azzurro	grigio (scuola)	marrone (ufficio)
1460	1890	900	1100	780	900	700	400

**Tabella 10 – Volumi di accumulo edifici**

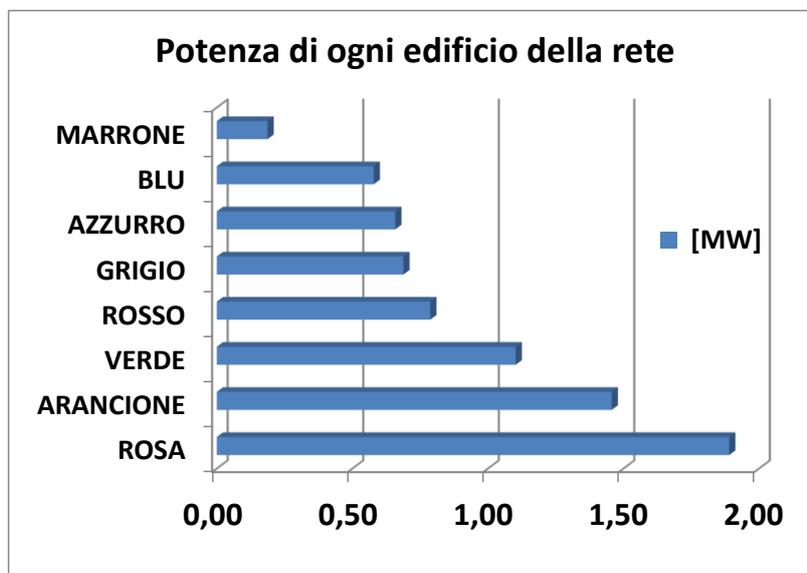
Volume di accumulo Vacc per tipo edificio [mc]							
arancione	rosa	rosso	verde	blu	azzurro	grigio (scuola)	marrone (ufficio)
52	72	40	40	30	35	25	18

Un'ultima verifica sul valore della potenza termica è stata effettuata considerando un valore di 31,5 [W/m<sup>3</sup>] di potenza termica per volume riscaldato.

**Tabella 11 – Potenze finali di dimensionamento**

NUOVE POTENZE RETE			
Edificio	[W]	Potenza ed [MW]	Potenza tot [MW]
ARANCIONE	1456875	1,46	11,66
BLU	578813	0,58	2,32
ROSA	1890000	1,89	5,67
ROSSO	787500	0,79	3,94
VERDE	1102500	1,10	8,82
AZZURRO	658350	0,66	11,85
GRIGIO (SCUOLA)	688338	0,69	0,69
MARRONE (UFFICIO)	187110	0,19	0,19
TOTALE	7349486	7,35	45

Nelle Figura 17 e Figura 17 sono rappresentate le potenze di picco dei singoli edifici e la totale potenza termica che dovrà soddisfare la nuova rete di telriscaldamento.



**Figura 16- Potenza termica edifici**

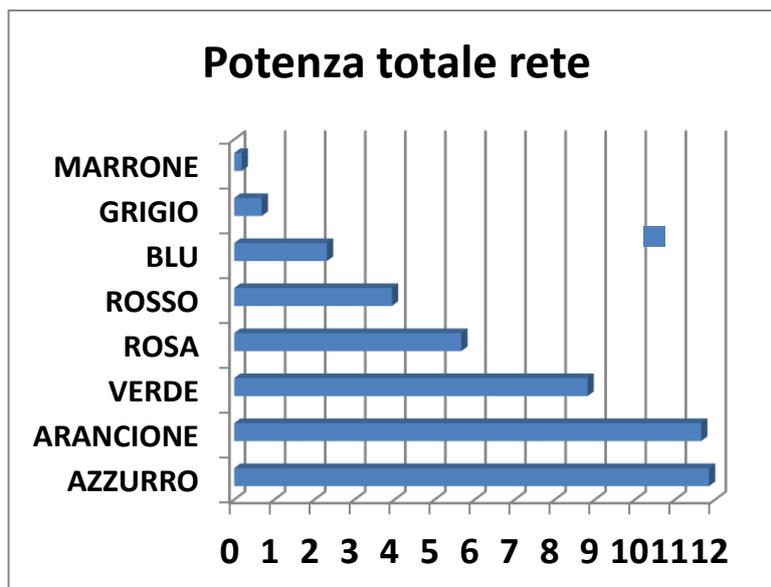


Figura 17- Potenza termica totale rete

#### 4. Ipotesi di configurazione nuova rete di TLR a servizio del quartiere

Al fine di poter elaborare soluzioni progettuali realistiche per l'installazione delle condotte di mandata e di ritorno della nuova rete all'interno del contesto urbano scelto, sono stati svolti diversi sopralluoghi nell'area d'interesse cercando di valutare tutte le problematiche relative al passaggio delle tubazioni, per minimizzare i costi dei materiali, della cantierizzazione e della messa in opera.

Attraverso attente valutazioni sono state studiate le soluzioni che consentissero di rispettare il costruito esistente e che non alterassero né l'accesso ai singoli edifici da parte dei proprietari, né la viabilità automobilistica; infatti l'area in oggetto ricade in una zona di Roma molto trafficata, di collegamento tra diversi quartieri, che comprende al suo interno arterie di snodo a scorrimento veloce come Via Emo e Via Cipro sede anche di una delle fermate a più alta frequentazione da parte degli utenti della metro A.

Uno dei principali problemi nella progettazione di una nuova rete di teleriscaldamento in un'area densamente popolata è l'individuazione degli spazi necessari al posizionamento delle nuove strutture ad elevato ingombro dove posizionare i sistemi di generazione e controllo.

La progettazione della rete di TLR, e la sua successiva implementazione nella piattaforma ENSim, è stata effettuata tenendo conto dei vincoli e delle problematiche esistenti per il passaggio della rete di distribuzione di mandata / ritorno. La configurazione scelta è di tipo radiale e le sottostazioni di centrale degli edifici sono collegati alla distribuzione secondaria sia mediante i tronchi e sia mediante i canali secondari.

Con la distribuzione ipotizzata il passaggio delle condotte potrebbe essere effettivamente realizzabile. Di fatto, si è tenuto conto, che numerosi edifici presentano dei piani interrati e/o sono collocati in aree poco accessibili in quanto caratterizzate da diversi livelli di quota del terreno. Si osserva tuttavia, che detti problemi potrebbero causare delle difficoltà nella realizzazione dello scavo dei canali e dei relativi collegamenti. Si è scelto quindi, di ubicare la centrale termica, CT, nell'area dove è collocata la metropolitana della stazione di Cipro. Più precisamente, l'area di interesse è attualmente destinata al

parcheggio di alcuni autobus del servizio di trasporto pubblico della città. Da qui parte il canale principale, che collega la CT alla distribuzione secondaria.

La rete di TLR si compone di 73 tratti per una lunghezza totale di circa 4 km. Ciascun tratto è stato dimensionato assumendo per la velocità del fluido un valore minore di 2,5 m/s, limite di riferimento consigliato nella pratica impiantistica del TLR. La rete di distribuzione a 2 tubi, una di mandata e l'altra di ritorno, è stata differenziata in funzione della velocità e del tipo di collegamento nelle seguenti tipologie di condotte:

- canale principale (rappresentato in figura dal colore rosso);
- distribuzione secondaria (rappresentata in figura dal colore verde);
- canale secondario (rappresentato in figura dal colore magenta);
- tronco (rappresentata in figura dal colore celeste).

La Figura 18 rappresenta la rete di distribuzione sopra illustrata, dove con N viene indicato il nodo di miscelazione per la distribuzione di ritorno e con S il punto di collegamento tra il tronco e la sottostazione di pie di stabile di ogni edificio.

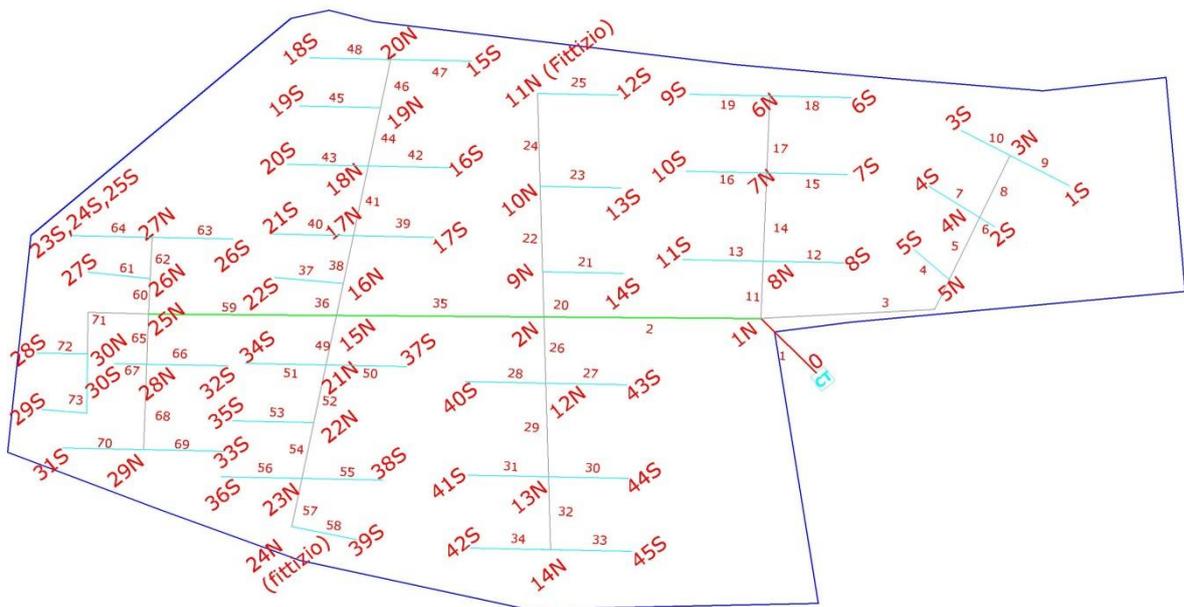


Figura 18- Ipotesi di configurazione per la nuova rete di TLR installata nel quartiere Valle Aurelia (Roma)

Procedendo nella descrizione dell'attività, dopo aver determinato la potenza termica da fornire agli edifici, sono state calcolate le portate di fluido per ogni tratto della rete. Considerando quindi, velocità diverse a seconda del tipo di tratto, sono stati individuati i diametri esterni dei tubi in funzione della portata di fluido che trasporta la potenza richiesta. Nelle Tabella 12, Tabella 13, Tabella 14 e Tabella 15 sono riportati le

caratteristiche di ogni tratto: carico massimo  $Q_{loadmax}$ , portata volumica  $G_v$ , portata massica  $G_m$ , velocità del fluido  $v$ , lunghezza tratto  $L$ , diametro del tubo  $d_0$ , calcolati con un  $\Delta T$  pari a 20 °C.

Una volta ricavate le caratteristiche dimensionali, i tubi commerciali sono stati scelti tra quelli aventi un diametro interno, uguale o immediatamente prossimo al valore calcolato, e l'isolamento si è scelto un isolamento medio caratterizzato dai seguenti coefficienti : di conduzione condotta pari a 55 [W/m °C] e di isolante paria a 0,027 [W/m °C] e di isolante. Nella tabelle 3 e 4 si riportano per ogni tratto i valori calcolati secondo i parametri di scelti ( spessore isolante, diametro nominale, coefficienti di conduzione condotta, coefficiente di conduzione isolante).

Tabella 12 – Dati geometrici, energetici e parametri di dimensionamento

Tipo distribuzione	Qloadmax [W]	Gv [mc/s]	Gm [kg/s]	v [m/s]	tratto	L [m]	d0 [mm]
<b>canale principale</b>	45180000	0,5397	540	2,50	<b>1</b>	42	524,26
<b>distribuzione secondaria</b>	45164870	0,5395	539	2,50	<b>2</b>	119	524,17
canale secondario	2860000	0,0342	34	1,10	<b>3</b>	95	198,85
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>4</b>	8	100,19
canale secondario	2200000	0,0263	26	0,85	<b>5</b>	37	198,40
tronco	190000	0,0023	2	0,30	<b>6</b>	10	98,14
tronco	1350000	0,0161	16	2,00	<b>7</b>	16	101,32
tronco	690000	0,0082	8	1,00	<b>8</b>	40	102,44
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>9</b>	37	100,19
canale secondario	7080000	0,0846	85	1,20	<b>10</b>	15	299,55
canale secondario	7080000	0,0846	85	1,2	<b>11</b>	31,4	299,55
tronco	1100000	0,0131	13	1,60	<b>12</b>	12	102,25
tronco	1100000	0,0131	13	1,60	<b>13</b>	5	102,25
canale secondario	4880000	0,0583	58	0,82	<b>14</b>	49	300,85
tronco	1890000	0,0226	23	0,70	<b>15</b>	5	202,64
tronco	1100000	0,0131	13	1,50	<b>16</b>	8	105,61
canale secondario	1890000	0,0226	23	0,70	<b>17</b>	42	202,64
tronco	790000	0,0094	9	1,20	<b>18</b>	15	100,06
tronco	1100000	0,0131	13	1,50	<b>19</b>	13	105,61
canale secondario	4380000	0,052317	52	0,75	<b>20</b>	25	298,02
tronco	1460000	0,0174	17	2,10	<b>21</b>	8	102,83
canale secondario	2920000	0,0349	35	1,10	<b>22</b>	47	200,93
tronco	1460000	0,0174	17	2,00	<b>23</b>	8	105,37
canale secondario	1460000	0,0174	17	0,55	<b>24</b>	50	200,93
tronco	1460000	0,0174	17	2,00	<b>25</b>	8	105,37
canale secondario	7680000	0,0917	92	1,30	<b>26</b>	37	299,74
tronco	1460000	0,0174	17	2,10	<b>27</b>	10	102,83
tronco	1100000	0,0131	13	1,70	<b>28</b>	9	99,20
canale secondario	5480000	0,0655	65	0,90	<b>29</b>	51	304,31
tronco	1460000	0,0174	17	2,10	<b>30</b>	9	102,83
tronco	1100000	0,0131	13	1,70	<b>31</b>	9	99,20
canale secondario	2560000	0,0306	31	0,95	<b>32</b>	41	202,44
tronco	1460000	0,0174	17	2,00	<b>33</b>	9	105,37
tronco	1100000	0,0131	13	1,70	<b>34</b>	9	99,20
<b>distribuzione secondaria</b>	15290000	0,1826	183	1,90	<b>35</b>	113	349,84

Tabella 13 – Dati geometrici, energetici e parametri di dimensionamento

Tipo distribuzione	Qloadmax [W]	Gv [mc/s]	Gm [kg/s]	v [m/s]	tratto	L [m]	d0 [mm]
canale secondario	9590000	0,1145	115	1,20	<b>36</b>	18	348,63
tronco	790000	0,0094	9	1,15	<b>37</b>	15	102,21
canale secondario	33370000	0,3986	399	2,50	<b>38</b>	27	450,56
tronco	1890000	0,0226	23	0,70	<b>39</b>	31	202,64
tronco	1320000	0,0158	16	0,50	<b>40</b>	20	200,37
canale secondario	4140000	0,0495	49	0,70	<b>41</b>	39	299,91
tronco	1890000	0,0226	23	0,70	<b>42</b>	25	202,64
tronco	790000	0,0094	9	1,10	<b>43</b>	17	104,51
canale secondario	2910000	0,0348	35	1,10	<b>44</b>	33	200,58
tronco	790000	0,0094	9	1,10	<b>45</b>	17	104,51
canale secondario	2120000	0,0253	25	0,80	<b>46</b>	28	200,75
tronco	1460000	0,0174	17	0,55	<b>47</b>	24	200,93
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>48</b>	17	100,19
canale secondario	5700000	0,0681	68	0,95	<b>49</b>	28	302,08
tronco	1460000	0,0174	17	0,55	<b>50</b>	15	200,93
tronco	580000	0,0069	7	0,85	<b>51</b>	22	101,87
canale secondario	4020000	0,0480	48	0,65	<b>52</b>	32	306,69
tronco	580000	0,0069	7	0,85	<b>53</b>	22	101,87
canale secondario	3440000	0,0411	41	0,57	<b>54</b>	28	302,96
tronco	1460000	0,0174	17	2,00	<b>55</b>	20	105,37
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>56</b>	24	100,19
canale secondario	1320000	0,0158	16	0,50	<b>57</b>	31	200,37
tronco	1320000	0,0158	16	2,00	<b>58</b>	17	100,19
distribuzione secondaria	5830000	0,0696	70	0,98	<b>59</b>	103	300,79
canale secondario	3880000	0,0463	46	0,65	<b>60</b>	11	301,30
tronco	1320000	0,0158	16	2,00	<b>61</b>	6	100,19
canale secondario	2560000	0,0306	31	0,95	<b>62</b>	23	202,44
tronco	580000	0,0069	7	0,88	<b>63</b>	6	100,12
tronco	1980000	0,0237	24	0,75	<b>64</b>	10	200,37
canale secondario	2690000	0,0321	32	1,00	<b>65</b>	28	202,26
tronco	790000	0,0094	9	1,10	<b>66</b>	6	104,51
tronco	580000	0,0069	7	0,88	<b>67</b>	7	100,12
canale secondario	1320000	0,0158	16	0,50	<b>68</b>	47	200,37
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>69</b>	2	100,19
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>70</b>	3	100,19
canale secondario	1320000	0,0158	16	0,50	<b>71</b>	56	200,37
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>72</b>	6	100,19
tronco	660000	0,0079	8	1,00	<b>73</b>	36	100,19

