

POLITECNICO DI TORINO

**Corso di Laurea Magistrale
in Ingegneria Energetica e Nucleare**

Tesi di Laurea Magistrale

Sistemi di teleriscaldamento e geostrutture energetiche. Integrazione in aree di nuova edificazione.



Relatore:

Prof. Alberto Poggio

Correlatore:

Ing. Giulio Cerino Abdin

Candidato:

Mario Bagordo

Anno Accademico 2019/2020

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	1
2	Descrizione e caratteristiche delle ZUT	3
2.1	ZUT5 – Rebaudengo (Spina 4)	5
2.2	ZUT9 – Ex Scalo Vanchiglia	6
3	Analisi preliminare di fabbisogno energetico per le aree di nuova edificazione	9
3.1	Ricerca parametri di fabbisogno da normativa	9
3.2	Definizione dell’edificio tipo.....	10
3.2.1	Superfici disperdenti.....	12
3.2.2	Superfici finestrate	13
3.3	Fabbisogno di potenza ed energia.....	14
3.3.1	Calcolo della temperatura minima	15
3.3.2	Potenza per trasmissione	15
3.3.3	Potenza per ventilazione	18
3.3.4	Potenza totale richiesta.....	21
3.3.5	Calcolo dei gradi giorno	22
3.3.6	Fabbisogno di energia.....	23
3.4	Apporti gratuiti	25
3.4.1	Apporti solari	25
3.4.2	Apporti interni	31
3.5	Fabbisogno di potenza ed energia effettivo.....	35
3.6	Calcolo dei rendimenti.....	36
3.6.1	Rendimento di generazione	36
3.6.2	Rendimento di distribuzione	38
3.6.3	Rendimento di regolazione	39
3.6.4	Rendimento di emissione	40
3.6.5	Rendimento globale	42
4	Richiesta di potenza ed energia alla rete	43
4.1	Cumulata	45
4.1.1	Calcolo su cumulata esistente	45
5	Estrazione di calore dal sottosuolo.....	55
5.1	Geotermia a bassa entalpia	55
5.2	Geostrutture energetiche.....	56
5.3	Utilizzo dei conci Enertun	57
5.4	Processo di attivazione geotermica della metropolitana.....	58
5.5	Modalità di scavo.....	60

5.6	Caratteristiche geotermiche del Piemonte e delle zone oggetto di studio.....	62
6	Produzione da pompe di calore.....	66
7	Accoppiamento richiesta-offerta.....	68
7.1	Rebaudengo.....	68
7.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	70
8	Conclusioni	72
9	Bibliografia.....	74
10	Allegati.....	76
10.1	Calcolo edifici tipo per ogni lotto	76
10.1.1	Rebaudengo.....	76
10.1.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	77
10.2	Verifica coefficiente globale di scambio termico H_T	79
10.2.1	Rebaudengo.....	79
10.2.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	80
10.3	Richiesta di potenza per trasmissione e ventilazione	83
10.3.1	Rebaudengo.....	83
10.3.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	84
10.4	Fabbisogno di energia complessivo.....	87
10.4.1	Rebaudengo.....	87
10.4.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	88
10.5	Apporti solari	91
10.5.1	Rebaudengo.....	91
10.5.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	92
10.6	Apporti gratuiti	95
10.6.1	Rebaudengo.....	95
10.6.2	Ex Scalo Vanchiglia.....	96
10.7	Rendimenti Ex Scalo Vanchiglia	99
10.8	Fabbisogno per riscaldamento	100
10.8.1	Ex Scalo Vanchiglia.....	100

1 INTRODUZIONE

La presente tesi intende verificare l'attuabilità tecnica di un possibile allaccio di nuove utenze a una rete di teleriscaldamento, che sfrutta il calore prelevato da un tunnel sotterraneo, scavato per il futuro passaggio della linea 2 della metropolitana, nella città di Torino.

Il progetto di fattibilità tecnico economica della linea 2, realizzato dal raggruppamento di imprese con a capo la società francese Systra, è stato approvato dalla Giunta Comunale nel febbraio del 2020 (CITTA' DI TORINO SERVIZIO TELEMATICO PUBBLICO).

Il tracciato avrà un'estensione di circa 28 chilometri e conterà 32 stazioni. Durante l'iter di progettazione e interlocuzione per la ricerca dei fondi, la geometria del tracciato ha subito variazioni e riadattamenti. Questo è dovuto in parte alla necessità di massimizzarne la capacità trasportistica, per la sostenibilità finanziaria dell'opera.

La nuova linea collegherà il quadrante nord-est della città con il quadrante sud-ovest, in più saranno realizzate diramazioni verso Orbassano e San Mauro.

La metropolitana 2 si incrocerà con la linea 1 in corrispondenza di Porta Nuova. Avrà caratteristiche tecniche simili alla linea 1, ma subirà indispensabili adeguamenti tecnologici, per tener conto dello sviluppo di questo settore, intervenuto dalla realizzazione della precedente linea (fine lavori 2006).

In concomitanza alla realizzazione della seconda linea di metropolitana, è prevista la riqualificazione delle zone Barriera di Milano e Regio Parco, di cui la metropolitana 2 promette di esserne un acceleratore.

La riconversione dei due quartieri a nord di Torino prevede, tra le altre cose, la ricostruzione, nel senso più stretto del termine, di due zone, Rebaudengo ed Ex Scalo Vanchiglia, porzioni di città piagate dapprima da anni di attività industriale e commerciale, che non hanno incluso un'attenzione all'estetica e alla fruibilità della zona, e successivamente da un completo abbandono.

In attesa dell'inizio dei lavori si stanno portando avanti alcuni progetti e studi che prevedono l'utilizzo del calore geotermico, prodotto nel tunnel in cui passerà la metropolitana, come fonte per il riscaldamento di alcuni complessi di edifici antistanti il tracciato, tra cui quelli appartenenti alle zone sopracitate, con l'impiego di pompe di calore.

Il calore estratto dalle pareti dello scavo e dal ciclo delle pompe di calore dovrà essere convogliato attraverso il fluido termovettore in una rete di teleriscaldamento a bassa temperatura.

L'estrazione del calore dal sottosuolo può avvenire in vari modi, l'elemento fondamentale per questo processo è uno scambiatore di calore.

Per rispondere alla necessità di estrarre calore dal tunnel ferroviario si sono ipotizzati negli anni varie soluzioni, tra queste si colloca il brevetto Enertun del Politecnico di Torino.

Verranno installati impianti che utilizzano una fonte di calore a bassa temperatura, nello specifico, pompe di calore con alto COP. Gli edifici, di conseguenza, si dovranno munire di terminali di emissione del calore che funzionino ad alti rendimenti con basse temperature, come ad esempio fan coil, ventilconvettori, pannelli radianti etc.

Nel presente elaborato, ci si occuperà inizialmente, di stimare la richiesta di energia e di potenza dei lotti di nuova costruzione, espresse in termini di kWh/m², kW/m² o kW/m³.

Successivamente si elaborerà la richiesta effettiva in termini di energia e potenza complessiva per le due zone e si valuterà se la richiesta si accoppia, o meno, con l'offerta da parte del tunnel ferroviario.

Si mette in evidenza che le tipologie edilizie che si realizzano in questi anni hanno comportamenti termodinamici differenti rispetto gli edifici esistenti. In letteratura non è presente un gran numero di studi a riguardo, come non è presente un gran numero di studi che trattino l'utilizzo di calore dal sottosuolo e l'implementazione di impianti che ne fanno uso. Si cercherà nel presente studio di evidenziarne le particolarità.

Questi descritti finora saranno gli elementi che il presente studio di tesi si prefigge di collegare e snocciolare al fine di valutare la convenienza nell'utilizzo di una fonte così innovativa: un progetto per cui la città di Torino può essere pioniera a livello europeo.

2 Descrizione e caratteristiche delle ZUT

La città di Torino con Deliberazione del Consiglio Comunale mecc. n. 2008 09659/09 del 15 giugno 2009, ha approvato il Documento Programmatico della Variante strutturale n. 200 al P.R.G. (Città di Torino, Divisione Urbanistica ed edilizia privata via Meucci n°4, Variante n. 200 al Prg), dando il via alla maggiore trasformazione urbana degli ultimi anni. Il documento prevede la riqualificazione fisica, ambientale e sociale dei quartieri della zona nord Barriera di Milano e Regio Parco, con la realizzazione della linea 2 della metropolitana.

In concomitanza con l'esecuzione di quest'opera è prevista la riqualificazione di alcune aree, ritenute strategiche per il miglioramento delle zone sopraccitate.

Vengono esaminate nel seguito le Zone Urbane di Trasformazione (ZUT) previste dall'art. 15 delle norme generali di attuazione (Piano Regolatore Generale di Torino Norme Urbanistico Edilizie di Attuazione Volume II schede normative, 2018)

La trasformazione delle suddette aree è funzionale al progetto di mobilità e accessibilità che si vuole conseguire a livello cittadino. A scala minore si intende valorizzare e rendere più raggiungibili le zone di Barriera di Milano e Regio Parco che risultano confinate dall'edificazione non omogenea e dalla presenza di barriere al passaggio come l'ex trincea ferroviaria o grossi insediamenti industriali che ne rendono difficoltoso il raggiungimento. A scala metropolitana si vuole raggiungere l'obiettivo di riqualificare quelle zone che potranno rappresentare una delle principali porte d'accesso della parte settentrionale di Torino.

Le previsioni di capacità edificatoria sulle aree in oggetto sono tuttora in corso di discussione. Inoltre, in alcuni lotti si potrà decidere di trasferire, da altri lotti, le concessioni edificatorie. Ai fini del presente elaborato si prende per riferimento la definizione contenuta nelle norme di attuazione qui citate.

Le aree oggetto di studio, individuate per vicinanza alle fermate della futura linea 2, sono le seguenti:

- aree ZUT 5, denominata Spina 4, in prossimità della fermata Rebaudengo, (indicata d'ora in poi come Rebaudengo)
- aree ZUT 9, in prossimità delle fermate Cimarosa, Bologna e Novara (d'ora in avanti indicate come Ex Scalo Vanchiglia).

Il piano regolatore fornisce per ogni lotto la ripartizione per destinazione d'uso: residenziale, terziario servizi, terziario commerciale e attività produttive. Queste ultime non saranno trattate nel presente documento in quanto non vi è convenienza economica per i gestori di reti di TLR nell'allaccio di utenze industriali, dal momento che godono di accisa ridotta sulla materia prima gas.

Le aree di nuova edificazione saranno adibite a residenze, in alcuni casi residenze convenzionate, attività di servizio alle persone e alle imprese. Sorgeranno altresì aree per spazi pubblici a parco, per il gioco e lo sport, e altre attrezzature di pubblico interesse.

Per alcuni lotti all'interno del documento viene indicato il limite relativo al numero massimo di piani fuori terra. Molte zone saranno dotate di piano interrato adibito a parcheggio, che non essendo climatizzato non verrà considerato.

Ogni zona presenta caratteristiche proprie e uno specifico indice territoriale massimo (mq SLP/mq ST), pertanto l'analisi terrà conto delle prescrizioni individuate in ciascuna area oggetto di studio.

A seguire si riporta il dettaglio satellitare dell'area con riportata l'ubicazione delle aree Rebaudengo ed Ex Scalo Vanchiglia (fonte: (Google Maps, s.d.)).