Tabella 14 – Dati geometrici, energetici e parametri di dimensionamento

Tipo distribuzione	tratto	s [mm]	D [mm]	d [mm]	dint[m]	t [mm]	Conduttanza tubazione isolata K [W/m <sup>2</sup> K]
canale principale	1	6,3	800	508	0,4954	139,70	0,19
distribuzione secondaria	2	6,3	800	508	0,4954	139,70	0,19
canale secondario	3	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	4	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	5	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	6	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	7	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	8	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	9	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	10	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
canale secondario	11	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	12	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	13	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	14	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	15	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	16	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	17	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	18	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	19	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	20	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	21	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	22	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	23	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	24	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	25	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	26	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	27	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	28	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	29	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	30	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	31	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	32	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	33	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	34	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
distribuzione secondaria	35	4,5	560	355,6	0,3466	97,70	0,28

Tabella 15 – Dati geometrici, energetici e parametri di dimensionamento

Tipo distribuzione	tratto	s [mm]	D [mm]	d [mm]	dint[m]	t [mm]	Conduttanza tubazione isolata K [W/m <sup>2</sup> K]
canale secondario	36	4,5	560	355,6	0,3466	97,70	0,28
tronco	37	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	38	6,3	670	457,2	0,4446	100,10	0,27
tronco	39	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	40	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
canale secondario	41	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	42	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	43	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	44	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	45	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	46	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	47	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	48	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	49	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	50	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	51	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	52	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	53	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	54	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	55	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	56	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	57	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	58	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
distribuzione secondaria	59	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
canale secondario	60	5,6	500	323,9	0,3127	82,450	0,33
tronco	61	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	62	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	63	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	64	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
canale secondario	65	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	66	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	67	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	68	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	69	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	70	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
canale secondario	71	4,5	355	219,1	0,2101	63,45	0,43
tronco	72	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52
tronco	73	3,6	225	114,3	0,1071	51,75	0,52

## 5. Simulazione della nuova rete di teleriscaldamento

Come descritto nei capitoli precedenti La produzione energetica termica attuale degli edifici è prevalentemente effettuata, a livello condominiale, con impianti di tipo centralizzato mediante caldaie tradizionali ubicate nella CT di ogni edificio.

Di seguito si analizzano con l'ausilio della piattaforma ENSim, descritta in dettaglio nel report RdS/PAR2014/013, le due diverse configurazioni di rete ipotizzate per sostituire le singole caldaie di edificio con una produzione di calore centralizzata ad alto rendimento :

- configurazione 1 prevede un sistema di caldaie a condensazione per una potenza totale installata pari a 50.000 kW;
- configurazione 2 prevede un sistema cogenerativo costituito da un motore a combustione interna di potenza pari a 11.660 kWt, una caldaia tradizionale da 26.000 kW e una caldaia a condensazione di potenza pari a 8.950 kW.

### 5.1 implementazione in ENSim dei singoli componenti della nuova rete

I componenti che costituiscono la nuova rete ipotizzata per il quartiere Valle Aurelia di Roma e simulata nella piattaforma ENSim si compongono di cinque blocchi fondamentali:

1. subsystem rete di distribuzione mandata;
2. subsystem1 costituita da 45 blocchi di edificio;
3. subsystem rete di distribuzione di ritorno;
4. blocco generatore di calore (caldaia a gradini o cogeneratore);
5. blocco accumulo – rete.

I blocchi sopra elencati sono riportati di seguito in figure parzializzate nelle quali sono state lasciate opportunamente i contorni di riferimento, per una più facile interpretazione del disegno nella sua globalità. In Figura 19 sono rappresentati i primi tre subsystem mentre in Figura 20 sono rappresentati gli altri due

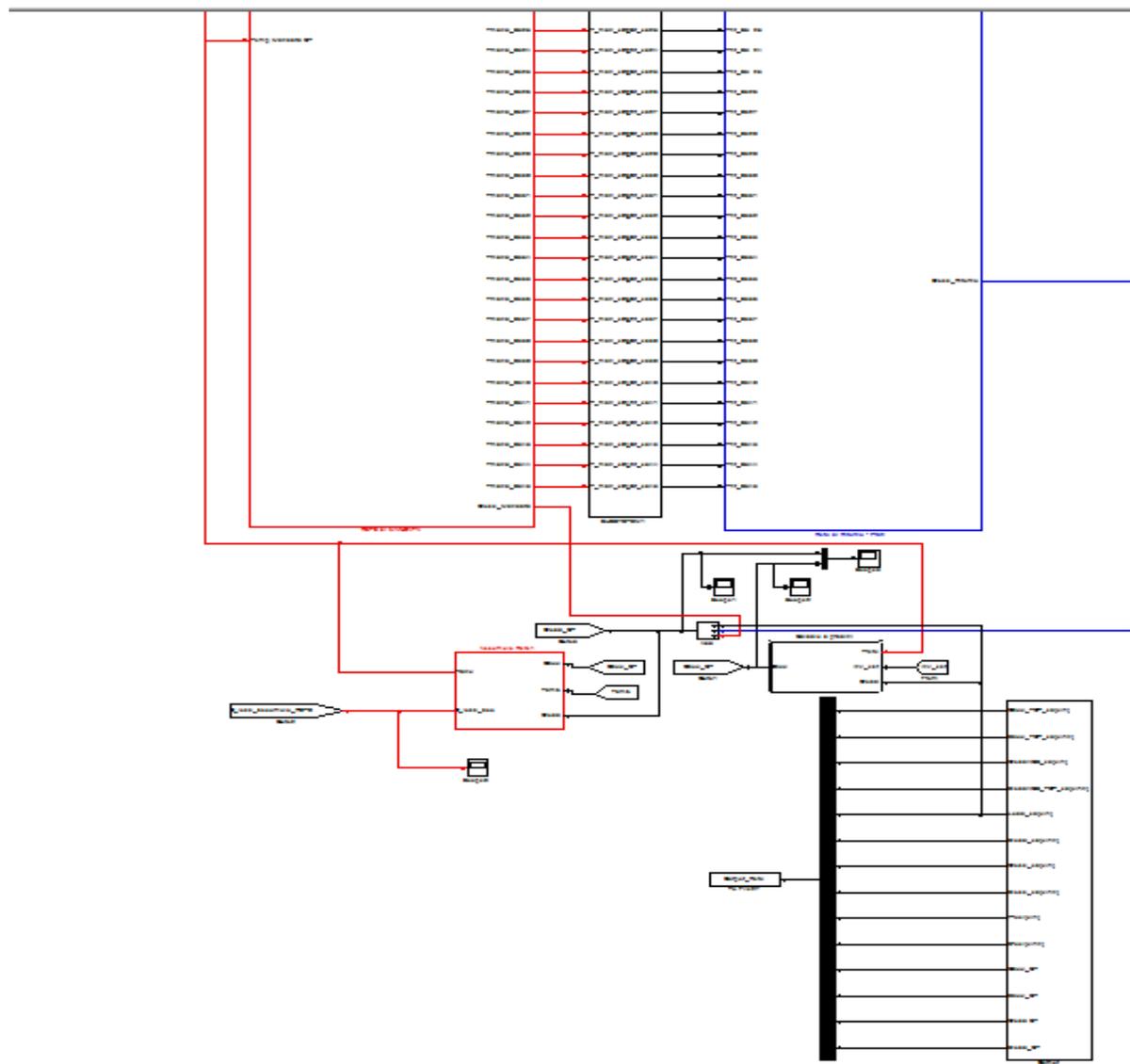


Figura 19-Schema rete TLR con sistema di caldaie a condensazione- schema a blocchi piattaforma ENSim

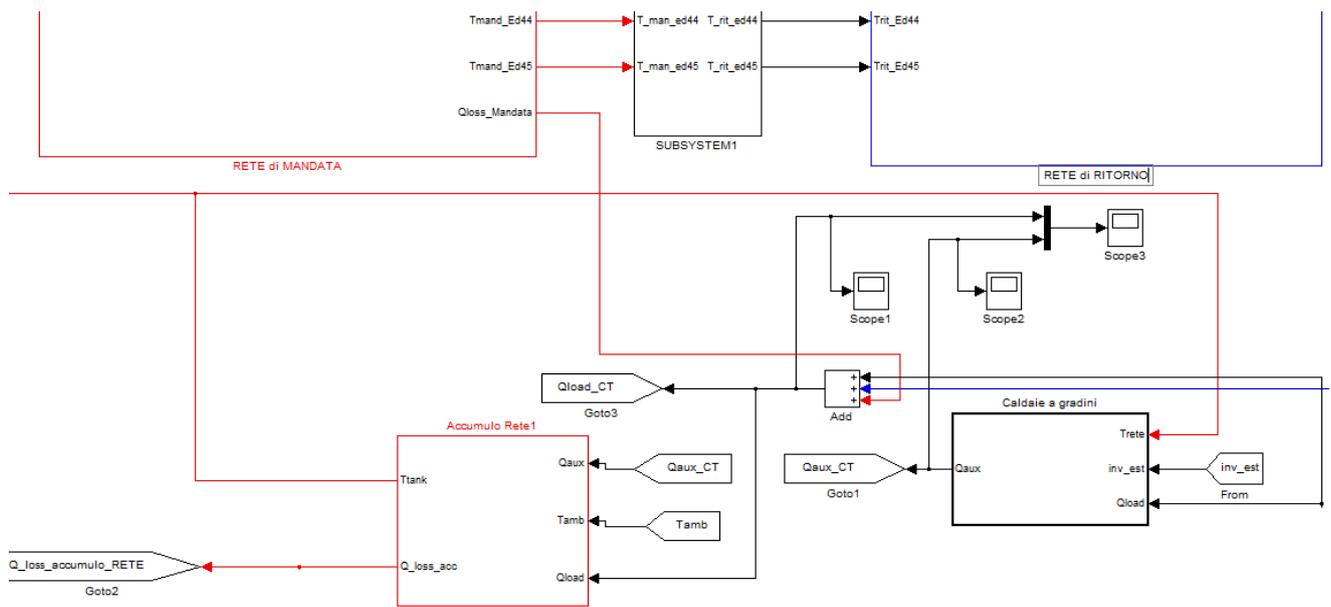


Figura 20- TLR con sistema di caldaie a condensazione- schema caldaia con accumulo termico della piattaforma ENSim

Infine, vengono scritte in un file “\_Output\_rete” le 14 uscite che si è scelto di esaminare. Nella Figura 21 sono rappresentati e indicate, le 14 porte del mux.

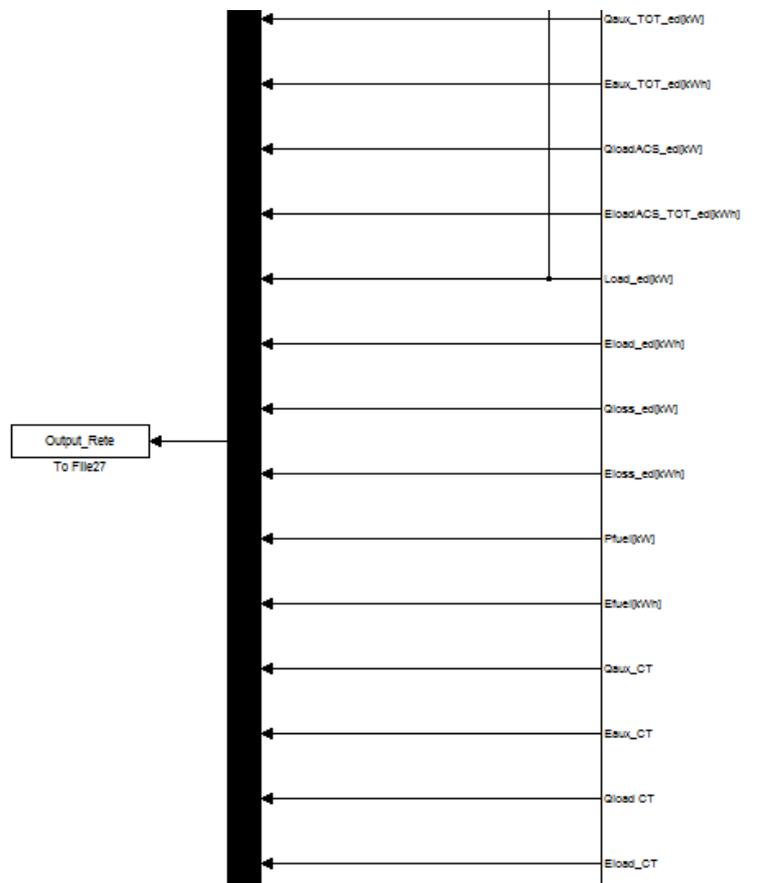


Figura 21- TLR - output rete

## 5.2 *Modello edificio*

In questa sezione si illustrano le diverse fasi e parti di implementazione del modello del sistema edificio - impianto. Nella Figura 22 si rappresenta la subsystem costituita dai 45 edifici.

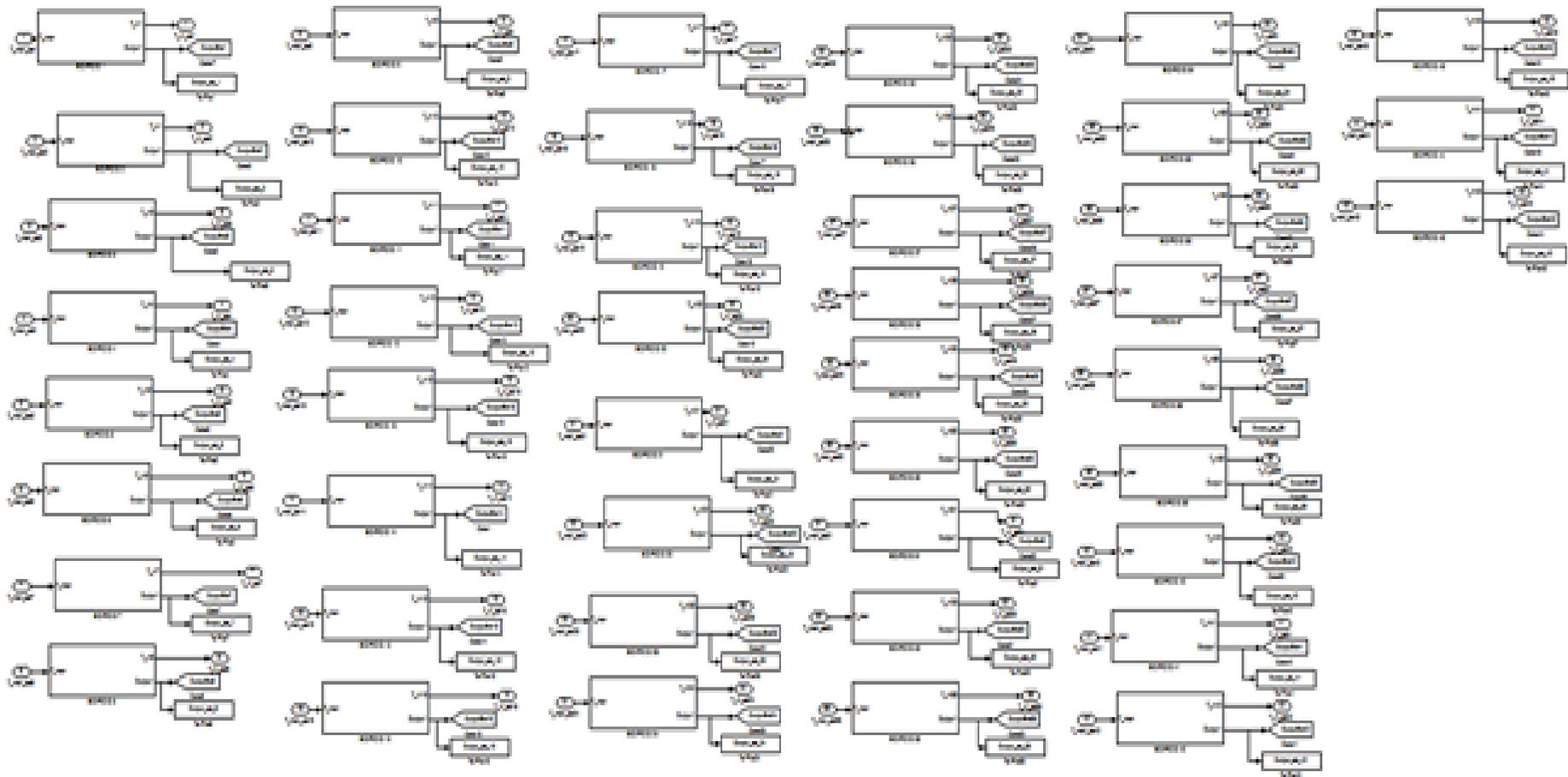


Figura 22- TLR – Subsystem blocco edifici

In dettaglio, lo schema del modello edificio si presenta come rappresentato in Figura 23.

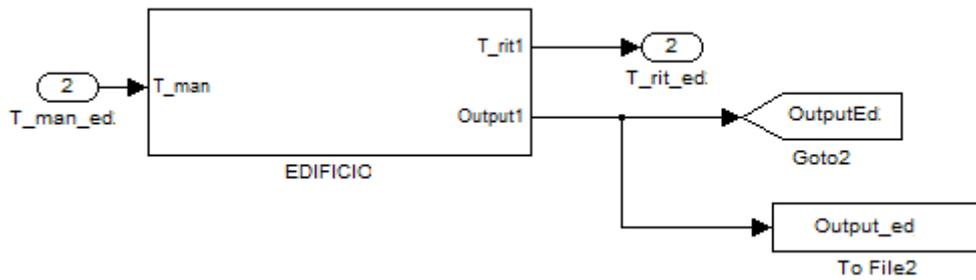


Figura 23- TLR – Schema blocco edificio

Il blocco edificio è stato suddiviso in due parti rappresentate, rispettivamente Figura 24 e Figura 25 al fine di esporre in maniera completa la logica di funzionamento implementata.

Come rappresentato, nella Figura 24 i dati di input al modello edificio sono il profilo di carico  $Q_{load\_ed}$  di ogni edificio e  $Q_{load\_ACS}$  dello stesso, nella stessa figura sono rappresentati inoltre il blocco “Accumulo Caldo” e il blocco “Temperatura ritorno distribuzione”.

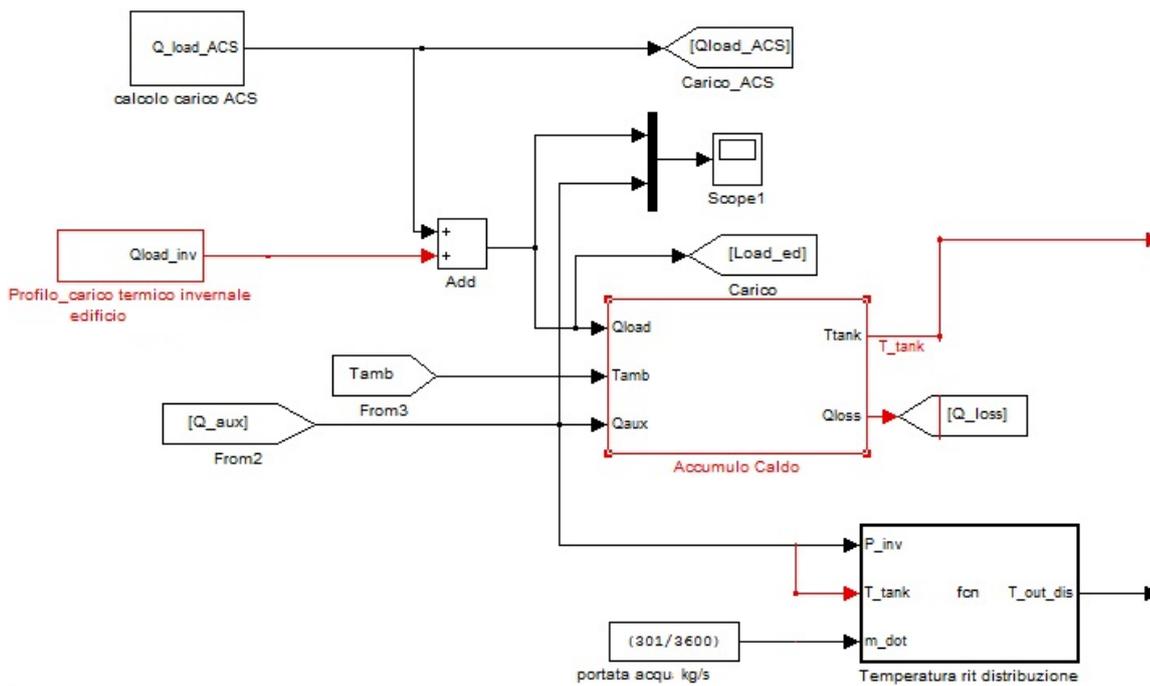


Figura 24- TLR – Schema blocco edificio - parte 1

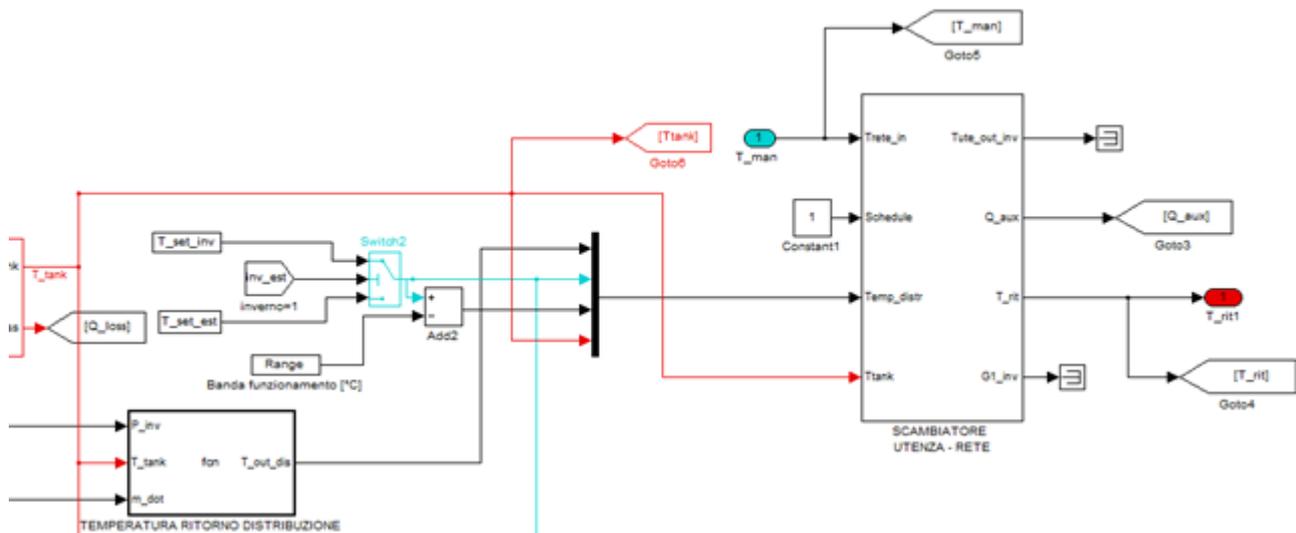


Figura 25- TLR – Schema blocco edificio - parte 2

La temperatura generata dal blocco “Accumulo Caldo”, è una delle grandezze che viene esaminata per verificare il corretto funzionamento e/o dimensionamento del sistema di riscaldamento. Di fatto, il suo andamento ci fornisce informazioni sulla modalità di inserimento della caldaia a secondo della richiesta istantanea dell’edificio. Lo schema del modello dell’accumulo termico implementato nel blocco “Accumulo Caldo” è rappresentato in Figura 26.

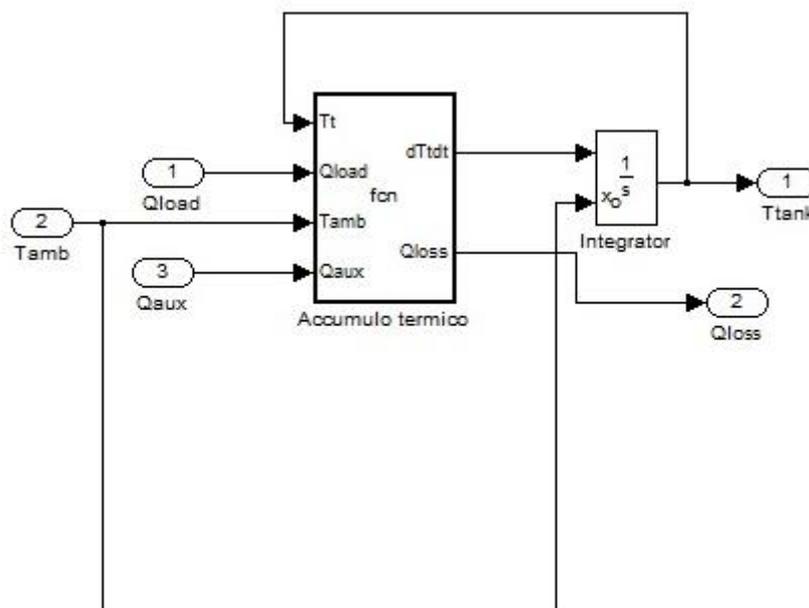


Figura 26- TLR – Schema blocco “Accumulo Caldo”

Il blocco accumulo termico contiene una function :

```
function [dTtdt, Qloss] = fcn(Tt, Qload, Tamb, Qaux, KTR, FFTR, VaccTR, cp_h)
```

che calcola, la temperatura dell’accumulo Ttank e le perdite Qloss, mediante le seguenti equazioni:

$$dTtdt = \frac{[Q_{aux} - Q_{load} - \left(\frac{KTR}{1000}\right) \times FFTR \times VaccTR \times (T_t - T_{amb})]}{cp_h \times 1000 \times VaccTR} \quad (1)$$

$$Q_{loss} = FFTR \times V_{accTR} (T_t - T_{amb}) \times \left( \frac{KTR}{1000} \right) \quad [kW] \quad (2)$$

dove

- KTR è la trasmittanza termica involucro accumulo [W/m<sup>2</sup>K];
- FFTR è fattore di forma dell'accumulo [1/m].

Mentre nel blocco "temperatura ritorno distribuzione" è stata implementata la function :

$$\text{function } T_{out\_dis} = fcn(P_{inv}, T_{tank}, m_{dot}, cp_h, n_{fancoil})$$

che calcola la temperature di ritorno distribuzione mediante la relazione:

$$T_{out\_dis} = T_{tank} - \frac{P_{inv}}{(m_{dot} \times n_{fancoil} \times cp_h)} \quad (3)$$

Infine, in Figura 27 è rappresentato lo scambiatore di calore attraverso il quale avviene lo scambio termico tra edificio e rete di TLR.

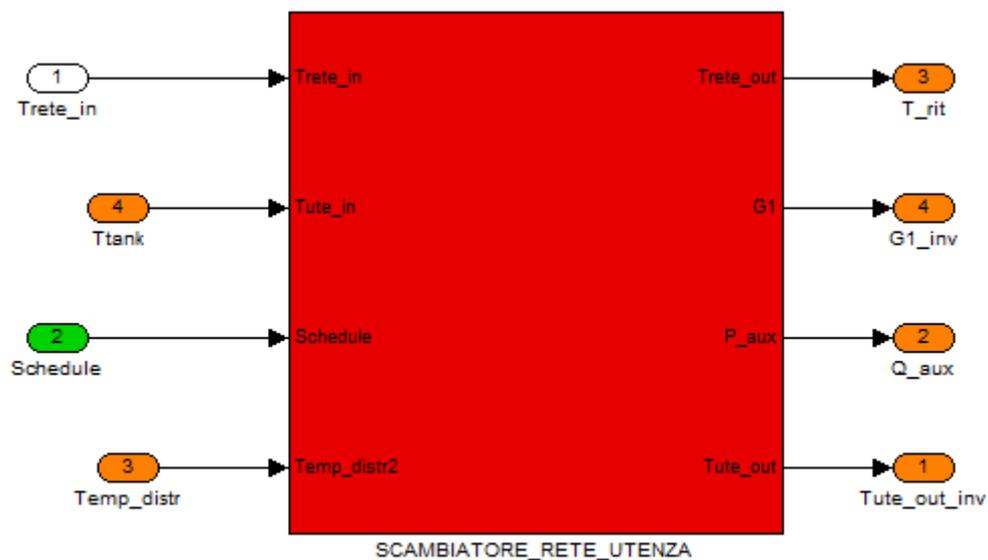


Figura 27- TLR – Schema scambiatore rete utenza

La Figura 28 mostra l'interconnessione tra tutti i blocchi precedentemente descritti; in pratica tutti gli elementi descritti formano il subsystem1 costituita dai 45 edifici.

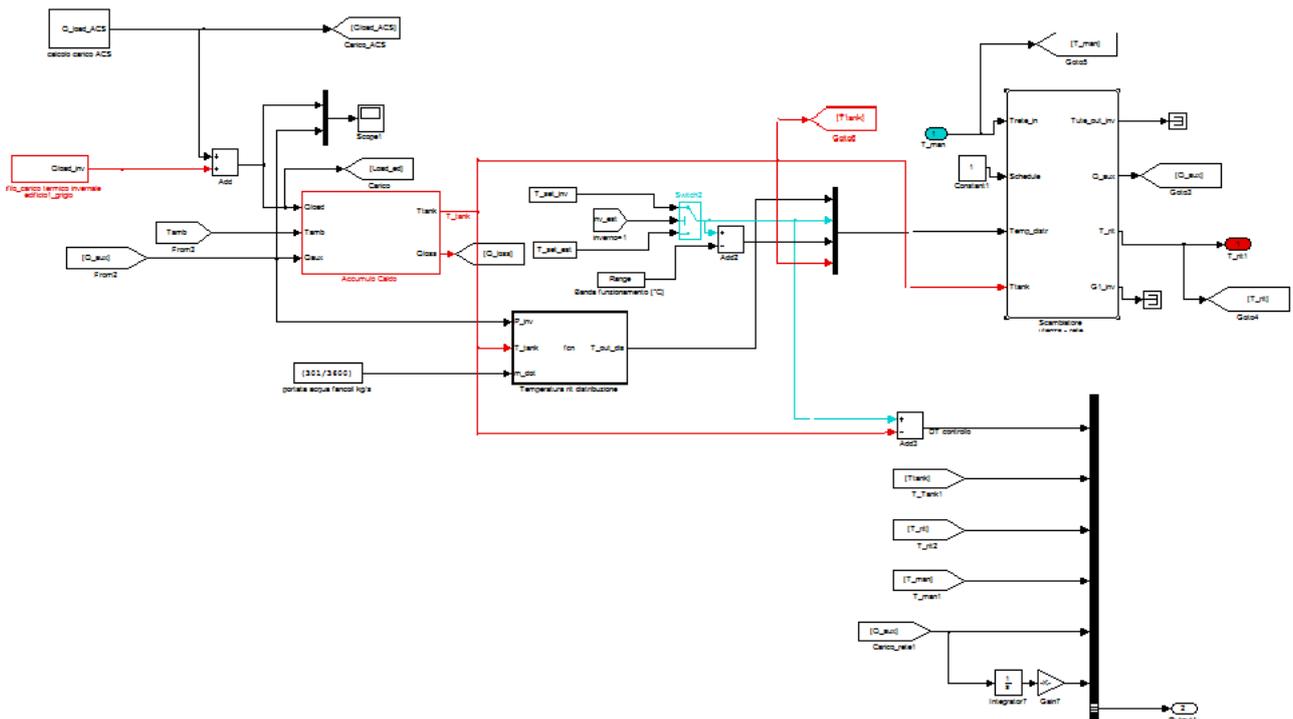


Figura 28- Schema modello edificio

### 5.3 Modello configurazione 1 : rete alimentata da sistema caldaie ad alta efficienza

Il generatore di calore utilizzato per la produzione termica è sistema costituito da 10 caldaie a condensazione della potenza termica di 5000 kW termici. In Figura 29 si riporta lo schema a blocchi di ENSim per la simulazione della nuova rete termica alimentata dalle caldaie; nello schema a blocchi sono visibili i parametri di ingresso (Trete: temperatura di rete, Load\_ed: carico totale degli edifici collegati alla rete) e le uscite (Qaux\_CT: potenza termica fornita dalla CT della rete).