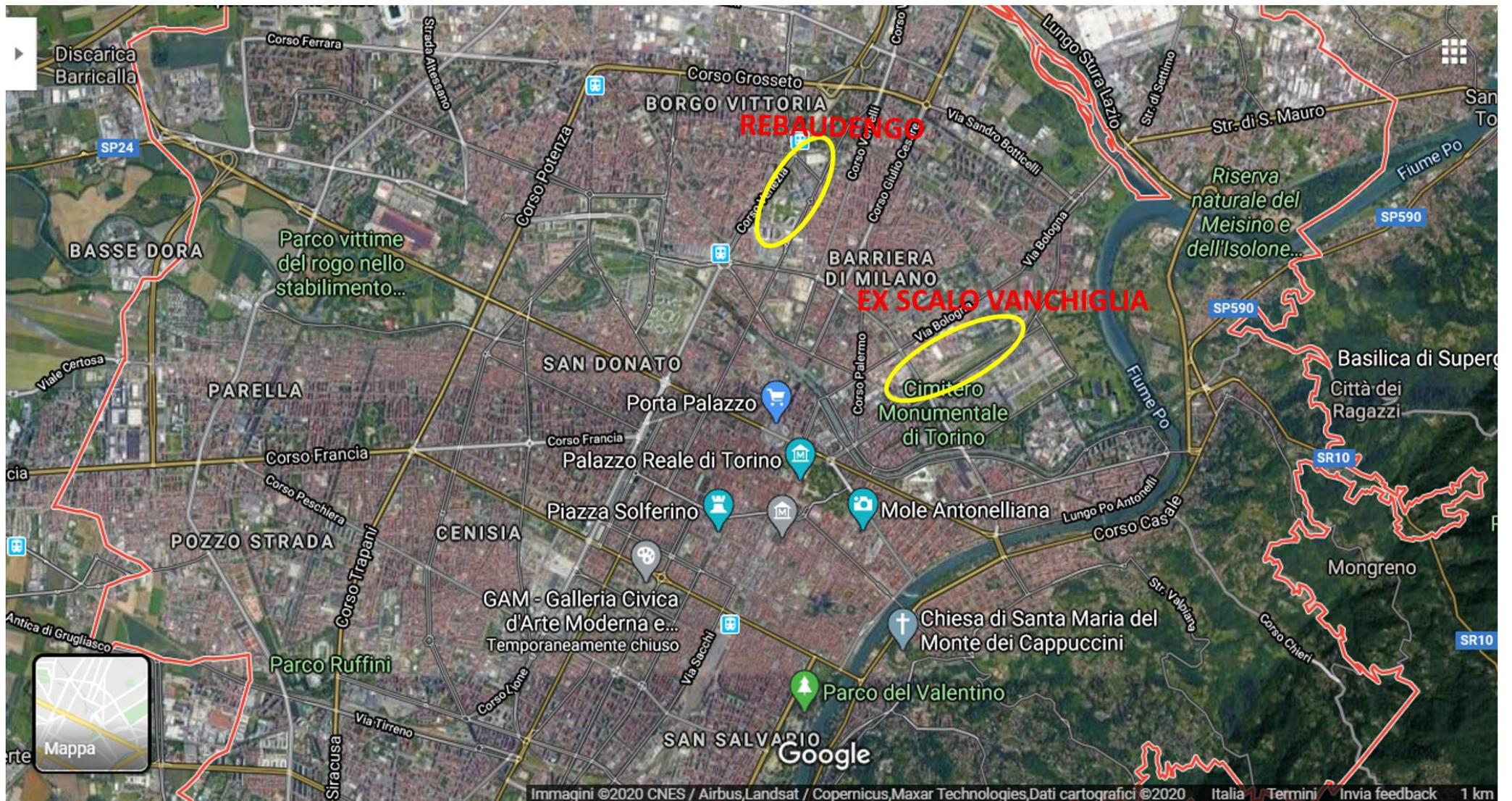


Figura 1 - Collocazione aree ZUT

2.1 ZUT5 – Rebaudengo (Spina 4)

La Spina 4 è posizionata nella zona nord centrale della città di Torino, attorno alla stazione di testata della futura linea 2 della metropolitana e della stazione Fossata-Rebaudengo. La presenza di questi due nodi rende la zona uno dei punti di massima accessibilità della città.

L'area ZUT 5 è suddivisa in 7 lotti: Priu, Docks Dora, FS 1, FS 2, Gondrand – Metallurgica Piemontese, Lauro Rossi, Breglio. Si può vedere la rappresentazione della "Tavola I, La Spina Centrale" (Piano Regolatore Generale di Torino Norme Urbanistico Edilizie di Attuazione Volume II schede normative, 2018).

Il comparto su cui si interverrà è occupato da un'eterogenea presenza di manufatti realizzati per sopperire ad esigenze legate a decenni di attività industriale e commerciale. Alcune aree erano adibite al deposito ferroviario, e tra i lotti da riqualificare è presente l'area del Parco Sempione.

Nella porzione della società Gondrand sono presenti opere edilizie quali: magazzini, capannoni e palazzina uffici. La società Metallurgica Piemontese, votata dapprima alla raccolta di scarti ferrosi e non e alla demolizione di edifici industriali, ha poi mutato la sua attività convertendosi ad attività di commercio di prodotti siderurgici e accessori per edilizia. La composizione di quest'area è caratterizzata dalla presenza di tettoie e strutture minori.

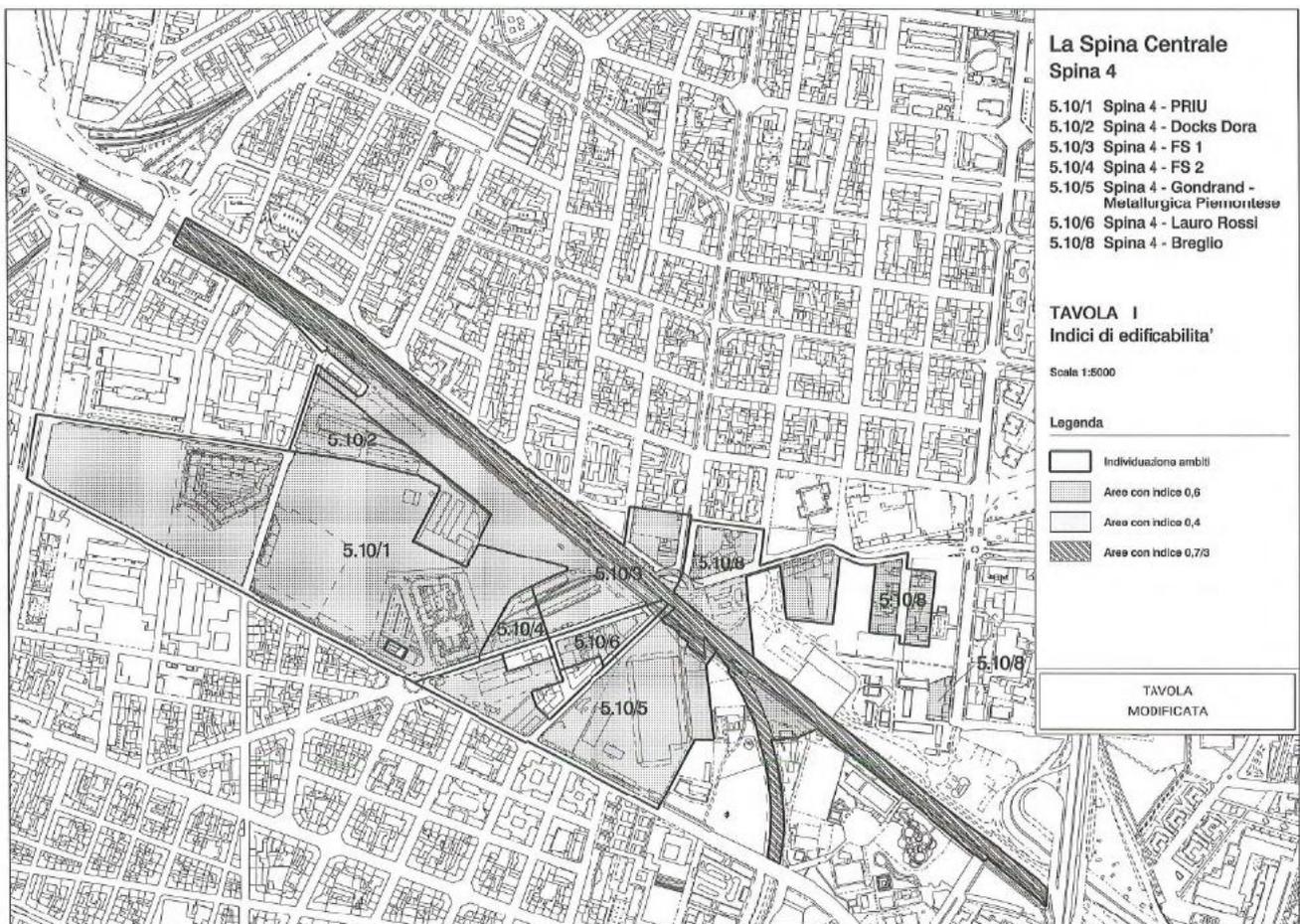


Figura 2 - Suddivisione in lotti zona Rebaudengo

Si riporta nella tabella seguente il dettaglio di ripartizione di ogni lotto per destinazioni d'uso.

Tabella 1 - Ripartizione delle SLP [m²] per destinazione d'uso, REBAUDENGO

	Residenziale	Terziario servizi	Terziario commerciale	Attività produttive	Totale
<i>SPINA 4 - PRIU</i>	29004	34840	23256	-	87100
<i>SPINA 4 - DOCKS DORA</i>	1423	12804	-	-	14227
<i>SPINA 4 - FS 1</i>	15596	6684	22281	-	44561
<i>SPINA 4 - FS 2</i>	1099	1320	881	-	3299
<i>SPINA 4 - GONDRAND-METALLURGICA PIEMONTESE</i>	24914	8293	2385	-	35592
<i>SPINA 4 - LAURO ROSSI</i>	3447	862	-	-	4309
<i>SPINA 4 - BREGLIO</i>	10054	2513	-	-	12567
TOTALE					201655

2.2 ZUT9 – Ex Scalo Vanchiglia

L'ex Scalo Vanchiglia, funzionale nel passato all'attività della Manifattura Tabacchi, ha ormai da tempo perso la sua funzione di scalo ferroviario. È la prosecuzione della trincea ferroviaria, che corre parallela a via Gottardo e via Sempione, e insieme a quest'ultima marca fisicamente la frattura del territorio, la quale è anche evidenziata dalla mancanza di passaggi e attraversamenti, sia carrabili, che pedonali. Inoltre, la presenza di importanti strutture areali come il cimitero Monumentale e lo stesso Ex scalo Vanchiglia limita la fruizione di questa area.

L'area ZUT 9 è suddivisa in 14 lotti:

9.7: Ceat

9.11: Amalfi

9.12: Buscalioni

9.200: Regaldi

9.22: Scalo Vanchiglia Ovest

9.23: Zerboni

9.24: Lanificio di Torino

9.27: Ferrari

9.29: Bologna

9.31: Nebiolo

9.34: Cimarosa

9.35: Scalo Vanchiglia Est

9.36: F.S. Scalo Vanchiglia

9.37: Gottardo

Se ne può vedere la rappresentazione nell'immagine seguente "Allegato grafico 1a - Area di Scalo Vanchiglia ed ex Trincea ferroviaria Sempione/Gottardo" (Città di Torino, Divisione Urbanistica ed edilizia privata via Meucci n°4, Variante n. 200 al Prg) .

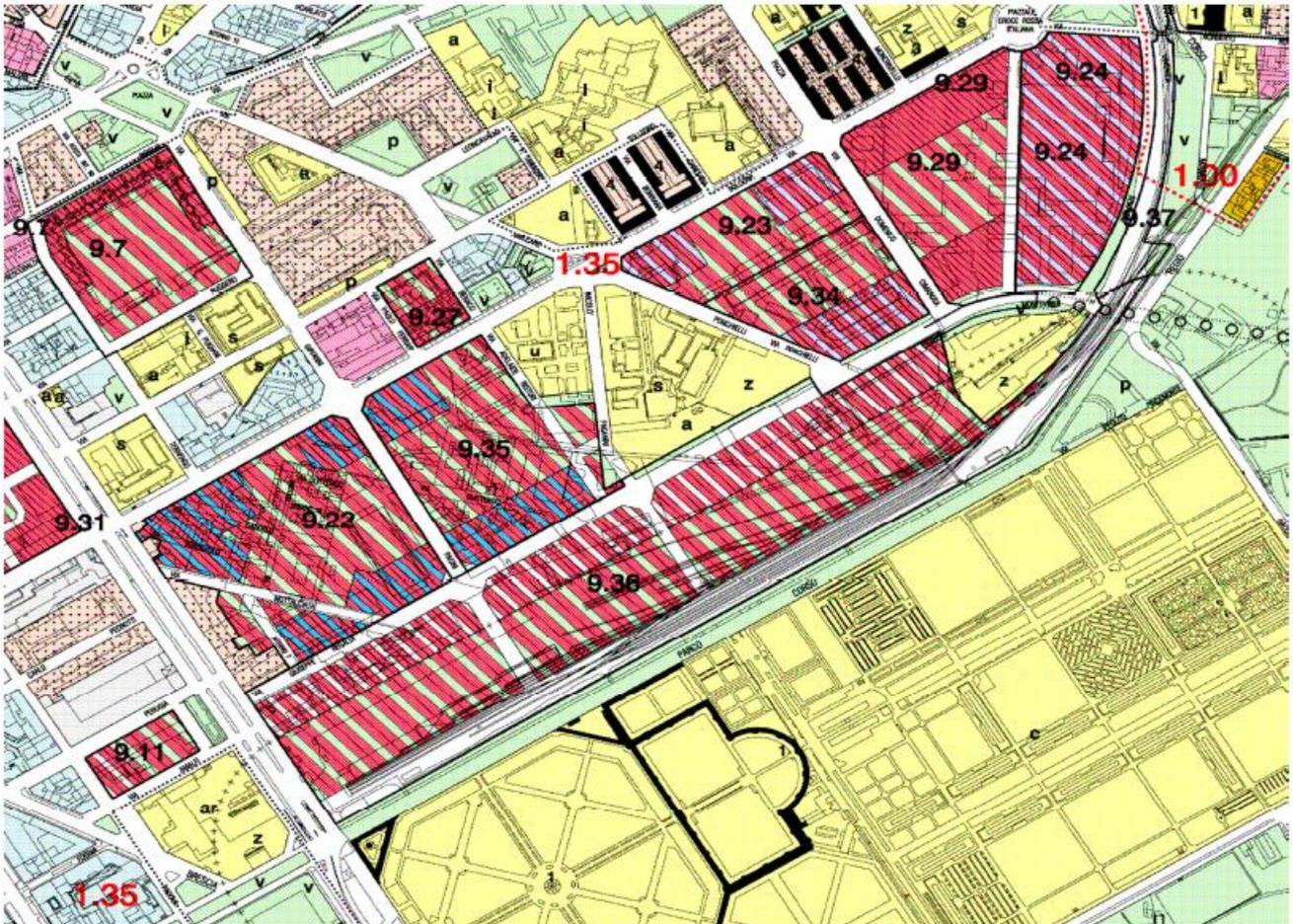


Figura 3- Suddivisione in lotti zona Ex Scalo Vanchiglia

A loro volta, nella zona Ex Scalo Vanchiglia, alcuni lotti sono frazionati in sottoambiti. In particolare "Scalo Vanchiglia ovest" è suddiviso in 3 sottoambiti, mentre "Scalo Vanchiglia est" è suddiviso in 2 sottoambiti. Ogni ambito è contrassegnato da specifiche differenti, come la limitazione sul numero di piani edificabili e la percentuale delle diverse destinazioni d'uso.