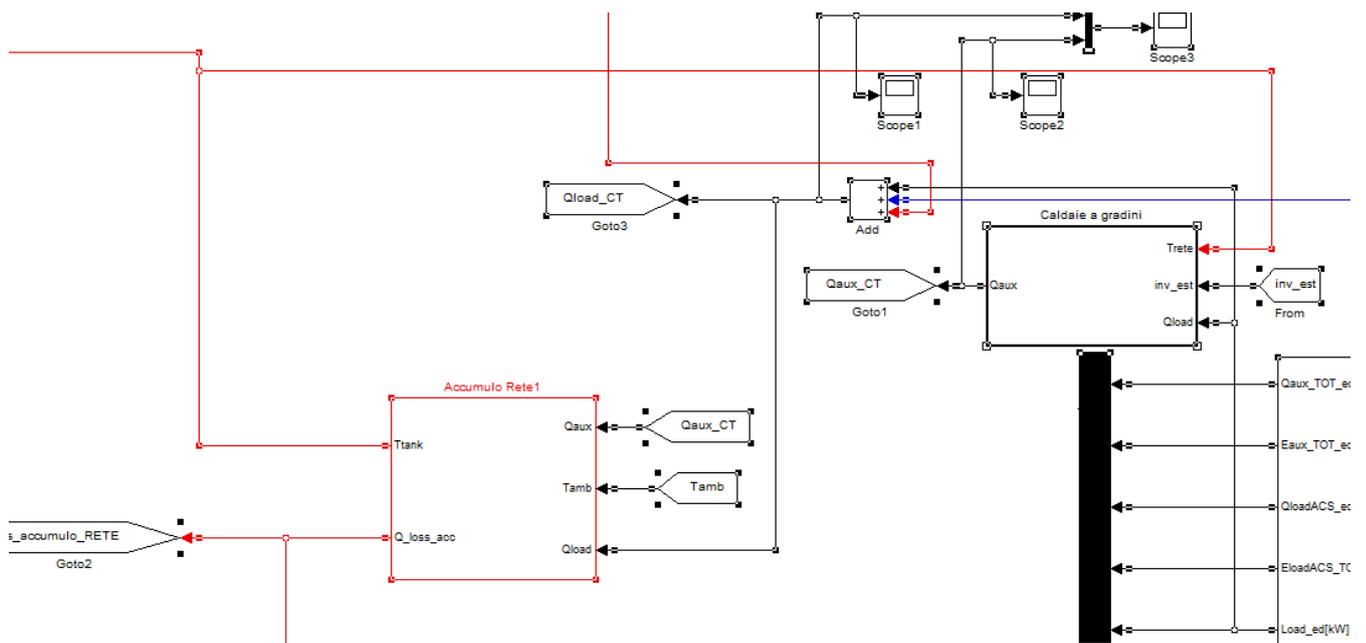


Figura 29- Schema modello edificio-caldaia-accumulo

Nello schema di Figura 30 si riporta invece, lo schema di gestione e di controllo della singola caldaia da 5000 kW. Come si osserva in figura, la  $Q_{aux}$  che verrà fornita alla rete dipende dal blocco del numero di step attivi.

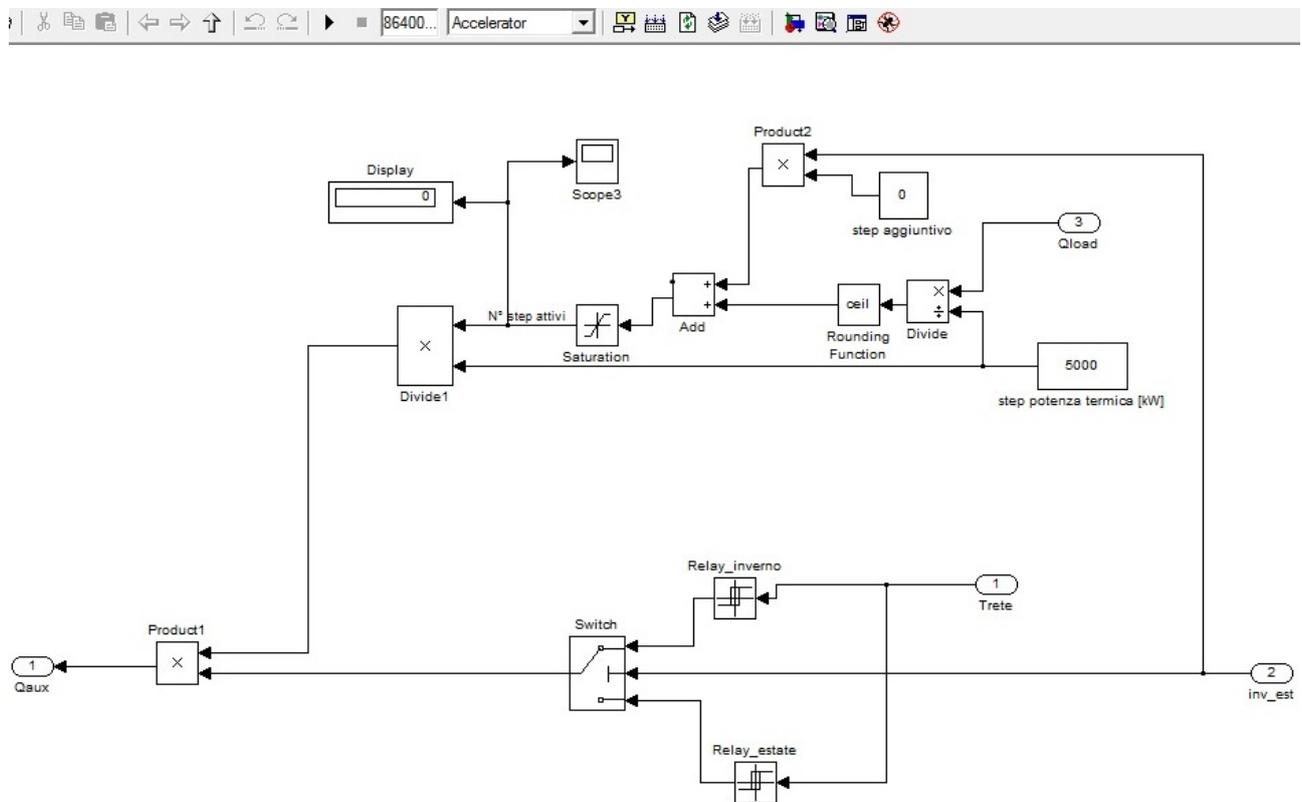


Figura 30- Schema di gestione-caldaia implementato nella piattaforma ENSim

## 5.4 Modello configurazione 2 : rete alimentata da sistema cogenerativo e caldaia ausiliaria

Per il sistema cogenerativo, la modalità di funzionamento dei componenti principali è stata implementata come indicato e i blocchi riportati nello schema di Figura 31:

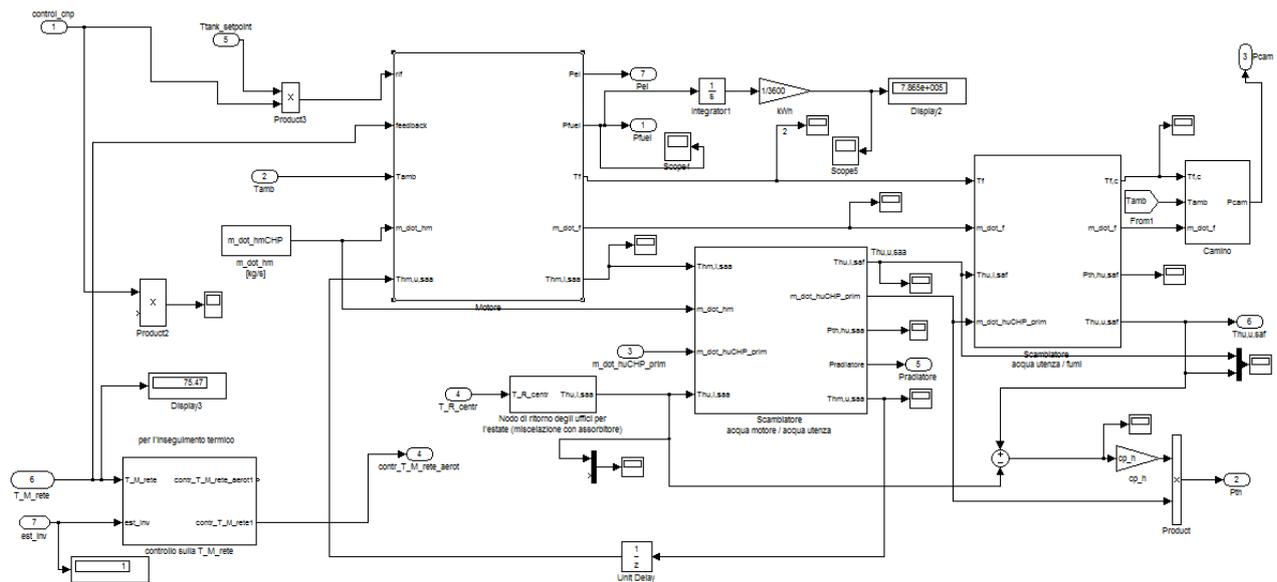


Figura 31- Schema modello cogeneratore

Ognuno dei blocchi è stato sviluppato sia considerando il funzionamento teorico mediante l'implementazione delle relative equazioni termo-meccaniche di ciascun componente e sia considerando le specifiche tecniche della macchina mediante delle Lookup Tables dei dati fornite dai costruttori. Nella Figura 32, per il m.c.i. si riporta lo schema del modello implementato dove sono visibili due delle Lookup Tables create.

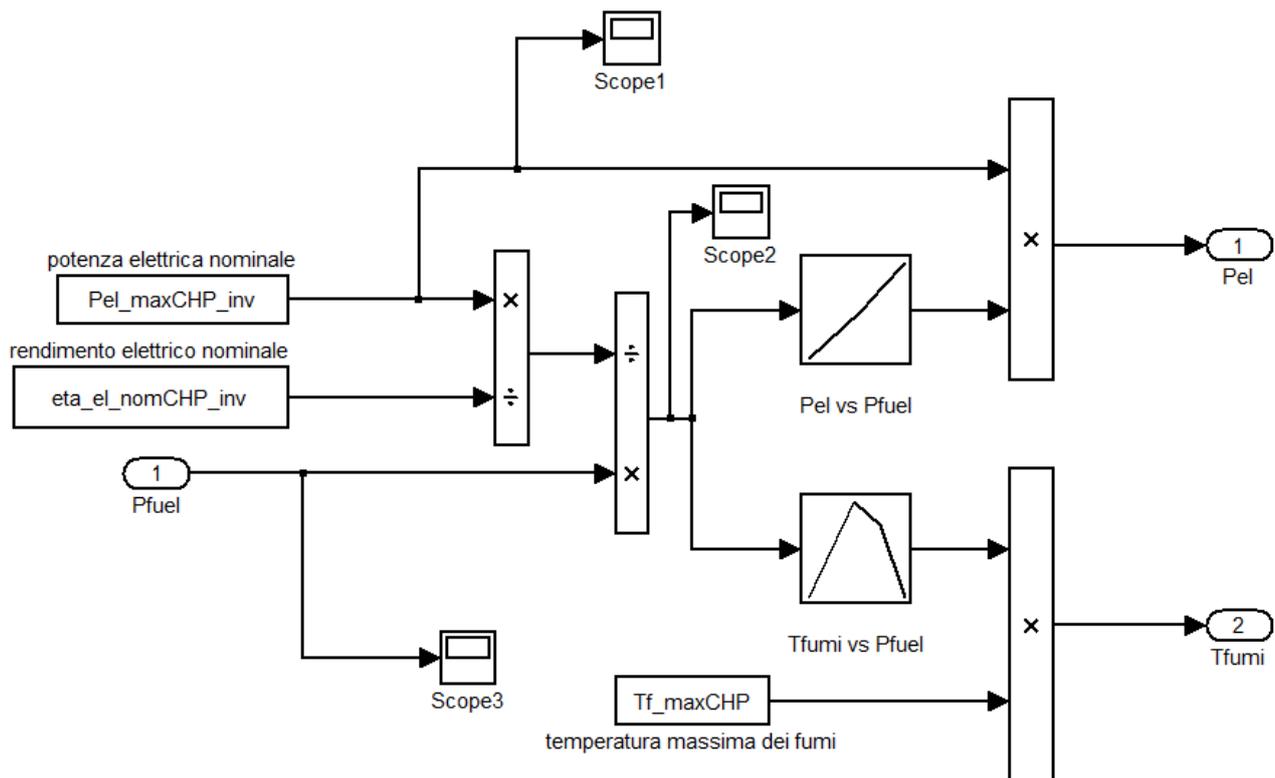


Figura 32- Modello M.C.I.

### 5.5 Modello condotta di mandata

Il modello della condotta di mandata è costituito da 73 blocchi , come rappresentato nella Figura 34.

In ogni blocco è stata implementata la funzione:

```
function [T_out,Q_loss] = fcn(Tratto, Tin, Tground, Fcorr, cp_ft)
```

per determinare la temperatura di uscita dal tratto  $T_{out}$  e le perdite  $Q_{loss}$ .

I dati di input dei singoli blocchi sono rappresentati da:

- un vettore a quattro componenti (Diametro; K ; Lunghezza; Portata) per definire il le caratteristiche del tratto;
  - a) Diametro = Diametro del tratto [m];
  - b) K = Trasmittanza totale della tubatura+coibentazione del tratto [W/m<sup>2</sup>K];
  - c) Lunghezza = lunghezza del tratto [m];
- Tground = Temperatura del terreno [°C];
- T\_in = Temperatura fluido termovettore in ingresso [°C];
- Portata = Portata fluido del tratto [kg/s];
- cp\_ft = calore specifico [J/kgK];

La  $T_{out}$  e le  $Q_{loss}$  vengono determinate implementando le seguenti equazioni:

$$T_{out} = T_{ground} + (T_{in} - T_{ground}) * \exp\left(\frac{-\pi * \text{Diametro} * K * \text{Lunghezza} * F_{cor}}{\text{Portata} * c_{p\_ft}}\right) \quad (6)$$

$$Q_{loss} = (\text{Portata} * c_{p\_ft} * (T_{in} - T_{out}) / 1000) \quad [\text{kW}] \quad (7)$$

Nella Figura 33 si rappresenta ad esempio il dettaglio del tratto 73.

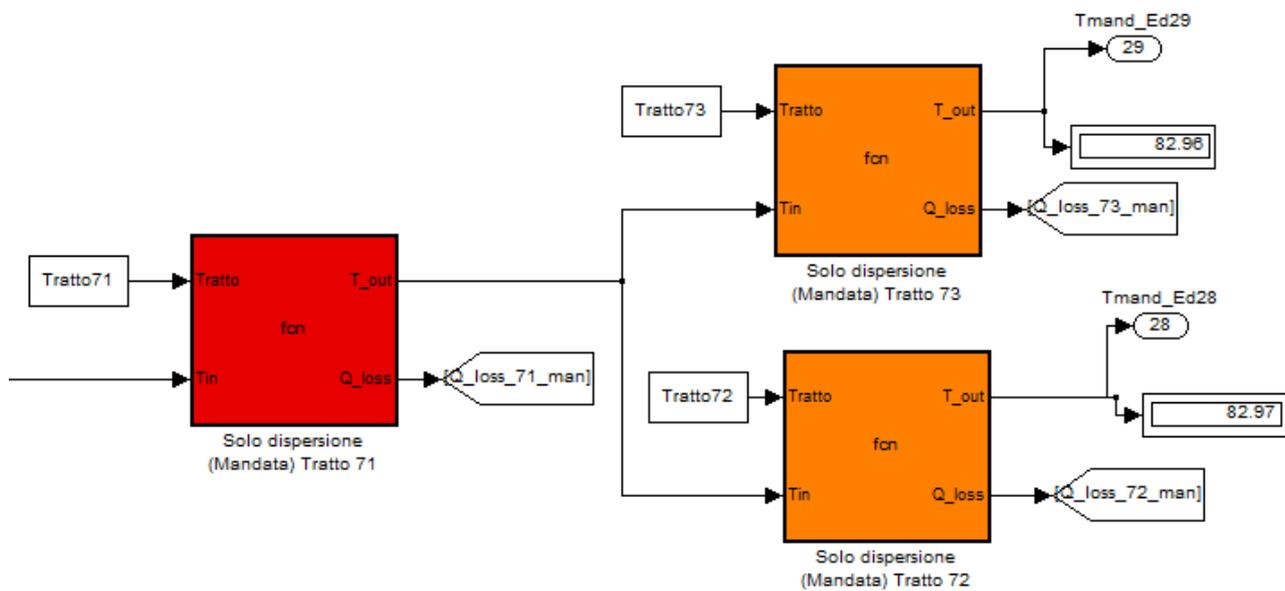


Figura 33- Particolare di rete di mandata con dispersioni

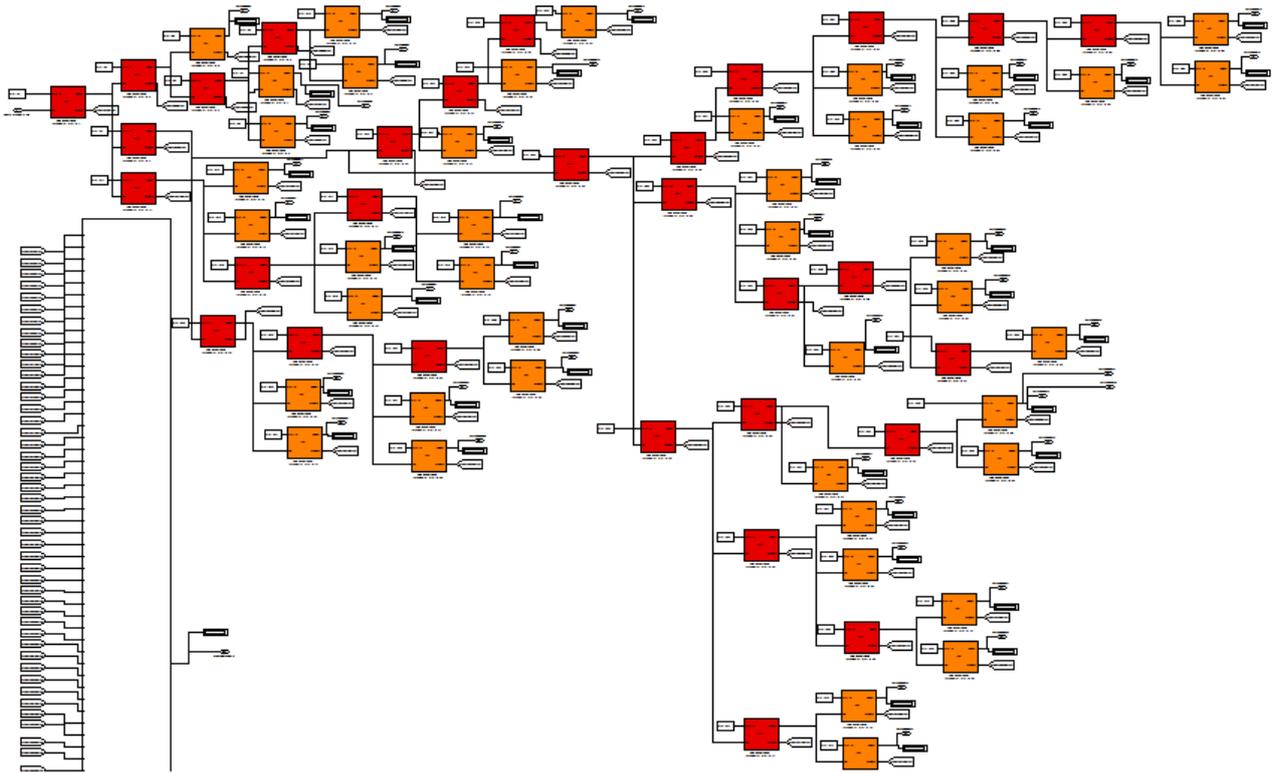


Figura 34- Modello rete di mandata

### 5.6 Modello condotta di ritorno

Nel modello della distribuzione di ritorno, oltre ai blocchi e alle grandezze analizzate per la mandata, è stato aggiunto un blocco per tenere conto della miscelazione nei nodi. In Figura 35 si rappresenta lo schema del modello. Mentre nella Figura 36 si riporta il particolare del tratto 1 con il nodo di miscelazione N1. Dove nel blocco di miscelazione si tiene conto delle portate e temperatura dei tratti confluenti al nodo.

Ad esempio per il blocco di figura, per determinare la temperatura in uscita dal nodo N1 dopo la miscelazione è stata implementata la funzione:

```
function T_out = fcn(Tin1,Gin1,Tin2,Gin2,Tin3,Gin3)
```

$$T_{out} = (T_{in1} \cdot G_{in1} + T_{in2} \cdot G_{in2} + T_{in3} \cdot G_{in3}) / (G_{in1} + G_{in2} + G_{in3}) \quad (8)$$

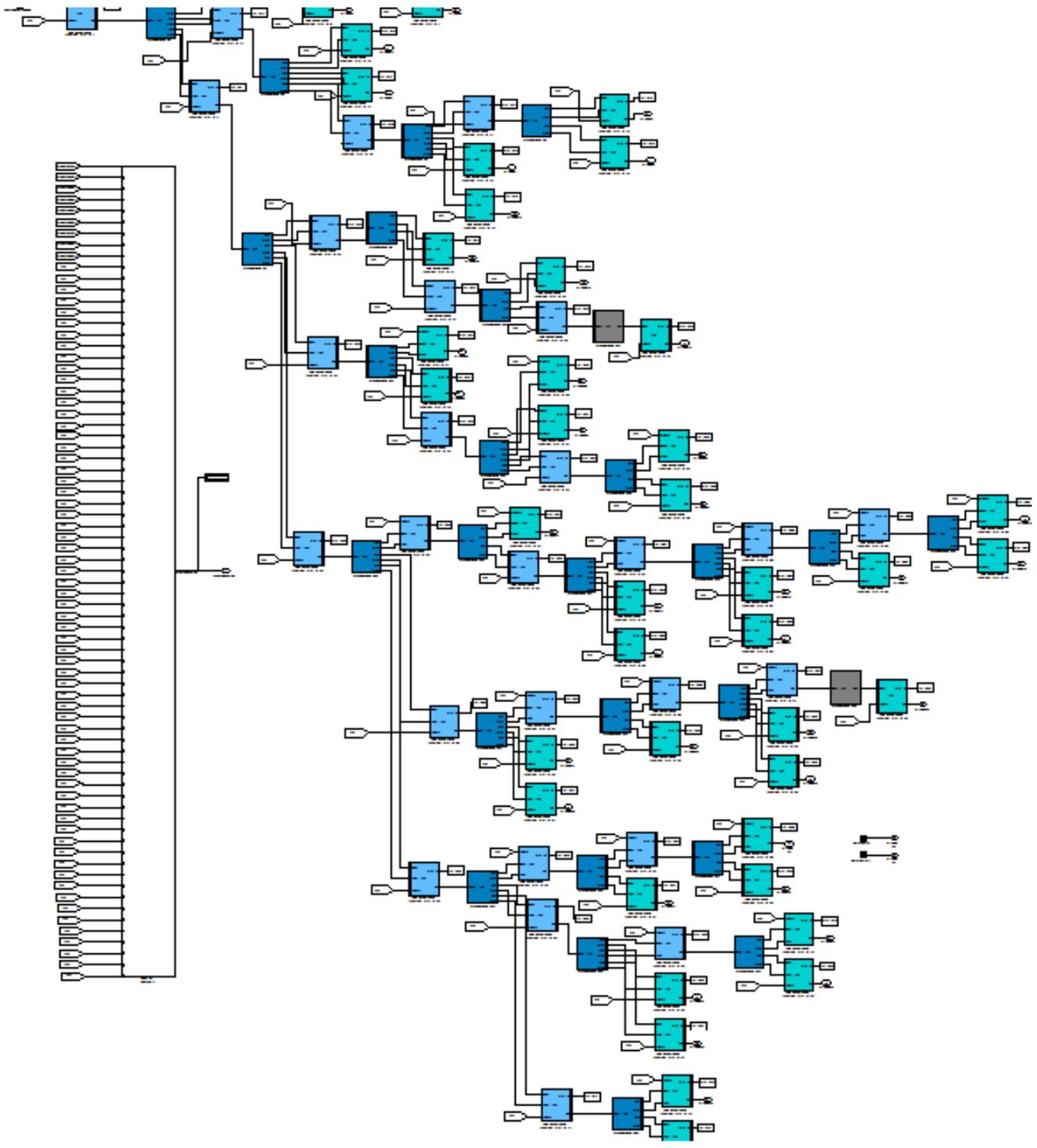


Figura 35- Modello rete di ritorno

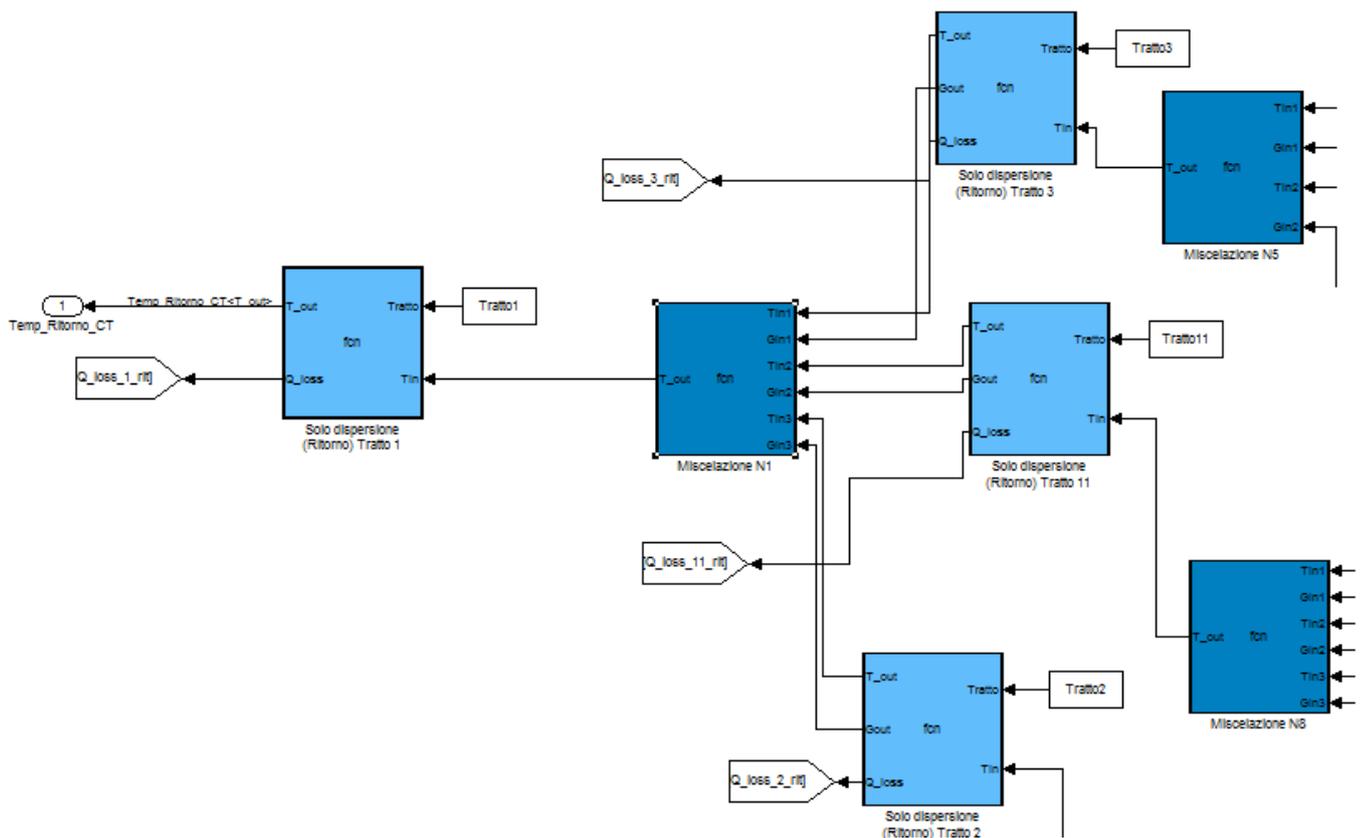


Figura 36- Particolare di rete di ritorno con dispersioni e miscelazione

## 5.7 Risultati di simulazione

Partendo dai risultati ottenuti per i singoli edifici, si riporta un esempio per ciascuna delle tre tipologie di utenza esaminate (residenziale, scuola, ufficio). Nelle Figura 37, Figura 38 e Figura 39 è rappresentato il confronto tra la potenza fornita (colore magenta) e quella richiesta (colore giallo).