Si riporta il dettaglio di ripartizione di ogni lotto.

Tabella 2 - Ripartizione delle SLP [m²] per destinazione d'uso, EX SCALO VANCHIGLIA

	Residenziale	Terziario servizi	Terziario commerciale	Attività produttive	Totale
REGALDI	48615	32410	-	-	81025
CEAT	19660	1710	-	-	21370
AMALFI	-	1501	1001	2502	5004
BUSCALIONI	2804	701	-	-	3505

SCALO VANCHIGLIA OVEST	9679	12801	2498	6244	31222
ZERBONI	-	1250	1250	9996	12495
LANIFICIO DI TORINO	-	6816	7383	14199	28398
FERRARI	3595	899	-	-	4494
BOLOGNA	24429	1832	1221	3054	30536
NEBIOLO	21812	5453	-	-	27265
CIMAROSA	-	2478	-	9914	12392
SCALO VANCHIGLIA EST	-	10679	890	6229	17798
F.S. SCALO VANCHIGLIA	4010	4812	1203	-	10024
GOTTARDO	5496	3664	-	-	9160
TOTALE					294688

3 Analisi preliminare di fabbisogno energetico per le aree di nuova edificazione

L'analisi prevede il calcolo del fabbisogno energetico per il parco edilizio di nuova costruzione, si ricercano dapprima parametri speditivi da normativa che avendo la superficie edificabile possano dare valori da rispettare in termini di energia e potenza.

Vengono riportati nel presente elaborato, a scopo esplicativo, i calcoli per il lotto PRIU, appartenente a zona Rebaudengo. Sono riportate in allegato le tabelle, elaborate su foglio di calcolo, per gli altri lotti.

Tabella 3 - Ripartizione SLP per destinazione d'uso, lotto PRIU

	Totale	Residenziale	Terziario servizi	Terziario commerciale	Attività produttive
<i>Valore percentuale [%]</i>	100.0%	33.3%	40.0%	26.7%	0.0%
<i>SLP edificabile [m²]</i>	87100	29004	34840	23256	0

3.1 Ricerca parametri di fabbisogno da normativa

Lo scopo della ricerca è di ottenere valori in kWh/m² di energia necessaria in un anno per il mantenimento delle condizioni di confort.

Vengono analizzati due testi legislativi:

- CAM edilizia (Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, s.d.),
- "Requisiti energetici minimi" (Decreto del Ministero dello sviluppo economico, 2015).

Nessuno dei due riporta valori in termini di limiti di richiesta di energia o limiti di potenza di picco.

Si è deciso quindi di studiare una possibile struttura del parco edilizio di nuova costruzione, calcolando le caratteristiche degli "edifici tipo" che si andranno a costruire, ed applicare le trasmittanze termiche prescritte (Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A, 2015).

Una volta calcolati i parametri e tutte le superfici disperdenti si procede con la verifica del coefficiente globale di scambio termico, previsto anch'esso nel Decreto sopracitato, tabella 10.

Tabella 4 - Valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico $H'_T = \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$

Numero Riga	RAPPORTO DI FORMA (S/V)	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
1	$S/V \geq 0,7$	0,58	0,55	0,53	0,50	0,48
2	$0,7 > S/V \geq 0,4$	0,63	0,60	0,58	0,55	0,53
3	$0,4 > S/V$	0,80	0,80	0,80	0,75	0,70
Numero Riga	TIPOLOGIA DI INTERVENTO	Zona climatica				
		A e B	C	D	E	F
4	Ampliamenti e Ristrutturazioni importanti di secondo livello per tutte le tipologie edilizie	0,73	0,70	0,68	0,65	0,62

3.2 Definizione dell'edificio tipo

Si effettua quindi la stima del fabbisogno energetico dei due complessi edilizi di nuova costruzione. A tal scopo si utilizzano alcune normative, in particolare la UNI 11300, e la UNI 10339. Occorreranno i dettagli delle superfici edificabili per ogni lotto che saranno ricavate dal Piano Regolatore Generale di Torino.

Come primo dato occorrono quindi le superfici lorde di pavimento (SLP) edificabili.

Per SLP si intende la somma di tutte le superfici coperte (Piano Regolatore Generale di Torino Norme Urbanistico Edilizie di Attuazione Volume II schede normative, 2018). Nel punto 12 dello stesso documento, le superfici coperte (S.C.) sono definite come la superficie occupata dalla proiezione sul piano orizzontale del massimo ingombro delle strutture sopra il livello del terreno, delimitate dalle superfici più esterne delle pareti perimetrali.

Tale definizione di SLP comprende anche lo spazio destinato ai muri perimetrali e ai muri di ripartizione interna: i primi saranno considerati dove necessario perché di spessore notevole, circa 30 centimetri. I muri di ripartizione interna hanno spessore stimabile in 10 centimetri, quindi meno pesanti sul calcolo totale. Inoltre, se per il calcolo dell'ingombro dei muri perimetrali è sufficiente il calcolo del perimetro di base, per i muri di intramezzo interni occorre ipotizzare una ripartizione interna e pertanto aumentare il grado di incertezza del calcolo.

Per modellizzare l'edificio tipo, che utilizzeremo per l'intero calcolo, si è reso necessario stimare l'altezza massima edificabile. Come detto, in molti casi il limite in altezza viene già fornito dal Piano Regolatore, differenziato per ogni lotto. Laddove non è presente alcuna indicazione è stato posto il limite allineandosi all'altezza degli edifici circostanti, ipotizzando che il Comune imponga l'obbligo di non perturbare lo skyline cittadino quindi di non costruire edifici oltre l'altezza di quelli circostanti.

A tal scopo, tramite il programma QGIS, si è valutata l'altezza in piani fuori terra dei blocchi di edifici che circondano le aree Rebaudengo ed Ex scalo Vanchiglia.

Nell'immagine sotto si possono vedere gli edifici presi in considerazione per la zona Rebaudengo (QGIS).

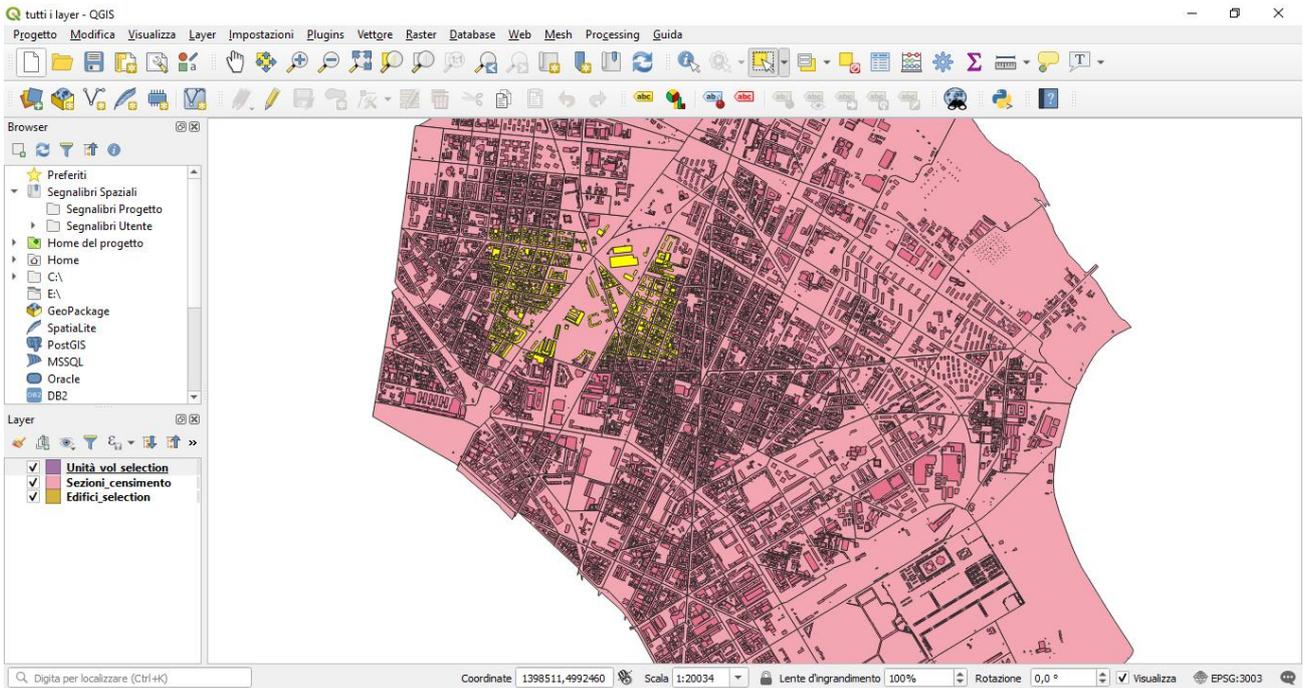


Figura 4 - Screenshot software QGIS, evidenziato in giallo circostanze area Rebaudengo

Intorno l'area Rebaudengo non sono stati trovati edifici oltre i 9 piani fuori terra.

Nell'immagine sotto si possono vedere gli edifici considerati per la zona Ex Scalo Vanchiglia (QGIS).

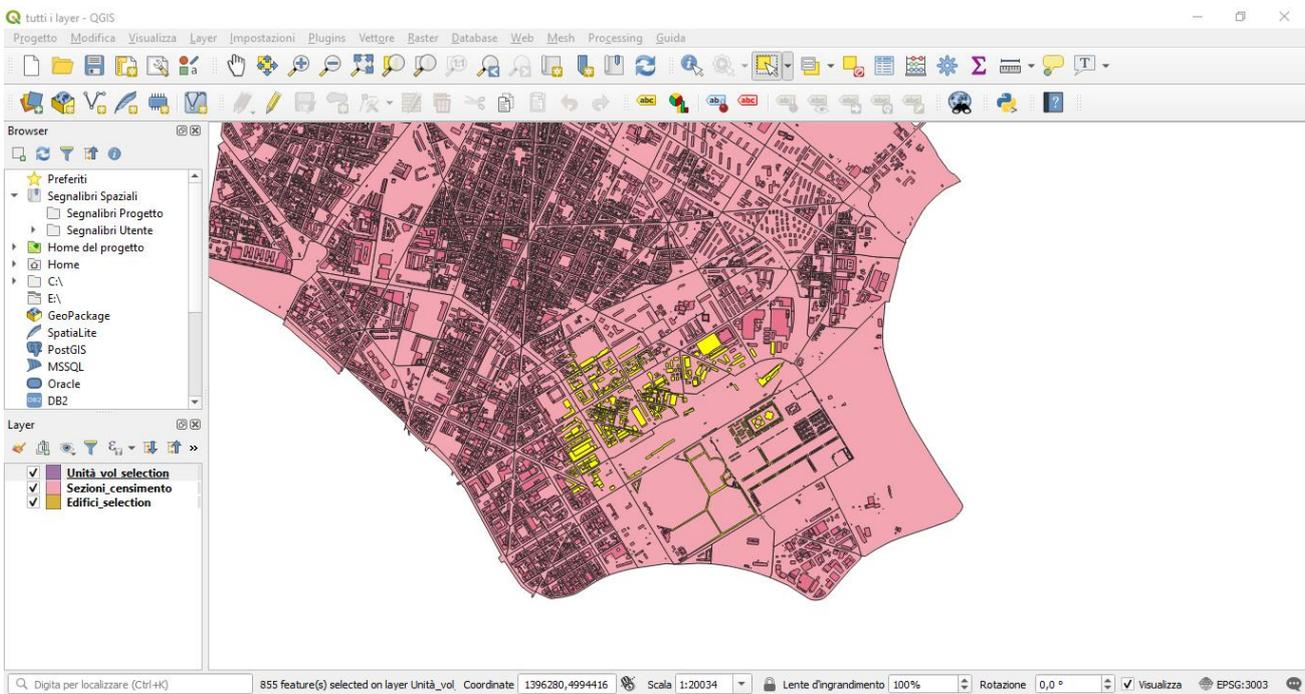


Figura 5 - Screenshot software QGIS, evidenziato in giallo circostanze area Ex Scalo Vanchiglia

Nelle circostanze dell'area Ex Scalo Vanchiglia invece l'altezza massima è di 10 piani f.t.

L'altezza di ogni piano è stata impostata a 2,70 metri (Decreto Ministeriale Sanità, 1975) a cui si aggiungono 30 centimetri per la soletta tra un piano e l'altro, facendo risultare l'altezza di ogni piano complessivamente di 3 metri.

Per la superficie in pianta sono stati imposti dei valori arbitrari, cercando però di bilanciare le proporzioni tra altezza e superficie di base, quindi evitare di avere edifici troppo allungati o troppo tozzi, e non avere un numero di edifici eccessivo, considerando che nel caso di più edifici, è più vantaggioso accorparli aumentando la superficie in pianta.

A questo punto, per ogni lotto è stato possibile calcolare le caratteristiche degli EDIFICI TIPO per ogni destinazione d'uso e ogni lotto ha un numero di edifici tipo. All'interno dello stesso lotto sono presenti fino a tre edifici tipo differenti a seconda della destinazione d'uso: residenziale, terziario servizi, terziario commerciale. Nei primi due casi l'edificio tipo è assimilabile per caratteristiche e design, ma non per richiesta termica, ventilazione etc. Perciò i due casi vengono mantenuti distinti per l'intero calcolo.

Nel caso di terziario commerciale invece è stata ipotizzata l'edificazione di un capannone mono piano con altezza di 6 metri, e forma della pianta allungata.

Tabella 5 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto PRIU

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	600	87013	6
Terziario servizi	600	104520	7
Terziario commerciale	23256	139534	1

Una volta definito il numero di edifici tipo per ogni lotto si è proceduto nel determinarne le caratteristiche. Sono stati impostati alcuni arrotondamenti nel foglio di calcolo al fine di far risultare tutti gli edifici di una stessa destinazione d'uso di pari altezza e con superfici di base uguali.

Tabella 6 - Caratteristiche e dimensioni dell'edificio tipo, lotto PRIU

DESTINAZIONE D'USO	n.ro piani	volume [m ³]	Superficie in pianta [m ²]
Residenziale	9	14502	537
Terziario servizi	9	14931	553
Terziario commerciale	1	139534	23256

3.2.1 Superfici disperdenti

Al fine di effettuare un'elaborazione più completa, sono stati considerati inizialmente tre possibili fattori di forma per gli edifici. Come si è potuto vedere nella tabella del coefficiente globale di scambio termico H_T , vengono considerati tre intervalli per il fattore di forma:

- $\frac{S}{V} \leq 0,4$
- $0,7 \leq \frac{S}{V} \leq 0,4$

- $\frac{S}{V} \geq 0,7$

Sono stati scelti tre valori di $\frac{S}{V}$ in maniera arbitraria che rappresentassero gli intervalli. Pertanto, d'ora in avanti, il calcolo verrà suddiviso in tre casistiche in funzione del fattore di forma: $\frac{S}{V} = 0.7/0.5/0.35$. Successivamente sarà possibile eseguire la verifica sul coefficiente globale di scambio differenziando per i tre fattori di forma. Occorre evidenziare che il modello da qui introdotto è coerente per dimensioni con una possibile realizzazione ma non si è potuto verificare se l'estensione delle superfici disperdenti sia fattibile con una possibile realizzazione.

Avendo le SLP e quindi il volume (h = 3 m per residenziale e terziario servizi, h = 6 m per terziario commerciale), sono ricavate le superfici disperdenti grazie alla relazione sul fattore di forma.

Tabella 7 - Calcolo delle superfici disperdenti dell'edificio tipo in funzione del fattore di forma, lotto PRIU

S/V	Superfici disperdenti [m ²]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	12182	8701	6091
Terziario servizi	10452	7466	5226
Terziario commerciale	97674	69767	48837

Le superfici disperdenti, a questo punto, sono state distinte in verticali e orizzontali; le superfici verticali a loro volta devono essere distinte in opache e trasparenti perché caratterizzate da trasmittanza differente.

3.2.2 Superfici finestrate

Per il calcolo delle superfici di involucro trasparente è stato adottato un procedimento differente in funzione della destinazione d'uso.

Non è possibile fare una previsione precisa in questa fase di analisi sull'estensione delle superfici finestrate, perché dipendono da molti fattori ed è una decisione in cui il progettista ha molto margine di scelta, non essendoci nessuna norma specifica in merito.

L'unica indicazione che si trova per il settore residenziale, è di garantire un fattore di luce diurna medio non inferiore al 2 per cento, e che le superfici apribili finestrate non siano al di sotto di 1/8 rispetto il pavimento (Decreto Ministeriale Sanità, 1975). Queste sono indicazioni che garantiscono requisiti igienici minimi ma non si può essere sicuri che garantiscano un'ottimale illuminazione degli ambienti.

Il fattore di luce diurna medio è un valore calcolabile solo dopo la costruzione del locale in esame, quindi il parametro a cui si è fatto riferimento è stato 1/8 della superficie calpestabile, a cui è stato aggiunto cautelativamente il 30%. Il valore risultante è 16.3%, che rappresenta l'estensione delle superfici finestrate rispetto il pavimento.

Nel caso di edificio tipo adibito a terziario servizi si è dovuto adottare un procedimento differente, in quanto non esiste alcun riferimento legislativo che dia indicazioni aggiuntive al Decreto sopracitato. È stato adottato un calcolo partendo dal coefficiente globale di scambio termico H'_T . Si è partiti dalla considerazione che in ambienti adibiti ad ufficio o attività di terziario servizi si tende a realizzare superfici finestrate più grandi possibili, al fine di garantire una buona quantità di luce naturale.

Imponendo il valore limite del coefficiente H'_T si è applicata la seguente formula:

$$H'_T = \frac{S_{opachi\ verticali} * U_{op.vert.} + S_{coperture} * U_{cop} + S_{pavimento} * U_{pav} + S_{finestre} * U_{fin}}{Superficie\ disperdente}$$

È imposto che le superfici opache siano la differenza di superfici verticali opache e trasparenti.

Tramite metodo iterativo viene ricavata la superficie finestrata massima ammissibile rispettando il fattore H'_T ; il calcolo è applicato per i tre intervalli di fattore di forma che si sono considerati. L'estensione delle superfici finestrate risulta tra il 30 e il 50% della superficie di pavimento.

Per le superfici finestrate nel terziario commerciale non ci sono specifiche da rispettare ma solo valori consigliati, quindi trattandosi di capannoni ad uso negozi, tipo vestiario o alimentari, si è scelto un valore di 1/25 della superficie calpestabile.

Viene riportata a seguire la tabella con i valori di coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso. La formula prevede l'utilizzo delle trasmittanze termiche, che per ora si danno per note e verranno esplicitate nel paragrafo successivo.

Tabella 8 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto PRIU

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,27	0,27

Come si può vedere nel caso del terziario servizi il valore H'_T è limite, negli altri casi invece risulta molto inferiore.

3.3 Fabbisogno di potenza ed energia

Si è calcolato il fabbisogno di potenza di picco e di energia durante il periodo di riscaldamento.

Torino si trova in zona climatica E, in cui la temperatura esterna di progetto è di -8°C. La stagione di riscaldamento è dal 15 ottobre al 15 aprile, quindi 182 giorni annui di accensione, per un limite di 14 ore giornaliere. Per "stagione di riscaldamento" si intende il periodo durante l'anno in cui è necessario un apporto di calore da parte dell'impianto di climatizzazione, per garantire all'interno dei locali una temperatura che rispecchi il comfort degli occupanti.

Il profilo di accensione dipende dalla destinazione d'uso. Occorre prestare attenzione al comfort ambientale nelle ore di utilizzo dei locali. Si mette in funzione l'impianto di riscaldamento nelle ore precedenti e durante le ore in cui sono presenti gli occupanti. L'accensione dell'impianto si può dire essere concentrata maggiormente verso gli estremi della giornata, mattina presto e pomeriggio inoltrato della giornata, per residenziale, e nel mezzo della giornata per terziario servizi e commerciale.

All'interno degli ambienti sono garantiti 20°C in ottemperanza al (Decreto del Presidente della Repubblica, n. 412 Allegato A, 1993) "Valori massimi della temperatura ambiente". Le destinazioni d'uso sono variabili

nel caso in esame E.1 residenziale, E.2 uffici, E.5 locali commerciali, ma sono tutte ad uso civile e può essere imposta una temperatura interna di progetto di 20°C.

3.3.1 Calcolo della temperatura minima

La temperatura di progetto, -8°C è il dato riscontrato più cautelativo possibile, a livello statistico, rilevato negli ultimi anni. Viene utilizzato per il dimensionamento degli impianti. Al fine di valutare la temperatura minima a cui deve far fronte l'impianto nel suo esercizio è opportuno valutare un valore di temperatura minima "reale".

Vista l'ubicazione delle aree oggetto di studio si utilizzano i files dati Arpa Piemonte delle due centraline meteo più prossime in termini di distanza in linea d'aria. Le due stazioni meteorologiche sono: Reiss Romoli e Giardini Romani, circa equidistanti dalle aree. Inoltre, per una stima più precisa viene esteso il calcolo, e mediato, dall'anno 2015 fino al 2019, in modo da inglobare annate anomale sia in senso di temperature rigide che miti.

Vengono esaminate mese per mese le 5 annate per individuare le temperature minime. In tutti i casi si è visto che le temperature più rigide si registrano in gennaio o febbraio.

Il valore di temperatura risultante è di 5,1°C.

3.3.2 Potenza per trasmissione

Per il calcolo della potenza di picco richiesta per ogni edificio tipo occorre porre ΔT uguale a 25,1°C, cioè la differenza tra 20°C interni e -5,1°C esterni, che rappresenta la situazione climatica più gravosa registrata negli ultimi anni.

Non è di interesse la stratigrafia delle superfici. Inoltre, vengono trascurate nel calcolo le componenti di inerzia e di smorzamento dell'intero involucro. Questa approssimazione creerà una certa incertezza nella stima delle temperature nelle varie zone dell'edificio. Tuttavia, nel bilancio complessivo, usando come volume di controllo l'edificio, viene rispettata la conservazione dell'energia, quindi il bilancio di energia entrante e uscente.

Le trasmittanze delle superfici verticali sono ricavate da valori di tabella 1 (Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A, 2015), trattasi di valori per edifici costruiti tra il 2019 e 2021.

Tabella 9- Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o controterra

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,45	0,43
C	0,38	0,34
D	0,34	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Le trasmittanze delle superfici orizzontali di copertura sono ricavate da tabella 2 (Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A, 2015).

Tabella 10 - Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,38	0,35
C	0,36	0,33
D	0,30	0,26
E	0,25	0,22
F	0,23	0,20

La superficie del tetto è calcolata ipotizzando un tetto piano, non inclinato e senza coperture ombreggianti.

Per la trasmittanza delle superfici orizzontali di pavimento è utilizzata la tabella 3 (Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A, 2015). Nel calcolo della potenza dissipata attraverso la superficie in pianta dell'edificio viene imposto come forzante lo stesso ΔT di tutte le altre superfici disperdenti, questo perché è ipotizzato esserci un pavimento su vespaio fortemente areato. Pertanto, si assume che la dispersione è quasi identica a un caso ideale in cui il pavimento confina con l'ambiente esterno, dove la temperatura di progetto è -5,1°C.

Tabella 11 - Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	0,46	0,44
C	0,40	0,38
D	0,32	0,29
E	0,30	0,26
F	0,28	0,24

Per la trasmittanza delle superfici di involucro trasparente è utilizzata la tabella 4 (Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A, 2015). Viene assunto che le finestre siano doppio vetro semplice, senza particolari tecnologie che schermino il flusso di calore in entrata o in uscita.

Tabella 12 - Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati

Zona climatica	U (W/m ² K)	
	2015 ⁽¹⁾	2019/2021 ⁽²⁾
A e B	3,20	3,00
C	2,40	2,20
D	2,00	1,80
E	1,80	1,40
F	1,50	1,10

I valori di trasmittanza utilizzati sono quindi: $0,26 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per involucro opaco verticale, $0,22 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per il tetto, $0,26 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per il pavimento e $1,4 \left[\frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ per le superfici trasparenti.

Avendo l'estensione delle superfici e la loro rispettiva trasmittanza è possibile calcolare la potenza richiesta, per ogni edificio tipo.

Vengono fatte due assunzioni semplificative:

- Si ipotizza che i ponti termici risultino "corretti" e inclusi all'interno del calcolo dei valori di trasmittanza considerati.
- Non vengono applicati coefficienti correttivi per lo scambio termico con locali a temperatura differente o non climatizzati, come potrebbe essere il vano scale o qualsiasi zona tecnica all'interno dell'edificio, in quanto tale valore è ritenuto trascurabile rispetto alla stima del calcolo ivi esposto.

Di seguito è riportata la tabella per la potenza richiesta riferita agli edifici tipo delle tre destinazioni d'uso, divisa per componenti di involucro.

Tabella 13 - Potenza dispersa da ogni componente di involucro, lotto PRIU

Potenza per componente di involucro [W]								
S/V	SUPERFICI VERTICALI OPACHE			SUPERFICI TRASPARENTI			PAVIMENTO	TETTO
	0.7	0.5	0.35	0.7	0.5	0.35		
Residenziale	71264	45925	26922	36951	36951	36951	5279	4467
Terziario servizi	52546	32808	13833	83423	72641	87017	4026	3407
Terziario commerciale	365691	160835	8464	45590	45590	45590	169301	143255

3.3.3 Potenza per ventilazione

Per il calcolo della potenza per ventilazione è necessario stimare la portata da introdurre nei locali.