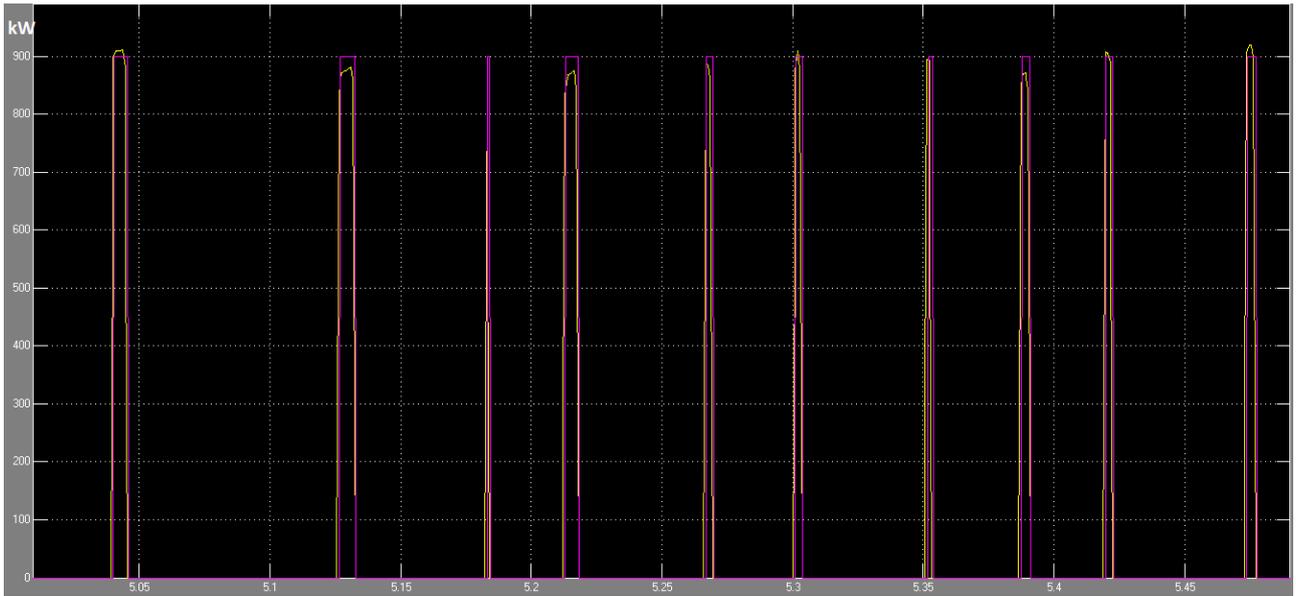


Figura 37- Confronto potenze – residenziale (ed\_blu)

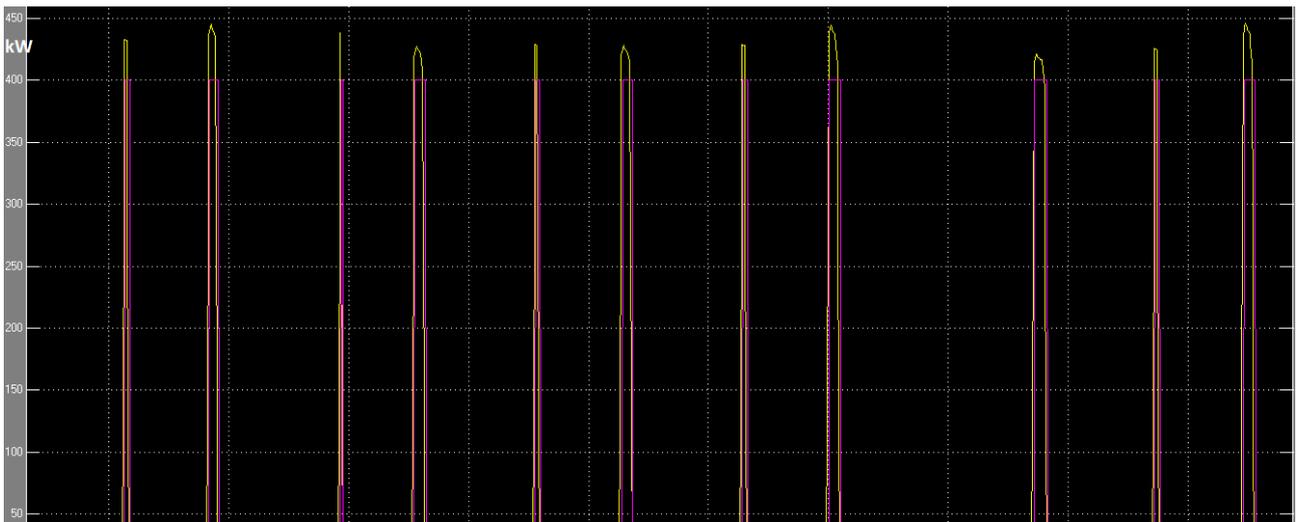


Figura 38- Confronto potenze – ufficio (ed\_marrone)



Figura 39- Confronto potenze – scuola (ed\_grigio)

### 5.7.1 Scenario TLR con sistema di caldaie a condensazione

Dopo aver descritto nel il funzionamento e la logica di implementazione utilizzata nei modelli, si rappresentano nelle figure di seguito elencate i risultati delle simulazioni effettuate per un intero anno solare.

Più precisamente si rappresentano per lo scenario TLR con sistema di caldaie a condensazione:

- gli andamenti delle temperature della rete di distribuzione di mandata (giallo) e di ritorno (magenta) nelle Figura 40 e Figura 41;
- l'andamento della richiesta termica degli edifici nella Figura 42;
- l'andamento della totale fornitura termica della rete Figura 43;
- l'andamento delle perdite di rete  $Q_{loss}$  Figura 44.

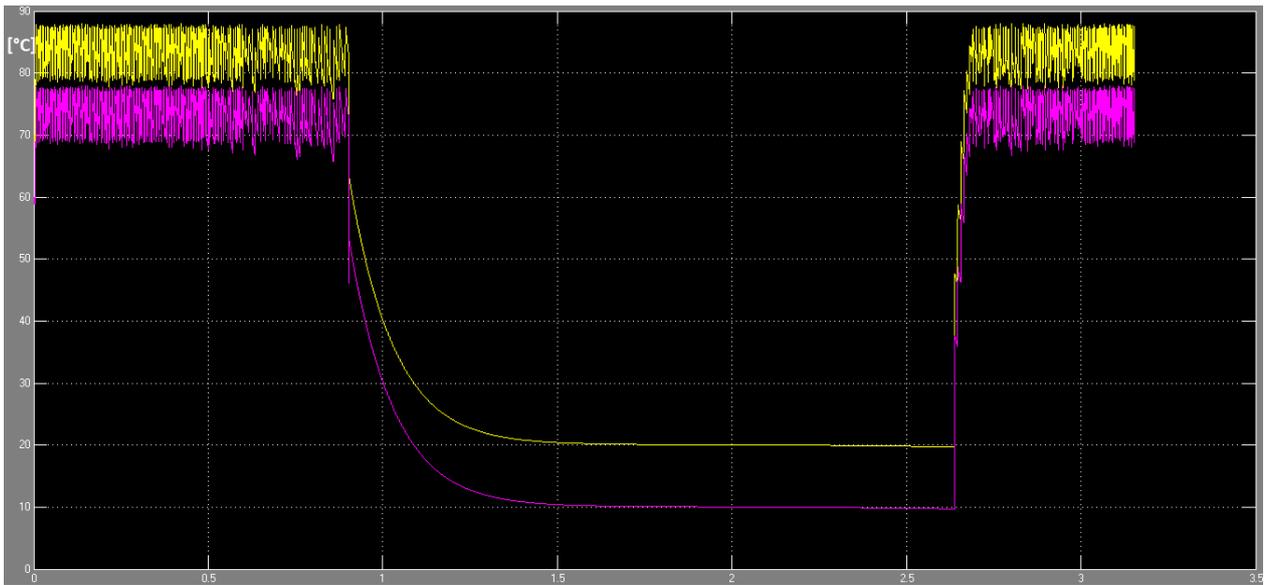


Figura 40- Temperatura di mandata (giallo) e di ritorno (magenta)

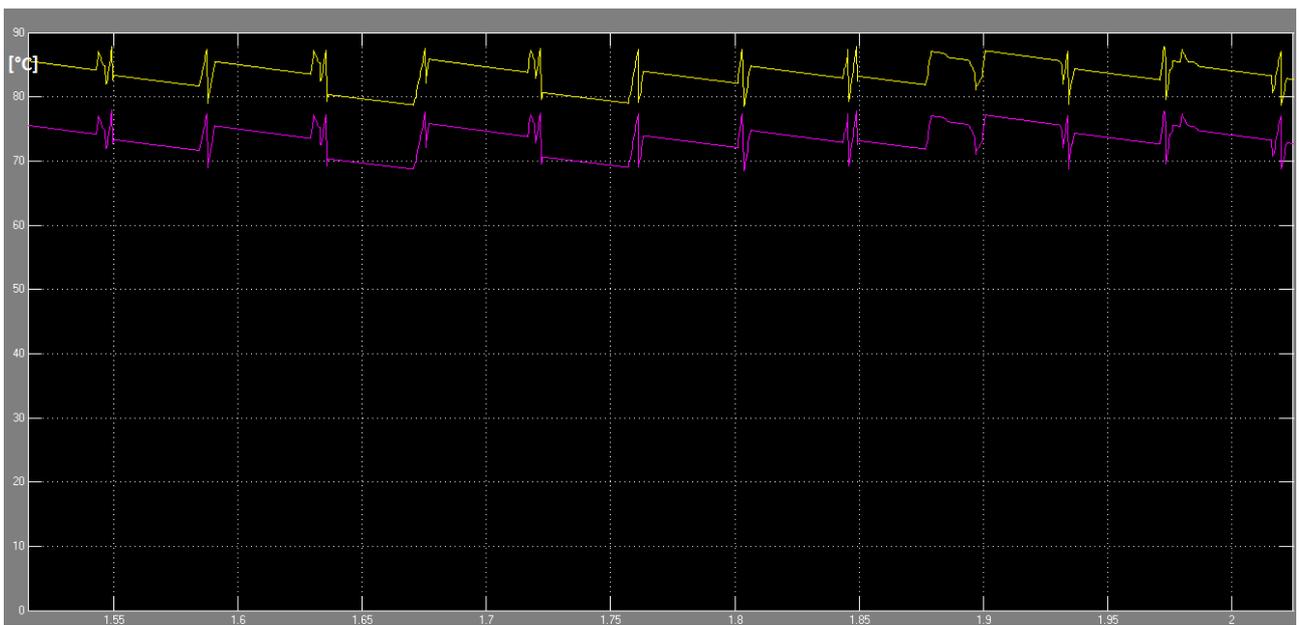


Figura 41- Temperatura di mandata (giallo) e di ritorno (magenta)

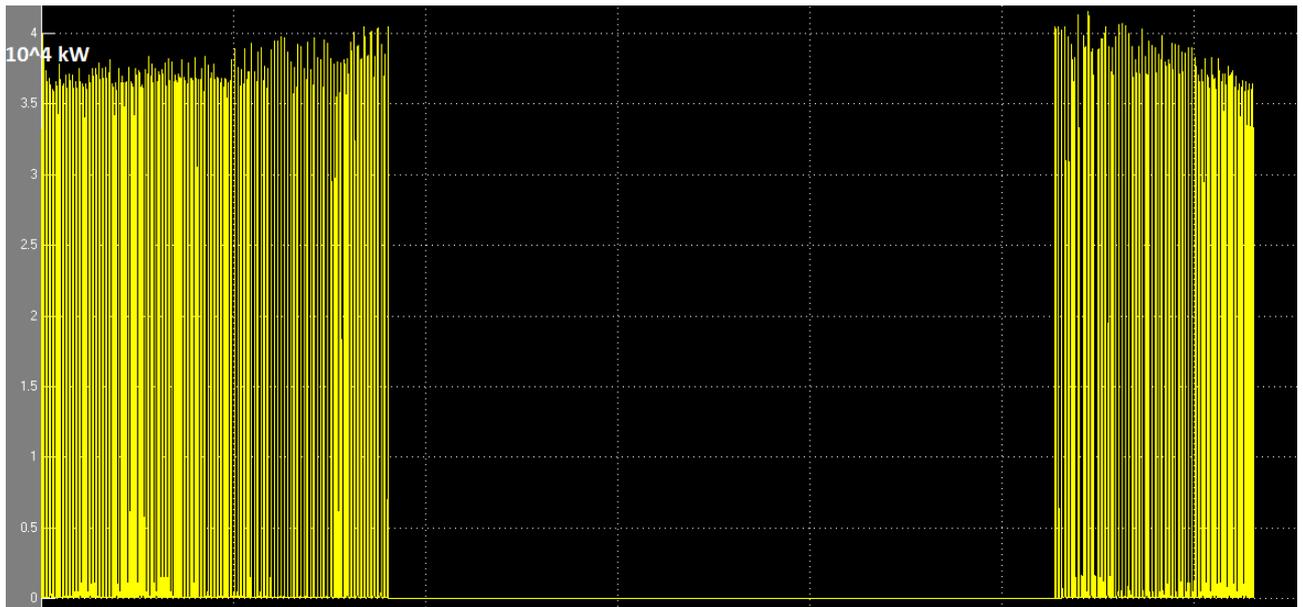


Figura 42- Qload\_tot. edifici

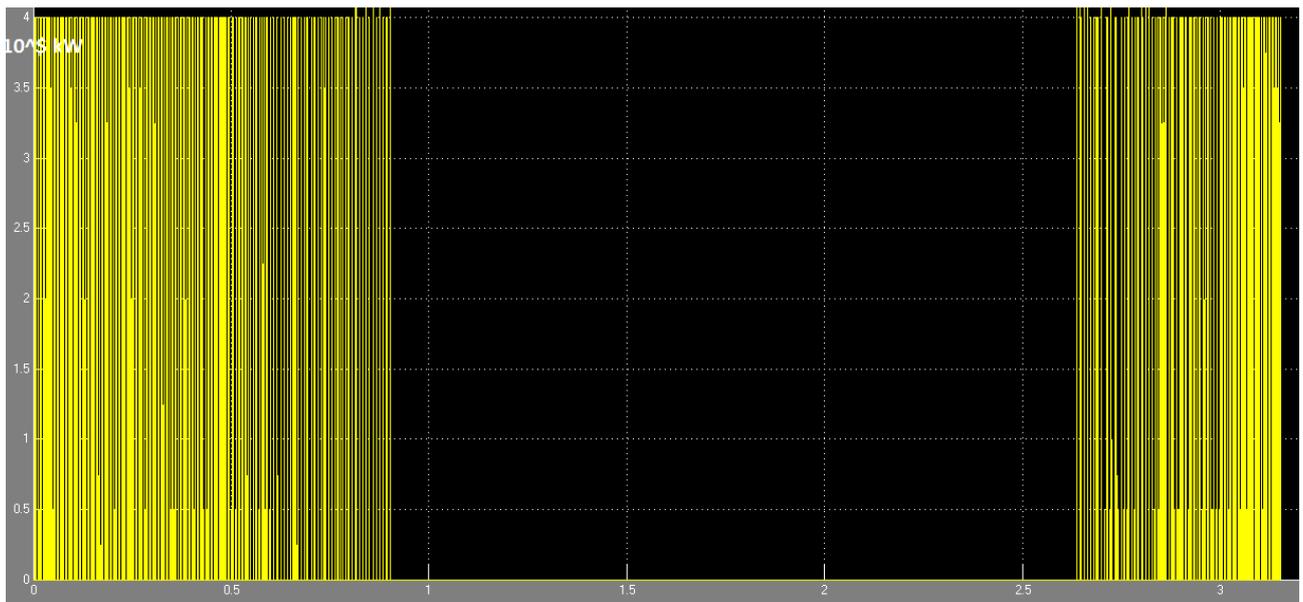


Figura 43- Qaux\_CT

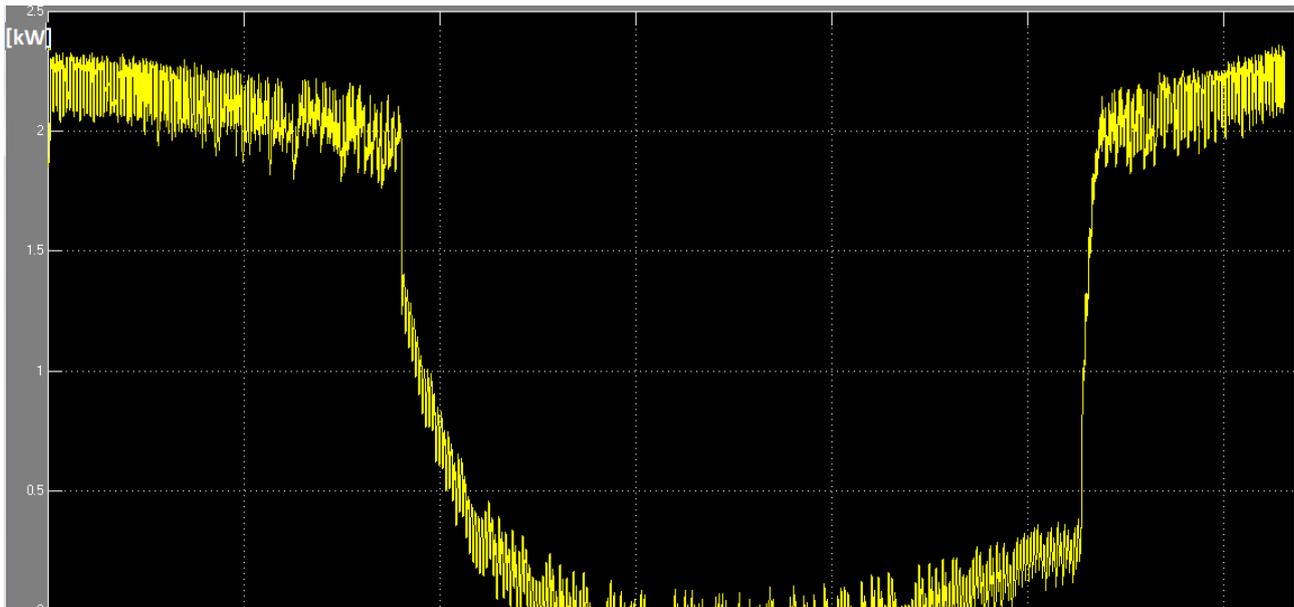


Figura 44- Perdite di rete rete (Qloss)

### 5.7.2 Scenario TLR con impianto cogenerativo

Dopo aver descritto nel il funzionamento e la logica di implementazione utilizzata nei modelli, si rappresentano nelle figure di seguito elencate i risultati delle simulazioni effettuate per un intero anno solare.