Tutti gli edifici considerati saranno dotati di ventilazione meccanica per garantire un alto IAQ, compreso il settore residenziale dove è più raro non optare per una soluzione a ventilazione naturale. Per garantire alte prestazioni è quasi indispensabile munire l'edificio di impianto di ventilazione, in considerazione del fatto che il recuperatore riutilizza parte del calore, che in ventilazione naturale sarebbe sprecato. Pertanto, riesce a mantenere più bassa la richiesta di potenza ed energia.

Per semplicità è impostato il calcolo considerando che il sistema ha solo recupero di calore sull'aria espulsa; nella realtà probabilmente potrebbe avere il frazionamento della portata uscente e il ricircolo di una parte di questa, filtrandola prima dell'immissione, per decrementare ulteriormente la richiesta di potenza.

Il rendimento del recuperatore di calore, per tutti i casi, è fissato al 50% (valore cautelativo ai fini del calcolo rispetto allo standard normativo).

Per il calcolo della portata di ventilazione è necessario, anche in questo caso, dividere nei tre casi di destinazione d'uso.

Nel caso residenziale viene applicata la seguente formula:

$$\dot{Q}_{ventilazione} = \varepsilon * \frac{n * V_{edificio}}{3600} * cp * \rho * \Delta T$$

Dove l'indice di ricambio d'aria "n" è uguale a 0.3 volumi/ora da UNI/TS 11300. Il volume "da ventilare" è calcolato sottraendo al volume totale dell'edificio tipo la quota dovuta allo spazio occupato dai muri perimetrali e dalla soletta di interpiano, quindi nel caso di più piani è moltiplicato per il numero di piani più uno.

Per il terziario servizi e commerciale non si può applicare una formula che tenga conto dei ricambi orari previsti in funzione dell'ampiezza del locale, ma occorre usare l'indice di affollamento e la portata d'aria richiesta da ogni occupante, quindi si applica la formula:

$$\dot{Q}_{ventilazione} = \varepsilon * m_{vol} * cp * \rho * \Delta T$$

La portata m_{vol} sarà data da indice di affollamento per portata ad occupante.

L'indice di affollamento è ricavabile da Prospetto VIII "Indici di affollamento", (UNI 10339 Appendice A, 1995), nei due diversi utilizzi dei locali: "edifici per uffici e assimilabili" e "attività commerciali e assimilabili".

Tabella 14 - Indice di affollamento n_s per ogni metro quadrato di superficie

Classificazione degli edifici per categorie	n_s	(seguito del prospetto)	
EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI		Classificazione degli edifici per categorie	n_s
- abitazioni civili: soggiorni, camere letto	0,04	EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE, ASSOCIATIVE, DI CULTO (segue)	
- collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:		- musei, biblioteche, luoghi di culto	
• soggiorni	0,20	• sale in genere	0,30
• sale riunioni	0,60	• luoghi culto	0,80
• dormitori	0,10	- bar, ristoranti, sale da ballo	
• camere letto	0,05	• bar in genere	0,80
- alberghi, pensioni:		• sale pranzo ristoranti	0,60
• ingresso, soggiorni	0,20	• sale da ballo	1,00
• sale conferenze (piccole)	0,60		
• camere letto	0,05	ATTIVITÀ COMMERCIALI E ASSIMILABILI	
EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI		- grandi magazzini	0,25
• uffici singoli	0,06	- negozi o reparti di grandi magazzini:	
• uffici open space	0,12	• alimentari, abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	0,10
• locali riunione	0,60	• barbieri, saloni di bellezza, lavasecco, farmacie, zona pubblico banche	0,20
• centri elaborazione dati	0,08	- quartieri fieristici	0,20
OSPEDALI, CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI		EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SPORTIVA	
• degenze (2-3 letti)	0,08	- piscine, saune e assimilabili	
• corsie	0,12	• piscine (sala vasca)	0,30
• camere sterili e infettive	0,08	• saune	0,50
• visita medica	0,05	• ingressi	0,20
• soggiorni, terapie fisiche	0,20	- palestre e assimilabili	
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE, ASSOCIATIVE, DI CULTO		• campi gioco	0,20
- cinematografi, teatri, sale congressi		• zone spettatori	1,50
• sale in genere	1,50	• bowling	0,60
• biglietterie, ingressi	0,20 (medio)	• ingressi	0,20
• borse titoli e simili	0,50	EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE	
• sale attesa stazioni e metropolitane, ecc.	1,00	- asili nido e scuole materne	0,40
	(segue prospetto)	- aule scuole elementari, medie inferiori e superiori	0,45
		- aule universitarie	0,60
		- altri locali:	
		• aule musica e lingue	0,50
		• laboratori	0,30
		• sale insegnanti	0,30

Per il caso terziario servizi, quindi uffici o assimilabili, sarà considerato il 40% di corridoi e atri e il 60% di ambienti uffici: a loro volta l'ambiente ufficio è stimato sia composto per il 90% da uffici singoli, $n_s=0.06$, e 10% locali riunione, $n_s=0.6$. Viene calcolata la media pesata e risulta $n_s=0.11$.

Definito il numero di occupanti è possibile stabilire la portata richiesta totale. La portata richiesta ad occupante è ricavata da Prospetto III, "Portata di aria esterna in edifici adibiti ad uso civile", (UNI 10339, 1995).

Tabella 15 - Portata di aria esterna in edifici adibiti ad uso singolo

Categorie di edifici	Portata di aria esterna o di estrazione		Note
	Q_{op} (10^{-3} m ³ /s per persona)	Q_{os} (10^{-3} m ³ /s m ²)	
EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI			
RESIDENZE A CARATTERE CONTINUATIVO			
- Abitazioni civili:			
• soggiorni, camere da letto	11	-	-
• cucina, bagni, servizi		estrazioni	A
- Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:			
• sale riunioni	9*	-	-
• dormitori/camere	11	-	-
• cucina	-	16,5	-
• bagni/servizi		estrazioni	A
RESIDENZE OCCUPATE SALTUARIAMENTE			
Vale quanto prescritto per le residenze a carattere continuativo			
ALBERGHI, PENSIONI ecc.			
• ingresso, soggiorni	11	-	-
• sale conferenze (piccole)	5,5*	-	-
• auditori (grandi)	5,5*	-	-
• sale da pranzo	10	-	-
• camere da letto	11	-	-
• bagni, servizi		estrazioni	-
EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI			
• uffici singoli	11	-	-
• uffici open space	11	-	-
• locali riunione	10*	-	-
• centri elaborazione dati	7	-	-
• servizi		estrazioni	A
<i>(segue prospetto)</i>			
<i>(seguito del prospetto)</i>			
Categorie di edifici	Portata di aria esterna o di estrazione		Note
	Q_{op} (10^{-3} m ³ /s per persona)	Q_{os} (10^{-3} m ³ /s m ²)	
OSPEDALI, CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI **			
• degenze (2-3 letti)	11	-	-
• corsie	11	-	-
• camere sterili	11	-	-
• camere per infettivi		-	D
• sale mediche/soggiorni	8,5	-	-
• terapie fisiche	11	-	-
• sale operatorie/sale parto	-	-	D
• servizi		estrazioni	A
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE ASSOCIATIVE DI CULTO E ASSIMILABILI			
CINEMA, TEATRI, SALE PER CONGRESSI			
• atri, sale di attesa, bar		estrazioni	-
• platee, loggioni, aree per il pubblico, sale cinematografiche, sale teatrali, sale per riunioni senza fumatori	5,5*	-	-
• palcoscenici, studi TV	12,5*	-	-
• sale riunioni con fumatori	10*	-	-
• servizi		estrazioni	A
• borse titoli	10*	-	-
• sale attesa stazioni e metropolitane, ecc.		estrazioni	A
MOSTRE, MUSEI, BIBLIOTECHE, LUOGHI DI CULTO			
• sale mostre, pinacoteche, musei	6*	-	-
• sale lettura biblioteche	5,5*	-	-
• depositi libri	-	1,5	-
• luoghi di culto	6*	-	-
• servizi		estrazioni	A
BAR, RISTORANTI, SALE DA BALLO			
• bar	11	-	A
• pasticcerie	8	-	A
• sale pranzo ristoranti e self-service	10	-	-
• sale da ballo	16,5*	-	-
• cucine	-	16,5	-
• servizi		estrazioni	A
ATTIVITÀ COMMERCIALI E ASSIMILABILI			
- grandi magazzini - piano interrato	9	-	B
- grandi magazzini - piani superiori	6,5	-	-
- negozi o reparti di grandi magazzini:			
• barbieri, saloni bellezza	14	-	-
• abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	11,5	-	-
• alimentari, lavasecco, farmacie	9	-	-
- zone pubblico banche, quartieri fieristici	10	-	-
<i>(segue prospetto)</i>			

Per il settore terziario servizi viene utilizzato il valore di 0.011 m³/s a persona.

Non si conosce esattamente che tipo di negozi si insedieranno nei capannoni, del terziario commerciale, che verranno costruiti, quindi si calcola la media di portata richiesta tra attività commerciali come: abbigliamento, calzature, mobili con valore di portata uguale a 0.0115 m³/s a persona e alimentari, lavasecco, farmacie con valore di 0.009 m³/s a persona. Risulta dal calcolo un valore di 0.01025 m³/s a persona.

Grazie ai valori ricavati è ora possibile calcolare il valore di potenza richiesta per garantire il riscaldamento dell'aria in ingresso all'edificio e immetterla ad una temperatura di almeno 20°C, per non perturbare le condizioni termiche all'interno del locale.

3.3.4 Potenza totale richiesta

Sommando i valori di potenza richiesta per riscaldamento e per ventilazione si ha la potenza di picco richiesta dall'edificio.

Tabella 16 - Richiesta di potenza per edificio tipo, per destinazione d'uso, lotto PRIU

S/V	Richiesta di potenza [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	105	86	72
Terziario servizi	188	161	157
Terziario commerciale	1019	844	707

Come si poteva già supporre l'edificio tipo ha una richiesta differente in funzione del suo fattore di forma, incrementando il fattore di forma si incrementa la richiesta di potenza. Perciò via via che la pianta dell'edificio diventa più compatta, con fattori di forma più vicini a zero, la richiesta di potenza diminuisce. Andando verso edifici con superfici disperdenti più elevate, quindi $\frac{S}{V}$ più grandi, la richiesta di potenza aumenta.

Moltiplicando per il numero di edifici tipo di ogni destinazione d'uso, si ricava la richiesta di potenza totale dell'intero lotto.

Tabella 17 - Richiesta di potenza totale, lotto PRIU

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	632	519	433
Terziario servizi	1316	1124	1096
Terziario commerciale	1019	844	707

Si riportano due tabelle della potenza complessiva: zona Rebaudengo. La prima è riferita a temperatura minima uguale a -5,1°C, la seconda è la potenza di dimensionamento dell'impianto, riferita a temperatura minima uguale a -8°C (T esterna di progetto per Torino).

Tabella 18 - Richiesta di potenza totale, Tmin= - 5,1°C, zona Rebaudengo

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1870	1363	1143
Terziario servizi	2722	2369	2328
Terziario commerciale	2139	1764	1477

Tabella 19 - Richiesta di potenza totale, Tmin= -8°C, zona Rebaudengo

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	2933	2139	1794
Terziario servizi	4269	3716	3651
Terziario commerciale	3356	2767	2317

3.3.5 Calcolo dei gradi giorno

Per il calcolo del fabbisogno di riscaldamento in termini di energia si utilizzano i gradi giorno (GG).

I gradi giorno sono un parametro che si calcola come la sommatoria estesa ai giorni del periodo di riscaldamento, delle differenze tra temperatura ambiente e temperatura esterna media del giorno. In funzione di intervalli di gradi giorno l'Italia è ripartita in 6 zone climatiche, dalla A alla F.

La formulazione per il calcolo è la seguente:

$$GG = \sum_{j=1}^N (t_a - t_{ej})$$

t_a = temperatura interna di riferimento

t_{ej} = temperatura media esterna del giorno j^{mo}

N = numero di giorni del periodo considerato

Per Torino il valore normato in gradi giorno è 2617 GG (Decreto del Presidente della Repubblica, n. 412 Allegato A, 1993).

Il calcolo può essere differente da caso a caso perché può cambiare il periodo "N" considerato. Il periodo convenzionale di accensione dell'impianto, per Torino, è dal 15 ottobre al 15 aprile. Di fatto il periodo di accensione spesso si protrae per alcuni giorni, per far fronte a giornate con clima rigido gli ultimi giorni di aprile o i primi di maggio.

Per il calcolo dei gradi giorno nello studio in esame si è utilizzato il file Arpa Piemonte che riporta le temperature medie giornaliere per tutto l'anno.

Come per il calcolo della temperatura esterna minima, anche in questo caso si considerano le due stazioni meteorologiche Reiss Romoli e Giardini Romani. E in accordo con la metodologia per il calcolo della temperatura minima si considerano gli anni dal 2015 al 2019.

Si è scelto di scartare i valori di ΔT sporadici e trascurabili, e che ricadono in un periodo tra giugno e settembre, in quanto sicuramente non verrà messo in funzione l'impianto di riscaldamento.

Il valore risultante di gradi giorno è 2477.

Questo valore va rivisto però in ottica della destinazione d'uso dei locali. Occorre considerare che il settore residenziale, terziario servizi e commerciale sono occupati in maniera differente. Per il residenziale si ipotizza occupazione costante 7 giorni su 7, per il settore di uffici è plausibile un'occupazione di 5 giorni a settimana. Per il settore commerciale, se si considerano grandi capannoni multi-negozi si ha un'occupazione di 6 o 7 giorni a settimana. Comunque, viene scelto di considerare un valore di 6 giorni su 7.

In sintesi, il valore di gradi giorno deve essere riadattato scalando in 5/7 e 6/7. Quindi si avrà:

- 2477 GG per il residenziale
- 1770 GG per il terziario servizi
- 2124 GG per il terziario commerciale

Non è possibile prevedere l'esatta distribuzione durante il periodo invernale dei giorni particolarmente freddi e di quelli meno freddi, come non è possibile prevedere se un giorno particolarmente freddo sarà in un giorno feriale o festivo, in cui gli uffici rimangono inutilizzati. Facendo ipotesi di distribuzioni statistiche si può pensare che il numero di giorni più freddi sarà speculare al numero dei giorni meno freddi, pertanto è lecito scalare il valore di gradi giorno come è stato fatto. Si ipotizza quindi che può capitare un giorno particolarmente freddo in cui i locali non vengono usati e che in questo giorno i locali siano occupati, parimenti è possibile pensare che un giorno invernale particolarmente mite possa ricadere in un giorno di apertura delle attività o di chiusura.

3.3.6 Fabbisogno di energia

La potenza di picco fornisce un valore di relativo interesse nella stima della richiesta del parco edilizio in esame. Un valore ben più interessante è il valore di fabbisogno energetico per riscaldamento. Per calcolarlo sono necessari due fattori, H_{Tras} e H_{ve} , in $\left[\frac{W}{K}\right]$ il primo per la componente di trasmissione, il secondo per la ventilazione (UNI 11300-Parte 1, 2014).

Il valore H_{Tras} rappresenta la sommatoria delle superfici disperdenti moltiplicate per la loro trasmittanza, invece H_{ve} viene calcolato moltiplicando la portata di ventilazione per p e c_p dell'aria.

A questo punto per il calcolo è sufficiente applicare la seguente formula (UNI 11300-Parte 1, 2014):

$$Q_{H,nd} = 0.024 * (H_{Tras} + H_{ve}) * GG$$

Il fattore 0.024 è un fattore di conversione che restituisce il valore di fabbisogno in kWh/anno.

Tabella 20 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento per edificio tipo, GG calcolati, lotto PRIU

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1526400	1257000	1055400
Terziario servizi	2264500	1940400	1891400
Terziario commerciale	2069800	1713600	1435900

Come per il caso della potenza si allega tabella con GG = 2617 come da normativa (valore per il caso residenziale, si scala in 5/7 e 6/7 per le altre destinazioni d'uso).

Tabella 21 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento per edificio tipo, GG da normativa, lotto PRIU

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1612200	1328400	1114800
Terziario servizi	2391900	2049600	1998500
Terziario commerciale	2186800	1810500	1517100

Per avere un valore di più facile lettura si allega la tabella della potenza con GG=2477, riferita ai m² di superficie calpestabile di ogni edificio.

Tabella 22 - Richiesta di energia nella stagione di riscaldamento riferita alla superficie calpestabile, lotto PRIU

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/m ² anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	53	43	36
Terziario servizi	65	56	54
Terziario commerciale	89	74	62

Come si può vedere il consumo di energia per riscaldamento è strettamente dipendente dal fattore di forma, ma varia fortemente anche in funzione della destinazione d'uso. Infatti, nel terziario servizi il fabbisogno di energia al metro quadro è pressoché doppio rispetto al settore residenziale nonostante nel lotto in esame l'edificio tipo dei due casi di destinazione d'uso è molto simile per caratteristiche (numero di piani e superficie in pianta). Questo si deve attribuire alla maggiore richiesta di energia per ventilazione, dovendo garantire una portata molto maggiore rispetto al residenziale, e alla maggiore area finestrata, che sposta in maniera consistente il fabbisogno per riscaldamento.

Per il terziario commerciale abbiamo un fabbisogno ancora maggiore rispetto al terziario servizi, in questo caso le superfici finestrate non sono responsabili dell'incremento del valore di energia essendo di ridottissima estensione. La differenza risiede nel fatto che l'elevazione del soffitto nel caso di capannone ad uso commerciale è doppia, 6 metri rispetto ai 3 del terziario servizi. Questo valore si nasconde nella prossima tabella in quanto viene fornito un valore in kWh/m³.

Tabella 23 - Richiesta di energia nella stagione di riscaldamento riferita al volume, lotto PRIU

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/m ³ anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	18	14	12
Terziario servizi	22	19	18
Terziario commerciale	15	12	10

Le tabelle sopra sono riferite al fabbisogno complessivo di energia per mantenere le condizioni di comfort, cioè quello dissipato per trasmissione e ventilazione. Nel prossimo paragrafo si calcoleranno gli apporti gratuiti, che fornendo una quota di calore riducono il valore di kWh/anno e di kW.

3.4 Apporti gratuiti

Gli apporti gratuiti, soprattutto quelli solari, stanno diventando sempre più importanti e in alcune tipologie edilizie si fa in modo di massimizzarli al fine di decrementare più possibile la richiesta di energia all'impianto. Non tutti gli apporti gratuiti riescono ad essere sfruttati al meglio ai fini del bilancio energetico, e talvolta risulta complicato riuscire a tenerne conto nel modo corretto. Occorre inoltre considerare un fattore di utilizzazione che, in pratica, va a ridurre gli apporti termici, considerando il comportamento dinamico dell'edificio.

3.4.1 Apporti solari

Gli apporti solari sono quella frazione di energia incidente sulle superfici verticali e sulle superfici finestrate, che si trasforma in calore ceduto all'ambiente interno.

La quantità di energia solare che incide sull'involucro verticale dipende da molte variabili: latitudine e longitudine del paese dove è ubicato l'edificio che stiamo considerando, esposizione e orientazione dei lati, presenza di aggetti ombreggianti, che possono essere verticali o orizzontali. In generale ingombri che si interpongono tra l'edificio considerato e la radiazione proveniente dal sole. Presenza di schermature, come chiusure mobili, tende, tapparelle, persiane e tutto ciò che riesca a proteggere l'edificio dall'energia proveniente dai raggi del sole.

La quantità di calore che riesce a penetrare nei locali interni, a parità di energia incidente è molto variabile; dipende dalle caratteristiche costruttive dell'edificio, dal tipo di involucro, dal colore delle pareti esterne ecc.

Per la stima degli apporti solari si è scelto di utilizzare il software PV-GIS. È stato settato con latitudine di 45° per il caso Torino, e angolo di orientazione delle superfici rispetto il piano orizzontale a 90°. Inoltre, per semplicità, si è scelto di considerare la sola radiazione diretta e trascurare la componente diffusa, che sicuramente fornisce un apporto meno significativo. Questa semplificazione porta a non considerare l'esposizione a nord non essendoci mai presenza di radiazione diretta su involucro esposto a quel punto cardinale.

Gli output del software sono tre profili di radiazione in W/m^2 di superficie verticale, uno per ogni punto cardinale: est, sud e ovest. Si tratta del profilo giornaliero di irradianza ottenuto mediando le irradianze orarie durante l'intero mese.

Le figure riportate sotto (Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), s.d.) fanno riferimento al mese di ottobre.

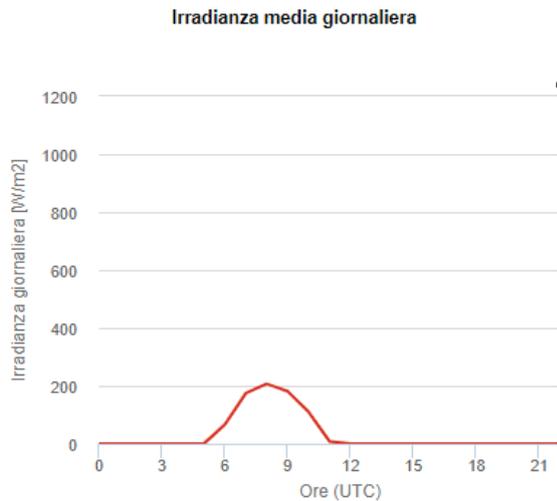


Figura 4 - Irradianza mese ottobre su superficie esposta ad est

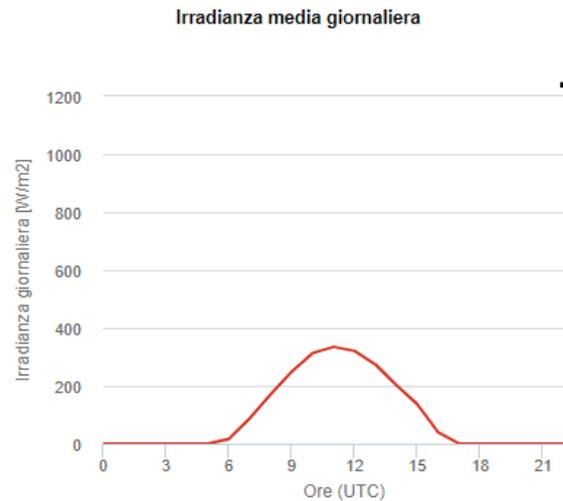


Figura 5 - Irradianza mese ottobre su superficie esposta a sud

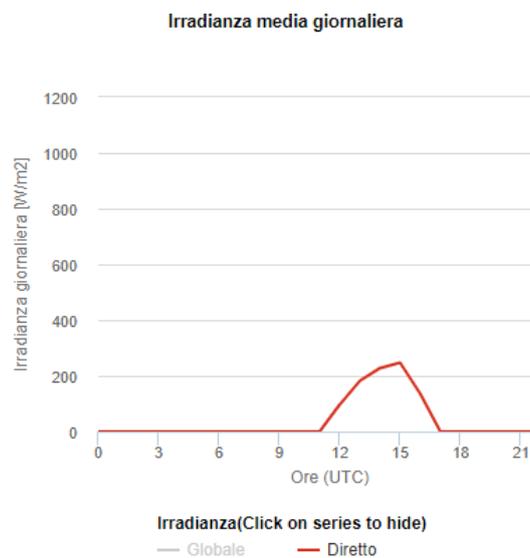


Figura 6 - Irradianza mese ottobre su superficie esposta a ovest

È apprezzabile come il maggior apporto sull'involucro esposto ad est è al mattino presto, sulla porzione a sud a metà giornata e ad ovest nel pomeriggio o tardo pomeriggio.

La quantità di radiazione varia nel corso dell'anno: verso gli estremi del periodo di riscaldamento, ottobre e aprile, la radiazione è più intensa, invece verso la fine/inizio dell'anno la radiazione è più debole.

Si riporta la tabella mese per mese degli apporti solari, nei tre punti cardinali in cui è presente radiazione diretta.

Tabella 24 - Irradianza incidente dal mese di ottobre fino aprile, per Torino

Energia incidente su superficie verticale [kWh/m ²]							
	OTTOBRE	NOVEMBRE	DICEMBRE	GENNAIO	FEBBRAIO	MARZO	APRILE
EST	8,3	10,6	10,2	12,1	17,4	30,0	16,8
SUD	25,0	44,0	48,1	53,8	58,7	68,9	25,0
OVEST	8,7	11,0	9,7	12,1	17,3	29,5	16,4

I mesi di ottobre e febbraio hanno un apporto basso perché vengono considerati i 15 giorni finali di ottobre e i 15 giorni iniziali di aprile, nella realtà in quei due mesi l'apporto che fornirebbero gli apporti solari è doppio.

Per l'energia effettivamente incidente sull'involucro opaco si è usata la seguente formula:

$$E_{sol_{opaco}} = \tau * F_{hor} * Irr * Sup_{opaca}$$

Si esaminano i termini dell'equazione.

- τ rappresenta il coefficiente di assorbimento, che varia in funzione del colore delle pareti esterne, nel caso in esame si è preso $\tau = 0.3$, colori chiari (UNI EN ISO 13791).
- F_{hor} è un fattore che indica quanto le superfici o oggetti esterni riescano ad ombreggiare la porzione di opaco o trasparente considerata. Si tratterà più in dettaglio l'argomento nei prossimi righe.
- Irr rappresenta la componente in Wh/m², quindi in termini di energia, che può essere ottenuta moltiplicando il valore in W/m² per i giorni del mese in esame.

Si otterrà quindi per ogni mese un valore in kWh, che poi verrà sommato a tutti gli altri mesi per avere l'apporto solare, per l'intera stagione di riscaldamento, su componenti opachi.

Per la componente incidente sull'involucro trasparente si è usata una formula simile alla precedente:

$$E_{sol_{vetrato}} = g_{gl} * F_{hor} * Irr * Sup_{vetrata}$$

Invece di "τ" di assorbimento si usa un fattore di trasmittanza $g_{gl,n}$ tabellato nel prospetto B.5 (UNI 11300-Parte 1, 2014), si ipotizza la presenza di "doppio vetro normale", quindi $g_{gl,n} = 0.75$.