Analogamente al precedente scenario, si rappresentano :

- l'andamento della potenza richiesta dal carico in Figura 45;
- l'andamento della totale fornitura termica del sistema di cogenerazione, rappresentata in Figura 46
- gli andamenti delle temperature della rete di distribuzione di mandata (giallo) e di ritorno (magenta) nelle Figura 47;

QloadCT

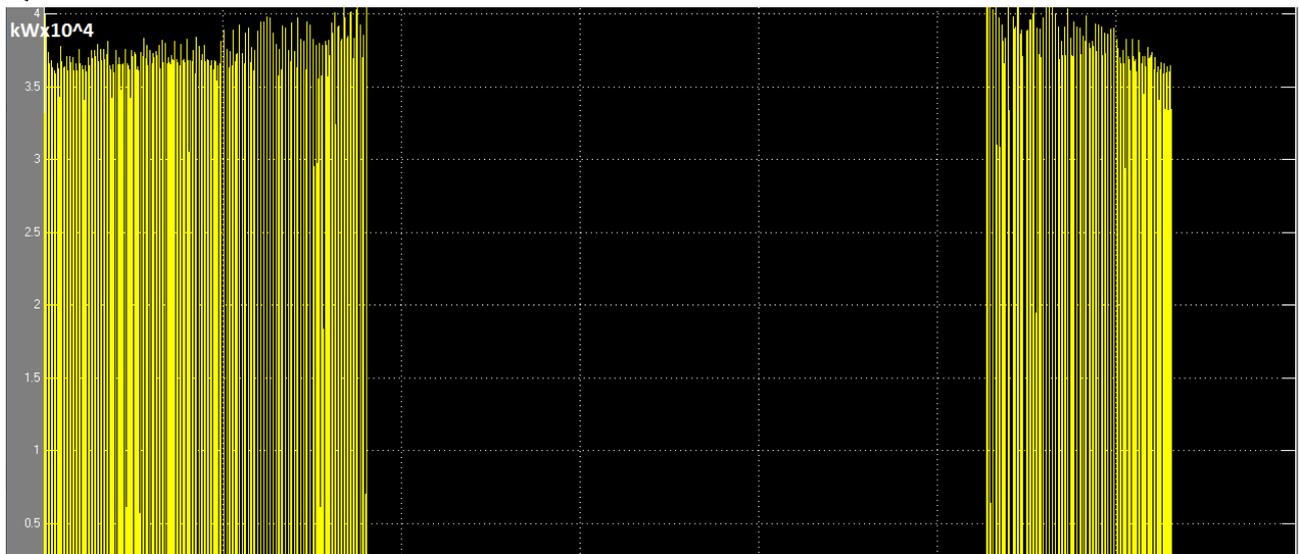


Figura 45- Totale potenza richiesta dagli edifici

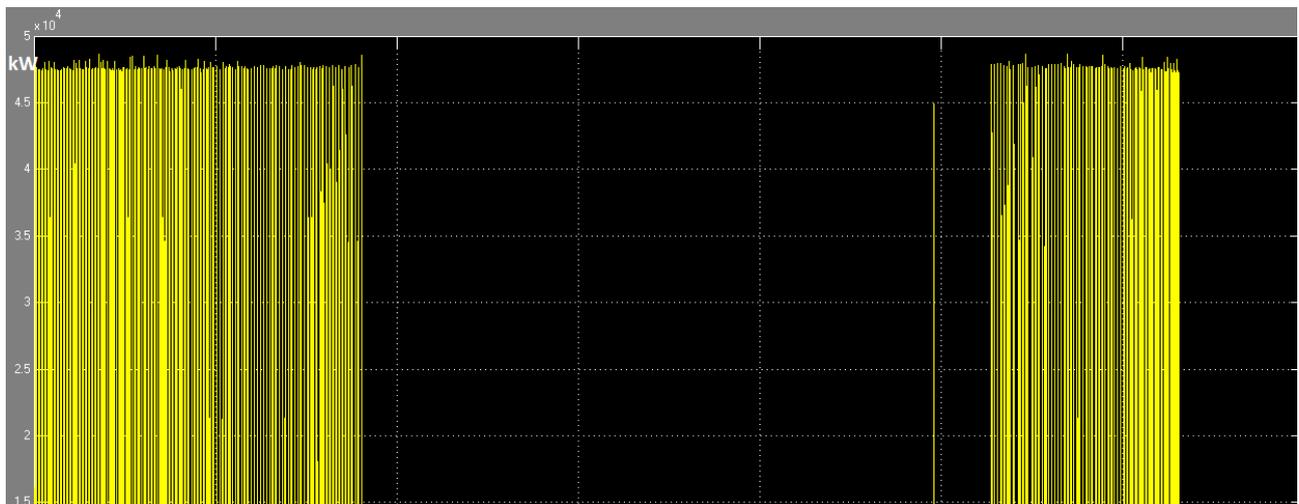


Figura 46- Totale potenza immessa in rete

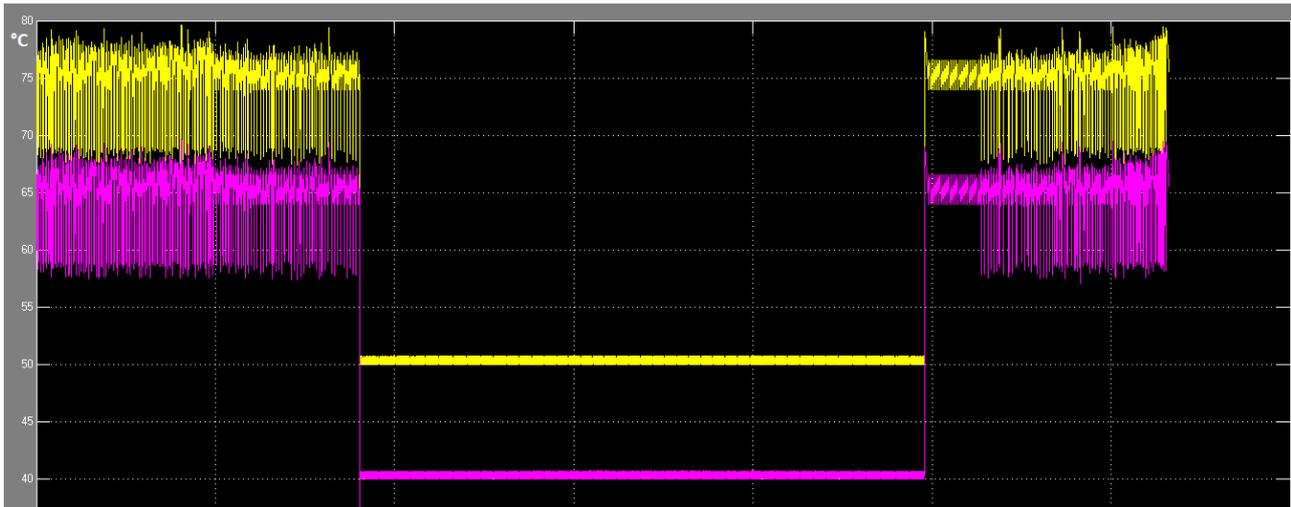


Figura 47- Temperatura di mandata (giallo) e di ritorno (magenta)

### 5.7.3 Valutazione energetica delle configurazioni simulate

Dai risultati ottenuti emerge che nella configurazione 1 l'aumento dell'efficienza di produzione rispetto allo stato attuale è dovuto alla sostituzione delle caldaie esistenti con unità di generazione termica più efficienti. Tale maggiore efficienza compensa le perdite dovute alla rete di distribuzione del calore. Nell'ipotesi 2, invece, l'aumento dell'efficienza del sistema in termini di consumo di energia primaria è dovuto alla produzione di energia elettrica da destinare all'autoconsumo o alla vendita. Nella Figura 48 è riportato il confronto tra le energie termiche prodotte in centrale (Eaux\_CT) nelle configurazioni ipotizzate. Nella stessa figura è rappresentata anche l'energia elettrica prodotta dal cogeneratore (Eel\_cog), la quale determina una maggiore efficienza globale della configurazione 2 rispetto alla configurazione 1.

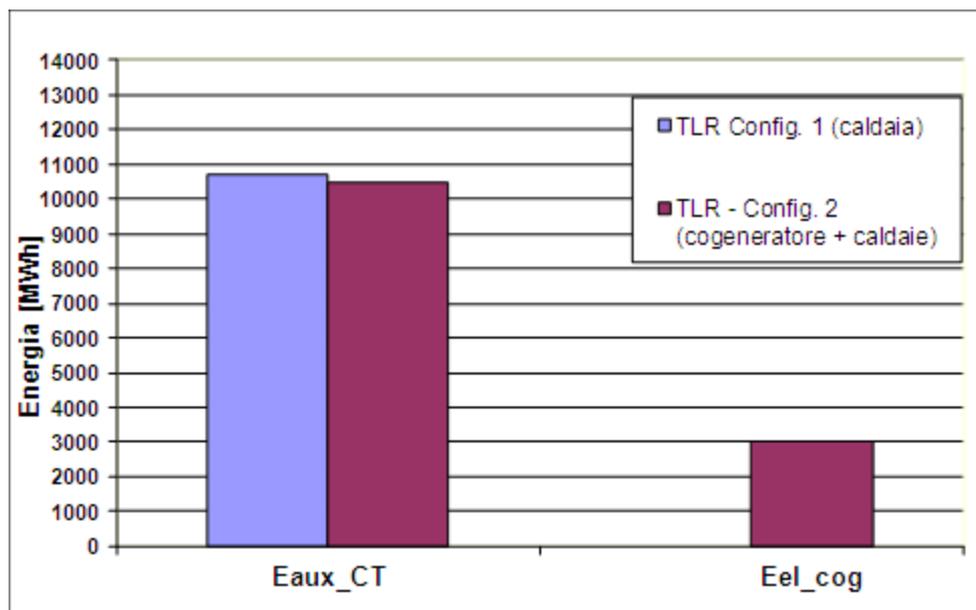


Figura 48- Energia prodotta a confronto

In Figura 49 è rappresentata l'energia primaria utilizzata dai due sistemi di produzione ipotizzati.

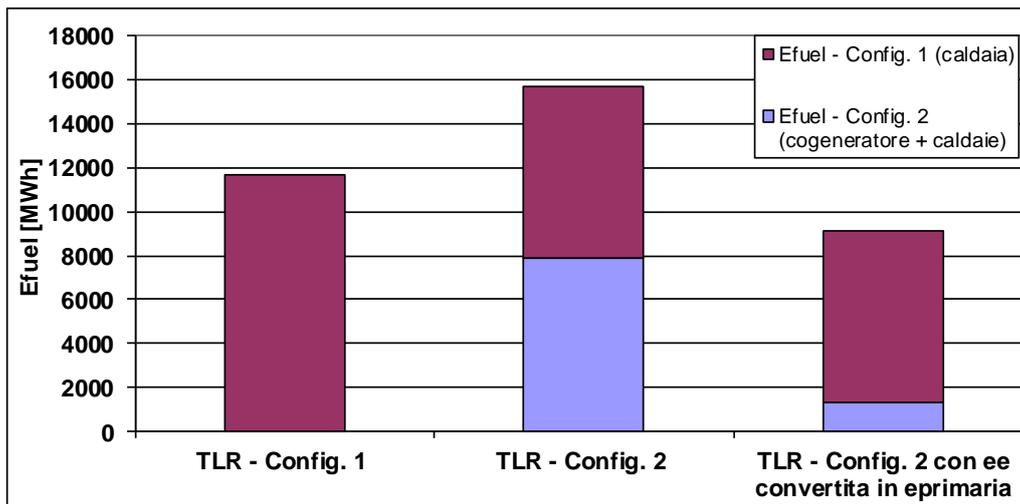


Figura 49- Energia primaria

L'energia primaria richiesta dalla configurazione 2 risulta maggiore rispetto alla configurazione 1 qualora non si consideri nel computo il risparmio di energia primaria dovuta alla produzione di energia elettrica. Riportando la produzione elettrica in termini di energia primaria e sottraendola alla quota richiesta dal cogeneratore, così come previsto dalla delibera EEN 09/10 dell'AEEG, si ottiene un risparmio totale in termini di energia primaria pari circa a 16% rispetto alla configurazione 1. Pertanto, la configurazione 2 rappresenta la soluzione energeticamente più efficiente tra quelle analizzate per soddisfare la richiesta termica degli edifici considerati.

## 6. Conclusioni

Nel presente report è stata utilizzata la piattaforma ENSim (Energy Network Simulator), per studiare la possibilità di efficientare un quartiere cittadino attraverso l'installazione di una nuova rete di Teleriscaldamento (TLR).

In particolare nell'attività svolta è stato valutato l'installazione di una rete di TLR come alternativa all'attuale sistema di riscaldamento delle utenze condominiali (centralizzato o autonomo) di una porzione del quartiere Valle Aurelia della città di Roma.

Il sito scelto, collocato in un contesto territoriale ad alta densità abitativa si presenta con una pianta a maglia regolare, con caratteristiche di replicabilità molto elevate costituita da 45 edifici, tutti edificati negli anni '70, che comprendono diverse destinazioni d'uso: residenziale, scuole e uffici.

Dopo aver analizzato le caratteristiche morfologiche del sito e dopo aver effettuato diversi sopralluoghi per poter individuare le tipologie di strutture edilizie presenti nel quartiere è stato implementato in ENSim il modello Simulink della nuova rete di TLR con il quale è stato possibile simulare e confrontare due ipotesi di configurazioni per la generazione termica:

- la prima basata sull'utilizzo di un sistema costituito da 10 caldaie a condensazione della potenza termica di 5000 kW,
- la seconda basata su un sistema cogenerativo costituito da un motore a combustione interna di potenza pari a 11.660 kWt, una caldaia tradizionale da 26.000 kW e una caldaia a condensazione di potenza pari a 8.950 kW.

Dalle analisi effettuate il TLR di tipo cogenerativo risulta essere un'alternativa valida anche in realtà urbane complesse come la città di Roma, garantendo per la rete in esame un risparmio in termini di energia primaria pari al 16% rispetto alla soluzione con solo caldaie a condensazione.

Le analisi effettuate nei paragrafi precedenti mostrano come la piattaforma ENSim possa essere utilizzata come uno strumento in grado di replicare il comportamento dinamico di una rete di teleriscaldamento durante l'intero anno e può rappresentare un valido strumento per valutare la fattibilità di nuove reti termiche in contesti urbani.

## 7. Appendice: identificazione degli edifici tipo per la piattaforma ENSim

Nell'ambito dell'attività è stato sviluppato un database con alcuni esempi di "edificio tipo" che comprendono diverse categorie edilizie e destinazioni d'uso rappresentativi del parco nazionale.

Ciascun edificio è identificato da una scheda illustrativa composta dall'anno di costruzione e dalla categoria di appartenenza tra residenziale, scuola, o ufficio che viene completata con i dati riguardanti:

- regione e zona climatica
- dati tipologico – dimensionali
- parametri termo-fisici dei componenti d'involucro
- parametri termo-fisici dei serramenti.

I principali dati tipologico-dimensionali riportati per ciascun edificio analizzato sono:

- volume lordo riscaldato
- rapporto di forma
- superficie lorda totale
- numero di piani
- numero di appartamenti.

L'utilizzo dell'edificio tipo, precaricato nella piattaforma ENSim e scelto tramite l'interfaccia descritta in RDS/2014/013, facilita l'utente nella costruzione del modello di rete in presenza di informazioni limitate sulle caratteristiche termo – fisiche degli edifici connessi.