Tabella 25 - Trasmittanza di energia solare totale $g_{gl,n}$ di alcuni tipi di vetro

Tipo di vetro	$g_{gl,n}$
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro normale	0,75
Doppio vetro con rivestimento basso-emissivo	0,67
Triplo vetro normale	0,70
Triplo vetro con doppio rivestimento basso-emissivo	0,50
Doppia finestra	0,75

Il fattore di ombreggiamento F_{hor} non è di immediata individuazione, occorre fare una serie di ipotesi di base. Si ipotizza che tutti gli edifici siano a blocco isolato tra loro, quindi esposti su quattro lati, inoltre che

ogni edificio abbia a fianco a sé edifici di massima altezza, 10 piani. Vengono trascurati tutti gli ombreggiamenti prodotti da aggetti verticali e orizzontali, schermature mobili e fisse come persiane o tende. Ipotizzando che i soli oggetti ombreggianti siano gli edifici circostanti o al più alberi, si considera la loro presenza per l'intero arco giornaliero in cui è presente radiazione diretta.

F_{hor} dipende dai gradi di inclinazione, rispetto l'orizzonte, dell'edificio schermante, dal mese dell'anno, oltre che dalla latitudine del luogo che si considera e dal punto cardinale. La normativa fornisce i valori per 44° e 46° , è necessario quindi interpolare.

Si allega a titolo esplicativo la figura 6 (UNI 11300-Parte 1, 2014).

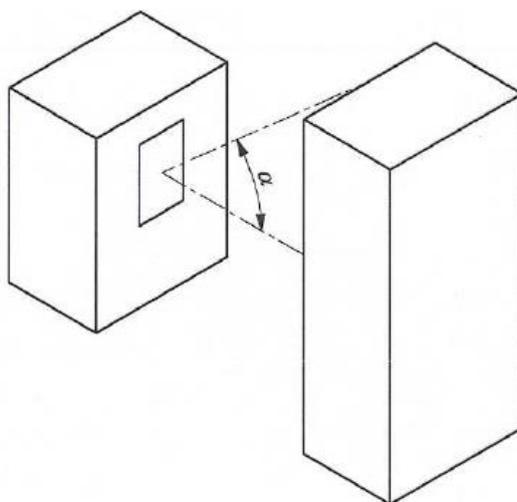


Figura 7 - Angolo dell'orizzonte ombreggiato da un'ostruzione esterna

Vista la dipendenza dal mese dell'anno è stato implementato un calcolo mese per mese per il periodo considerato.

Viene riportata la tabella dal prospetto D.10 (UNI 11300-Parte 1, appendice D, 2014), del fattore di ombreggiamento nel mese di ottobre. Per l'inclinazione dell'oggetto ombreggiante si considera che solo i piani più in alto ricevono luce diretta.

L'angolo su orizzonte a 0° corrisponde al decimo piano, a 10° al nono piano, e così via. Pertanto, il valore del fattore di ombreggiamento viene mediato tra 0° e 40° , in funzione del numero di piani dell'edificio, e diviso per il numero di piani totali.

Così impostato il calcolo risulta che solo i 5 piani più in alto ricevono raggi diretti. Per edifici con meno di 6 piani si utilizza il fattore di ombreggiamento a 40° .

Tabella 26 - Fattore di ombreggiamento F_{hor} per ostruzioni esterne - Mese di OTTOBRE

Angolo su orizzonte	36° N latitudine			38° N latitudine			40° N latitudine			42° N latitudine			44° N latitudine			46° N latitudine		
	S	E/O	N															
0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
10°	0,97	0,85	0,83	0,97	0,84	0,83	0,97	0,84	0,83	0,96	0,83	0,83	0,96	0,82	0,83	0,96	0,81	0,83
20°	0,92	0,66	0,67	0,91	0,66	0,67	0,91	0,65	0,67	0,91	0,64	0,67	0,91	0,64	0,67	0,90	0,63	0,67
30°	0,87	0,51	0,52	0,85	0,50	0,52	0,84	0,48	0,52	0,81	0,47	0,52	0,76	0,46	0,52	0,64	0,44	0,52
40°	0,64	0,33	0,38	0,49	0,33	0,38	0,35	0,33	0,38	0,22	0,34	0,38	0,11	0,34	0,38	0,06	0,33	0,38

Per il caso di terziario commerciale non viene ipotizzato che ci siano edifici di 10 piani nelle immediate vicinanze, bensì, essendo i capannoni alti come un edificio da 2 piani si ipotizza che gli edifici circostanti siano di altezza maggiore. Si immagina che gli edifici circostanti forniscano pertanto una schermatura importante, con angolo molto elevato. Viene quindi ipotizzato che la radiazione incide con un angolo rispetto l'orizzonte di 40°, il massimo ammissibile.

Per il calcolo delle superfici opache e trasparenti esposte ai tre punti cardinali si è scelto di dividere in tre casi variando la forma della pianta di base.

Si sono previsti i seguenti scenari:

- Pianta a base quadrata
- Pianta allungata con lato maggiore esposta a sud
- Pianta allungata con lato maggiore esposta a est

Non è possibile immaginare la scelta del progettista in quanto in alcuni casi si tende a massimizzare gli apporti solari e l'illuminazione naturale aumentando le superfici a sud, in altri casi si aumentano le superfici ad est e ovest per non aumentare troppo il carico termico durante il periodo estivo e quindi incrementare il fabbisogno per raffrescamento.

È necessario, ma solo per il momento, accantonare la definizione e le caratteristiche dell'edificio tipo per definire nella maniera più semplice possibile un nuovo edificio tipo che abbia una pianta regolare, quadrata o rettangolare. Per questo scopo è stato calcolato nei tre casi un nuovo fattore $\frac{S}{V}$, che dia un valore esatto dell'estensione della superficie disperdente considerando la geometria di base. Si ricorda che la superficie disperdente è intrinsecamente dipendente dalla geometria di base.

Per il caso di pianta quadrata si considera l'estensione della superficie di base. Si definisce il perimetro, che poi moltiplicato per l'altezza dell'edificio darà la grandezza di ogni superficie esposta ad un punto cardinale. Le superfici dei quattro lati sono identiche in questo caso.

Se si vogliono calcolare le superfici invece nel caso di pianta rettangolare si deve introdurre una nuova ipotesi; 2 dei 4 lati hanno lunghezza di 10 metri. La misura di 10 metri è un valore molto adoperato in quanto è particolarmente adatto per la disposizione delle stanze. Quindi si impongono due lati e si calcolano gli altri due sfruttando la relazione tra loro dell'estensione della base, poi si calcolano le rispettive superfici moltiplicando per l'altezza.

Nei tre casi le superfici finestrate sono proporzionali, rispetto il totale delle superfici verticali, all'estensione delle superfici su cui si trovano.

Nel caso di terziario commerciale non viene ipotizzata a priori la pianta di base quadrata, in quanto si tende a realizzare grandi capannoni molto allungati.

I capannoni che si considerano saranno adibiti principalmente a grandi centri commerciali multi-negozio, la struttura più comune è di un corridoio centrale (circa 8/10 metri), e un negozio per ogni lato, ogni negozio con larghezza di circa 15/20 metri. È stata adottata una lunghezza del lato minore di 45 metri.

Il valore è validato confrontando la geometria di pianta di grandi capannoni commerciali simili a quelli che si andranno a realizzare. Lo strumento utilizzato in questo caso è la funzione “misura distanza” di Google Maps.

Per il valore in kWh/anno si sommano i 7 mesi in cui il riscaldamento è in funzione. Come nei casi precedenti si divide per i metri quadri di superficie calpestabile.

Si riportano le tabelle di energia mese per mese nei tre casi di geometria di pianta.

Tabella 27 - Apporti solari, per mese, nel caso di pianta dell'edificio tipo quadrata, lotto PRIU

Energia da apporti solari [kWh]									
Destinazione d'uso	OTT.	NOV.	DIC.	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	TOT.	TOT. [kWh/m ²]
Residenziale	6312	9115	11794	6920	12799	21861	8407	77208	13
Terziario servizi	6085	8745	11253	6686	12331	21393	8403	74896	15

Tabella 28 - Apporti solari, per mese, nel caso di pianta dell'edificio tipo rettangolare con lato maggiore esposto a sud, lotto PRIU

Energia da apporti solari [kWh]									
Destinazione d'uso	OTT.	NOV.	DIC.	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	TOT.	TOT. [kWh/m ²]
Residenziale	6312	9115	11794	6920	12799	21861	8407	77208	13
Terziario servizi	6085	8745	11253	6686	12331	21393	8403	74896	15
Terziario commerciale	9435	14591	18093	8374	36321	171435	82527	340777	15

Tabella 29 - Apporti solari, per mese, nel caso di pianta dell'edificio tipo rettangolare con lato maggiore esposto a est-ovest, lotto PRIU

Energia da apporti solari [kWh]									
Destinazione d'uso	OTT.	NOV.	DIC.	GEN.	FEB.	MAR.	APR.	TOT.	TOT. [kWh/m ²]
Residenziale	3531	5594	7490	4306	11017	30055	8494	70486	12
Terziario servizi	4034	5115	5561	4659	8051	15890	8403	51712	10
Terziario commerciale	25080	23836	29328	22890	48230	87025	54337	290724	13

Come si può notare dalle tabelle, il valore di energia fornito da apporti solari è sicuramente incidente sul bilancio globale, in considerazione del fatto che il fabbisogno per riscaldamento è dell'ordine delle decine di kWh/m².

Nel caso di lato maggiore esposto a sud si ha un incremento considerevole, cioè l'apporto solare è massimizzato, nel caso di terziario servizi si può vedere un incremento di 5 kWh/m².

Oltre a fornire energia che poi non dovrà essere immessa dall'impianto di riscaldamento, le superfici esposte a sud hanno il vantaggio di diminuire il fabbisogno di energia per illuminazione. Occorre tuttavia valutare in alcuni casi il rischio di abbagliamento causato dalla grande componente di irradianza che attraversa l'involucro trasparente, e quindi potrebbe servire predisporre delle schermature mobili.

3.4.2 Apporti interni

Gli apporti gratuiti interni includono qualunque forma di calore generato nello spazio riscaldato dalle sorgenti interne diverse dal sistema di riscaldamento.

Si possono considerare come apporti interni quelli dovuti al metabolismo degli occupanti, che è funzione dell'attività svolta, il consumo di calore dovuto alle apparecchiature elettriche, come: PC, TV, fornelli da cucina, stampanti e agli apparecchi di illuminazione, che col passare del tempo diventano sempre più efficienti, come nel caso dei led, ma comunque sono una parte considerevole degli apporti interni.

Inoltre, sono considerati apporti interni quelli provenienti dal sistema di distribuzione e di scarico dell'acqua calda sanitaria, questa componente è difficile da calcolare perché il calore viene spesso totalmente disperso negli scarichi, permanendo per pochi istanti nell'ambiente.

Per il calcolo degli apporti interni si sono usati tre procedimenti differenti in funzione delle destinazioni d'uso, (UNI 11300-Parte 1, 2014).

Per il residenziale, al punto 13 "Apporti termici interni", è fornita una formula unica che tiene in conto tutti gli apporti, e può essere applicata solo per le abitazioni di categorie E.1 (1) e E.1(2) e con superficie minore o uguale a 120 m², il valore che ne risulta è in Watt, ed è da considerarsi mediato sulle 24 ore:

$$\Phi_{int} = 7.987 * A_f - 0.0353 * A_f^2$$

Il calcolo dell'estensione di ogni appartamento, non avendo alcuna specifica, è stato fatto sottraendo alla superficie dell'intero piano lo spazio del vano scala e poi diviso per 5 nel caso del lotto in esame, per altri valori a seconda della grandezza della superficie del piano negli altri lotti. L'intento è di ottenere appartamenti di circa 100 m², che è un valore abbastanza comune nei palazzi di nuova costruzione, dove ogni casa è occupata da una famiglia di 2 o 3 persone mediamente.

A questo punto è stato possibile calcolare l'energia in kWh/anno e kWh/m²*anno per avere maggiore contezza della differenza di calore generato tra le tre destinazioni d'uso. Il valore di potenza essendo mediato sull'intera giornata è integrato sulle 24 ore e non viene quindi utilizzato alcun fattore orario.

Sul calcolo di potenza e di energia da apporti interni è stata ricercata una conferma partendo dall'energia elettrica consumata per ogni abitante. Si considera che il 100% dell'energia assorbita è trasformata in calore. Questo procedimento ha dei limiti in quanto non viene considerato il calore fornito dai fornelli per la cottura del cibo, che spesso ancora oggi sono a gas, e non viene considerato il calore disperso attraverso l'acqua calda sanitaria che viene espulsa dagli scarichi, tuttavia può dare una conferma sull'ordine di grandezza che è risultato dalla formula applicata. A tal fine si è consultato il documento di "Terna Group", sui consumi in Italia, distinti per regione, relativo all'anno 2018, (Terna Group, 2018), il più recente che si può reperire in rete.