Inoltre l'edificio "tipo" fornisce la curva di carico termico specifico per il riscaldamento consentendo di simulare la rete con il modello termico semplificato riducendone i tempi computazionali.

**Regione /Zona climatica:** zona climatica E  
**Classe di dimensione edilizia:** casa monofamiliare  
**Epoca costruttiva:** ante 1950

**casa unifamiliare  
 A**

V (m3)	S/V	superficie riscaldata (m2)	numero di piani climatizzati
400	0.66	121.5	1

#### TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETE	SOLAIO	SERRAMENTI
tetto piano in laterocemento (45 cm)	muratura in mattoni forati (54 cm)	basamento in laterocemento su terreno (47 cm)	vetro doppio, telaio in alluminio
COPERTURA	PARETE	SOLAIO	
U [W/(m2K)]	U [W/(m2K)]	U [W/(m2K)]	
1.36	1.09	0.78	

#### SERRAMENTI

Uf [W/(m2K)]	Ug [W/(m2K)]
1.9	2.4

#### Carico per dispersione

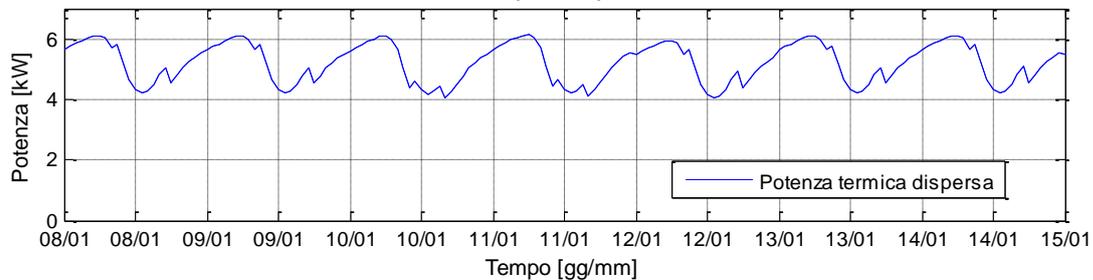


Tabella 16 – scheda 1 edificio residenziale anno di costruzione 1950

**Regione /Zona climatica:** zona climatica E  
**Classe di dimensione edilizia:** casa monofamigliare  
**Epoca costruttiva:** anni 50-60

**casa unifamigliare  
 B**

V (m3)	S/V	superficie riscaldata (m2)	numero di piani climatizzati
345	0.70	115	1

#### TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

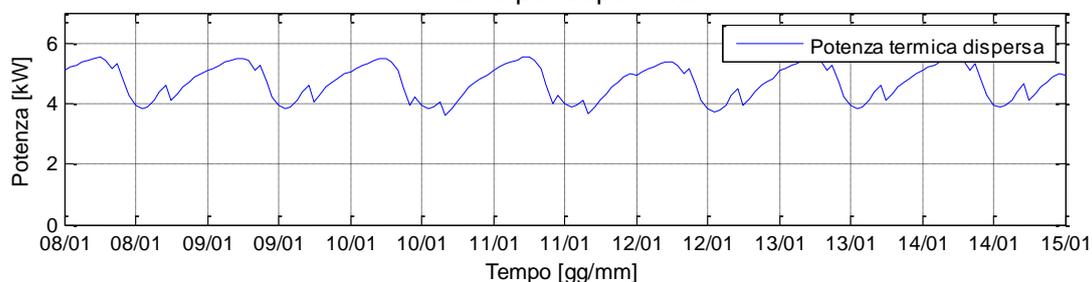
COPERTURA	PARETE	SOLAIO	SERRAMENTI
tetto piano in laterocemento (45 cm)	muratura in mattoni forati (42 cm)	basamento in laterocemento su terreno (47 cm)	vetro doppio, telaio in alluminio

COPERTURA	PARETE	SOLAIO
U [W/(m2K)]	U [W/(m2K)]	U [W/(m2K)]
1.37	1.06	0.78

#### SERRAMENTI

Uf [W/(m2K)]	Ug [W/(m2K)]
1.9	2.4

#### Carico per dispersione



**Tabella 17– scheda 2 edificio residenziale anno di costruzione 1950/60**

**Regione /Zona climatica:** zona climatica E  
**Classe di dimensione edilizia:** casa monofamigliare  
**Epoca costruttiva:** anni 70-80

casa unifamigliare  
 C

V (m3)	S/V	superficie riscaldata (m2)	numero di piani climatizzati
360	0.70	120	1

#### TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETE	SOLAIO	SERRAMENTI
tetto piano in laterocemento con pannello isolante (42 cm)	muratura in mattoni foraticon pannello isolante (40 cm)	basamento in laterocemento su terreno (38 cm)	vetro doppio, telaio in alluminio

COPERTURA U [W/(m2K)]	PARETE U [W/(m2K)]	SOLAIO U [W/(m2K)]
0.77	0.67	0.75

#### SERRAMENTI

Uf [W/(m2K)]	Ug [W/(m2K)]
1.9	2.4

#### Carico per dispersione

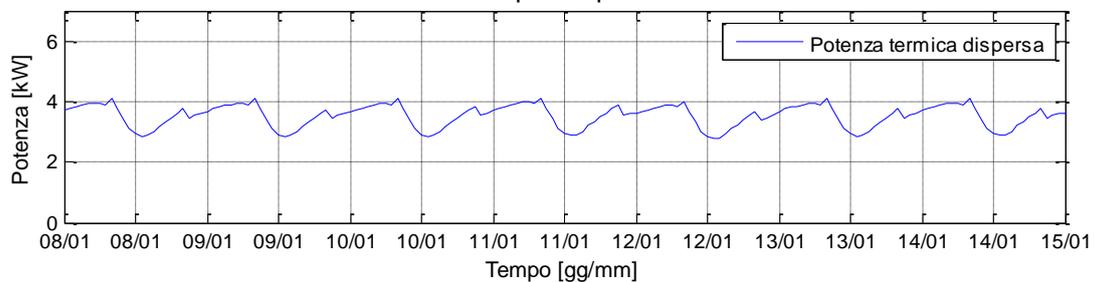


Tabella 18 - scheda 3 edificio residenziale anno di costruzione 1970/80

**Regione /Zona climatica:** zona climatica E  
**Classe di dimensione edilizia:** casa monofamiliare  
**Epoca costruttiva:** anni 70-80

**casa unifamiliare  
D**

V (m3)	S/V	superficie riscaldata (m2)	numero di piani climatizzati
390	0.68	130	1

#### TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETE	SOLAIO	SERRAMENTI
tetto piano in laterocemento con pannello isolante (47 cm)	muratura in mattoni foraticon pannello isolante e intercapedine d'aria (40 cm)	basamento in laterocemento su terreno (43 cm)	vetro doppio, telaio in alluminio
COPERTURA	PARETE	SOLAIO	
U [W/(m2K)]	U [W/(m2K)]	U [W/(m2K)]	
0.44	0.45	0.44	

#### SERRAMENTI

Uf [W/(m2K)]	Ug [W/(m2K)]
1.9	2.4

#### Carico per dispersione

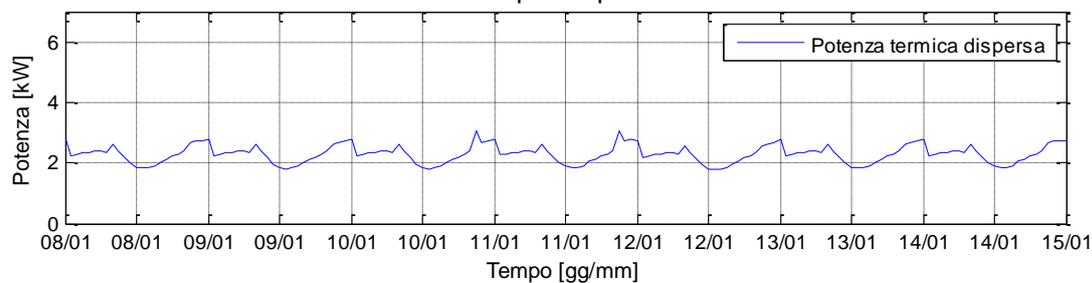
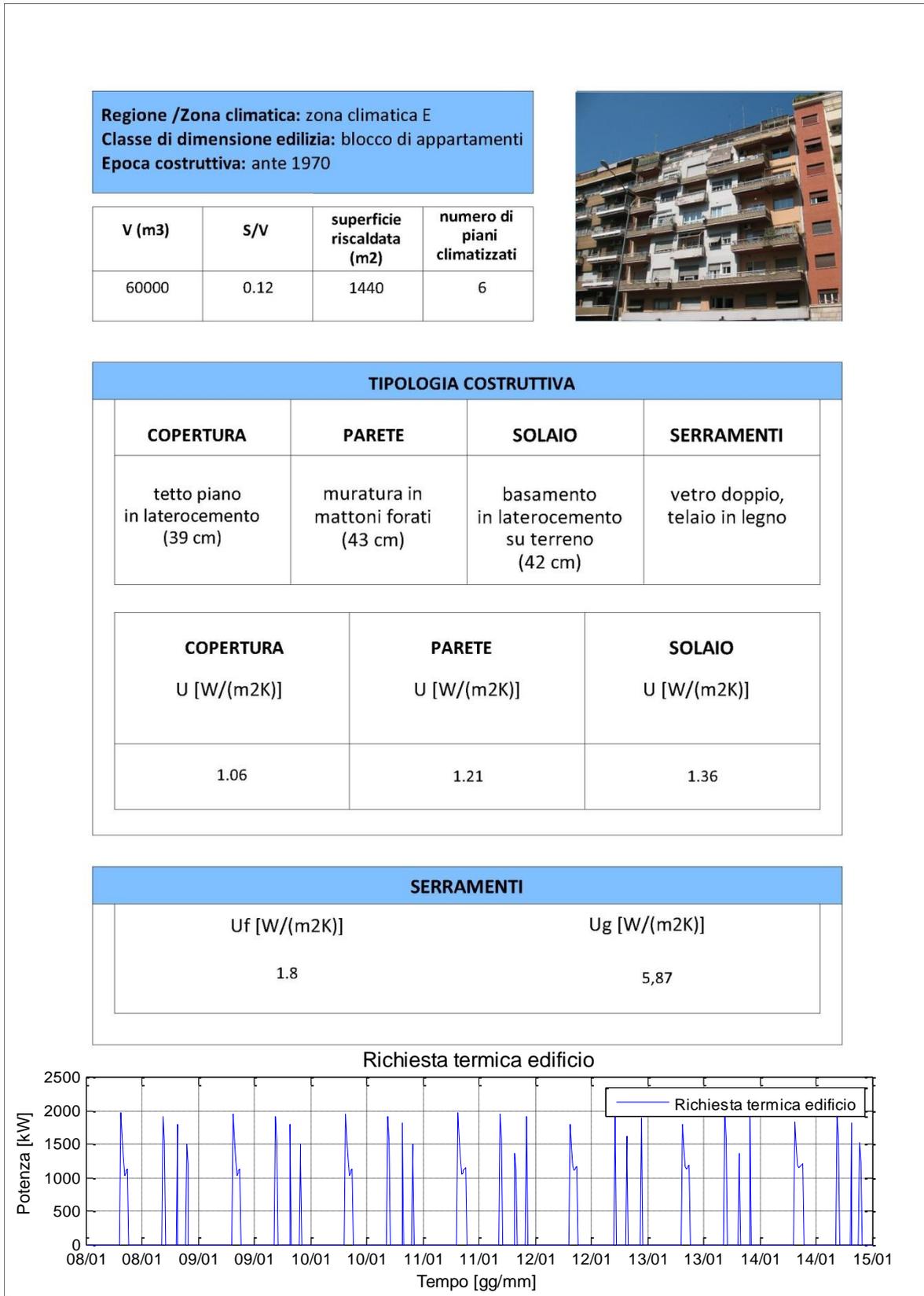


Tabella 19 - scheda 4 edificio residenziale anno di costruzione 1970/80

Per i successivi edifici tipo si riporta il profilo di potenza termica fornita dal generatore centralizzato gestito da un cronotermostato programmato su fasce orarie corrispondenti all'effettivo utilizzo dell'edificio .



**Tabella 20 - scheda 5 edificio residenziale anno di costruzione 1970**

Regione /Zona climatica: zona climatica E  
 Classe di dimensione edilizia: scuola  
 Epoca costruttiva: 1965/70



V (m3)	S/V	superficie riscaldata (m2)	numero di piani climatizzati
21852	0.31	7284	5

#### TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETE	SOLAIO	SERRAMENTI
tetto piano in laterocemento (39 cm)	muratura in mattoni forati (43 cm)	basamento in laterocemento su terreno (42 cm)	vetro doppio, telaio in legno

COPERTURA U [W/(m2K)]	PARETE U [W/(m2K)]	SOLAIO U [W/(m2K)]
1.06	1.21	1.36

#### SERRAMENTI

Uf [W/(m2K)]	Ug [W/(m2K)]
1.9	2.4

#### Richiesta termica edificio

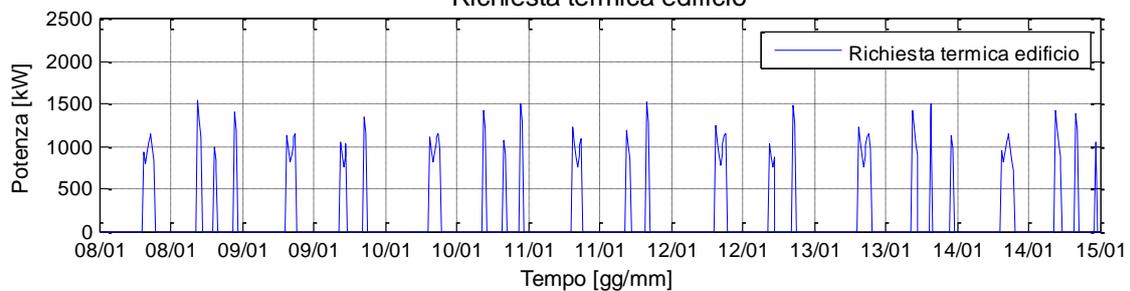


Tabella 21 - scheda 6 scuola anno di costruzione 1965/70

**Regione /Zona climatica:** zona climatica E  
**Classe di dimensione edilizia:** ufficio  
**Epoca costruttiva:** 1965/70



V (m3)	S/V	superficie riscaldata (m2)	numero di piani climatizzati
5940	0.29	2160	6

#### TIPOLOGIA COSTRUTTIVA

COPERTURA	PARETE	SOLAIO	SERRAMENTI
tetto piano in laterocemento (39 cm)	muratura in mattoni forati (43 cm)	basamento in laterocemento su terreno (42 cm)	vetro doppio, telaio in alluminio
<b>COPERTURA</b> U [W/(m2K)]	<b>PARETE</b> U [W/(m2K)]	<b>SOLAIO</b> U [W/(m2K)]	
1.06	1.21	1.36	

#### SERRAMENTI

<b>U<sub>f</sub> [W/(m2K)]</b>	<b>U<sub>g</sub> [W/(m2K)]</b>
2.4	2.83

#### Richiesta termica edificio

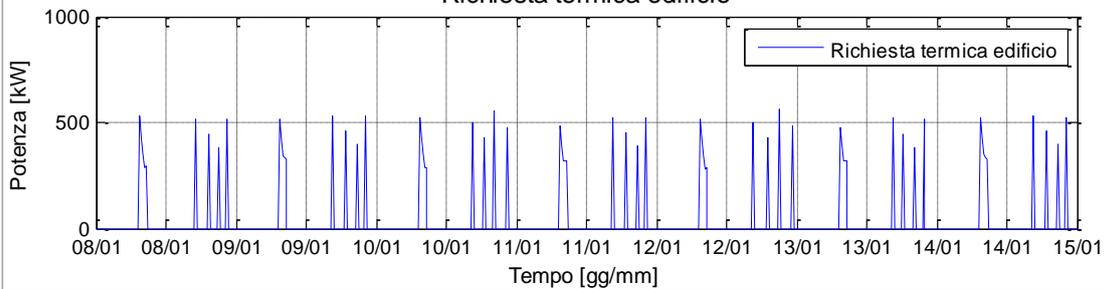


Tabella 22 – scheda 7 ufficio anno di costruzione 1965/70