Nel residenziale, dal documento Terna per il Piemonte, si sono trovati valori di consumo elettrico di 1044 kWh/anno per ogni abitante. La grandezza della famiglia media in Piemonte è di 2.2 componenti, (I.STAT, s.d.).

Questo valore si è moltiplicato quindi per 2.2 e diviso per due, per considerare la metà anno in cui si possono considerare come apporti gratuiti. È da precisare che è prevedibile che l'utilizzo di energia elettrica annuo non si ripartisca in 2 parti equivalenti per le due metà di anno, ma può essere considerato come se fosse così.

Si è dovuto aggiungere l'apporto dovuto agli occupanti, che si considera di 60 W ad occupante; in questo caso si è valutato un valore orario del 50% di occupazione del locale. Il valore in kWh/m² risultante (13.4 kWh/m²) si avvicina al valore ricavato con formulazione da normativa, 18 kWh/m².

Per la destinazione terziario servizi si utilizzano dei valori tabellati in prospetto 15, (UNI 11300-Parte 1, 2014). Come si può vedere il valore di apporti termici varia di un ordine di grandezza tra le ore di occupazione dei locali e le ore in cui gli uffici sono vuoti. Per questo è necessario nel calcolo fare le dovute considerazioni.

La potenza di picco fornisce apporti gratuiti molto considerevoli nelle ore di utilizzo e quasi nulli nelle altre ore, nel calcolare l'energia da apporti gratuiti vengono però mediate; applicando la legge della conservazione dell'energia questo è ammissibile. Tuttavia, per tenere in conto l'aumento di temperatura nei locali dovuto ad apporti interni, occorrerà un sistema smart di gestione del calore ceduto dall'impianto di riscaldamento.

Tabella 30 - Profili temporali degli apporti termici dagli occupanti e dalle apparecchiature (edifici adibiti ad uffici)

Giorni	Ore	Ambienti ufficio (60% della superficie utile di pavimento) $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A}) / A_f$ [W/m ²]	Altre stanze, atri, corridoi (40% della superficie utile di pavimento) $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A}) / A_f$ [W/m ²]
Lunedì – Venerdì	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	20,0	8,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	1,0
	Media	9,50	3,92
Sabato – Domenica	Dalle ore 07:00 alle ore 17:00	2,0	1,0
	Dalle ore 17:00 alle ore 23:00	2,0	1,0
	Dalle ore 23:00 alle ore 07:00	2,0	1,0
	Media	2,0	1,0
Media		7,4	3,1

$(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})$ è il flusso termico dalle persone e dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

I locali adibiti a terziario servizi viene ipotizzato abbiano il 60% della superficie di uffici e il 40% altre stanze: atri o corridoi, dove la potenza generata è molto minore. Il valore di potenza di picco che ne risulta è di 15.2 W/m², come detto è un valore che viene riferito alle sole ore di occupazione. Quindi per calcolare l'energia totale da apporti interni si va a moltiplicare il valore per un fattore orario che tiene conto delle ore di non occupazione dei locali. Dividendo le ore di massima generazione di calore, dalle 7 alle 17, per le ore totali della giornata e per i giorni di occupazione dei locali (5/7), si ha un fattore orario pari a 0.3.

Nel caso di terziario commerciale si utilizza procedimento differente, in quanto in questo caso non viene fornito un valore di apporti globali che comprende tutte le sorgenti di calore come per il caso di terziario servizi. Il prospetto 17, (UNI 11300-Parte 1, 2014), fornisce infatti solo il valore di calore generato da apparecchiature.

Tabella 31 - Apporti termici delle apparecchiature; valori globali in funzione della categoria di edificio (edifici non residenziali)

Categoria di edificio	Apporto termico delle apparecchiature durante il periodo di funzionamento $\Phi_{int,A} / A_f$ [W/m ²]	Fattore di simultaneità f_A	Apporto termico medio dalle apparecchiature $\Phi_{int,A} / A_f$ [W/m ²]
Uffici	15	0,20	3
Attività scolastiche	5	0,15	1
Cura della salute, attività clinica	8	0,50	4
Cura della salute, attività non clinica	15	0,20	3
Servizi di approvvigionamento	10	0,25	3
Esercizi commerciali	10	0,25	3
Luoghi di riunione	5	0,20	1
Alberghi e pensioni	4	0,50	2
Penitenziari	4	0,50	2
Attività sportive	4	0,25	1

$\Phi_{int,A}$ è il flusso termico dalle apparecchiature, in W;
 A_f è la superficie utile di pavimento.

Si adotta il valore riferito ad “Esercizi commerciali” di 10 W/m². Si applica una formula che tenga in conto gli apporti delle apparecchiature e degli occupanti:

$$\Phi_{int} = A_f * 10 \left[\frac{W}{m^2} \right] + n_s * A_f * 60 \left[\frac{W}{occupante} \right]$$

Il valore ricavato è anche in questo caso un valore di picco, per il calcolo del valore in energia si moltiplica per un fattore orario. In questo caso però si fa una distinzione fra ore di occupazione e ore di accensione delle apparecchiature.

Considerando la destinazione d’uso è ipotizzabile un orario di occupazione in funzione degli orari di apertura: dalle 8 del mattino fino le 20, 6 giorni a settimana, quindi un fattore orario pari circa al 40%. Le apparecchiature devono essere accese anche durante i momenti in cui i locali vengono puliti o riforniti, pertanto il fattore orario viene leggermente maggiorato rispetto quello riferito agli occupanti. Viene scelto 0.6.

Vengono riportate tabelle della potenza ed energia ottenuta, come sempre l’energia viene anche riferita al metro quadro di superficie calpestabile.

Tabella 32 – Potenza interna, di picco, generata nei tre casi di edificio tipo, lotto PRIU

Apporti interni prodotti da occupanti e apparecchiature	
Destinazione d’uso	[W]
Residenziale	19998
Terziario servizi	69603
Terziario commerciale	368907

Tabella 33 - Energia interna generata nei tre casi di destinazione d'uso, edificio tipo, lotto PRIU

Energia interna generata per edificio tipo		
	[kWh]	[kWh/m ²]
Residenziale	87350	18
Terziario servizi	91208	18
Terziario commerciale	906405	36

Tutti i risultati di potenza vengono confrontati con quelli ottenuti utilizzando il software MasterClima (MasterClima MC11300 ver. 3.29 CE/PE) (figura sotto) si tratta di un software che applica la normativa 11300 per il calcolo degli apporti interni e altre componenti energetiche per il bilancio su edifici.

È stato quindi settato il programma con le tre destinazioni d'uso, l'output è un valore di potenza mediato nel tempo.

Per il settore terziario servizi viene fornito da MC11300 un valore di potenza media pari a 3054 W; dal calcolo fatto risultano, per l'edificio tipo (9 piani, 1 locale per piano) circa 27.5 kW. Moltiplicando il valore per 24 ore e 182 giorni, si ottiene un valore di 120 MWh, non uguale ma simile al valore che si è ottenuto di 91,2 MWh. Variando il fattore orario da 0.3 a 0.4 i valori di energia generata coincidono.

The screenshot shows the MasterClima software interface. The main menu includes 'File', 'Pagina iniziale', 'Fabbricato', 'Impianto', 'Calcolo/Risultati', and 'Elaborati'. The 'Fabbricato' menu is expanded, showing options like 'Generale', 'Capacità termica', 'Ventilazione', 'Apporti termici interni', 'Fabbisogno ACS', and 'Zona'. The 'Zona :: Apporti termici interni' window is active, displaying the following configuration details:

- Descrizione:** 1 PIANO EDIFICIO TIPO - TERZIARIO SERVIZI
- Origine dei dati:** Valutazione di progetto o standard
- Destinazione d'uso:** E.2 - Edifici adibiti a uffici e assimilabili
- Apporti globali [W/m²]:** 6,00
- Numero di unità immobiliari:** 1
- Superficie utile di pavimento, Af [m²]:** 509,00
- Apporti interni, Φ_{int} [W]:** 3054,00
- Apporti interni latenti, G_{wv,0c} + G_{wv,A} [g/h]:** 0,00

At the bottom of the window, there are buttons for 'OK', 'Ripristina', and 'Elimina'.

Figura 6 - Screenshot software MasterClima calcolo apporti interni, edifici adibiti a uffici e assimilabili

Viene fatta analogo verifica per il settore terziario commerciale. MasterClima fornisce un valore pari circa a 185 kW, che moltiplicato per le ore e i giorni fa risultare un valore di 810 MWh/anno. Anche per questo caso si può notare che con piccole variazioni di fattore orario, decrementandolo leggermente, si raggiunge un valore coincidente con quello generato dal software.

3.5 Fabbisogno di potenza ed energia effettivo

Il fabbisogno effettivo di potenza ed energia si discosta di una certa quantità, a volte considerevole, dal fabbisogno calcolato. Questo è dovuto alla presenza degli apporti gratuiti.

La differenza tra apporti solari e interni è sostanziale nel calcolo del fabbisogno di energia e della richiesta di potenza, è da notare che gli apporti interni sono sicuramente in fase con l'occupazione degli ambienti quindi sono in ogni caso utili, trattandosi di: illuminazione, dispositivi elettrici o fornelli sicuramente saranno presenti quando i locali sono occupati, o quantomeno la maggior di questi sono presenti quando i locali sono occupati.

Se però consideriamo la distribuzione durante la giornata e la settimana degli apporti solari si può immediatamente capire che non sempre sono utili, in quanto irradianza solare su parete di uffici, ad esempio il mattino della domenica non sono utili al decremento della richiesta di energia. Si potrebbe introdurre l'ipotesi che quel calore accumulato possa essere ceduto in momenti in cui i locali non sono ancora occupati. Nello studio qui esposto si applica la conservazione dell'energia trascurando la possibile cessione in momenti in cui i locali non sono occupati, quindi tutti gli apporti gratuiti vengono considerati utili al fine di far decrescere l'energia richiesta all'impianto.

Nella tabella sotto sono riportati i valori in kWh/anno decurtati della quota dovuta ad apporti gratuiti.

Tabella 34 - Fabbisogno per riscaldamento al netto degli apporti gratuiti, lotto PRIU

S/V	Fabbisogno di energia effettiva per riscaldamento [kWh/m ³ anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	676020	406620	205020
Terziario servizi	1194900	870810	821810
Terziario commerciale	1065900	709750	432050

Invece, per la richiesta di potenza di picco va introdotta un nuovo concetto: la massima potenza richiedibile all'impianto è più probabile si abbia nelle ore serali, in cui la temperatura esterna è più rigida rispetto il resto della giornata; essendo appunto ore serali non si considera la presenza di apporti solari ma solo di apporti interni. La potenza è istantanea, quindi non si accumula nell'involucro e negli oggetti interni al locale. La potenza di picco è data dalla seguente formula:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{trasm.+vent.} - \dot{Q}_{media\text{apporti interni}}$$

Tabella 35 – Potenza di picco richiedibile all’impianto, al netto degli apporti interni, lotto PRIU

S/V	Potenza di picco [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	512	399	313
Terziario servizi	1170	978	949
Terziario commerciale	826	650	514

3.6 Calcolo dei rendimenti

Fin qui è stata ricavata l’energia e la potenza che occorrono all’edificio per mantenere le condizioni di comfort all’interno dei locali. Questi valori però si discostano leggermente da quelli di energia e potenza da fornire alla rete. Essendo l’impianto non autonomo, cioè all’interno dell’appartamento, dalla sottostazione di scambio del teleriscaldamento fino ai terminali dove viene ceduto, il calore fa un percorso che produce una certa dissipazione: si esaminerà questa dispersione.

Il calore veicolato dall’acqua che circola nella rete di teleriscaldamento, interrata di alcuni centimetri nella trincea stradale, deve raggiungere i terminali di immissione posti negli edifici presi in considerazione.

Questo percorso può essere da pochi metri a molte decine di metri, pertanto per una stima accurata vanno valutate tutte le perdite che hanno luogo in questi tratti.

I fattori che entrano in gioco sono diversi, spesso dipendono dalle caratteristiche costruttive e grandezza dell’edificio, dalla qualità dei componenti, e dalla destinazione d’uso.

3.6.1 Rendimento di generazione

Nel cantinato dell’edificio, o in un luogo adiacente adatto allo scopo, viene posta la sottostazione di scambio termico; si tratta di uno scambiatore termico che mette in contatto il fluido termovettore primario con il secondario.

Oltre allo scambiatore di calore, nel locale tecnico, sono contenute tutte le apparecchiature per il buon funzionamento dell’impianto, tra cui: valvole, termostati, contabilizzatori etc.

In alcuni casi il locale si trova nei confini dell’edificio che possono essere considerati facenti parte della stessa zona termica dei locali da riscaldare, quindi l’energia persa, conteggiata come rendimento di generazione, può rientrare nel volume di controllo che si stava considerando. Per questioni cautelative nello studio che si sta realizzando viene considerato come calore disperso all’esterno della zona termica che si vuole riscaldare.

Dalla tabella 8 (Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A, 2015), si possono vedere i rendimenti dei sottosistemi di generazione per i vari casi di produzione termica, nel caso di riscaldamento “Heating”, per il teleriscaldamento si prende il valore uguale a 0,97.

Tabella 36 - Efficienze medie η_{gn} dei sottosistemi di generazione dell'edificio di riferimento per la produzione di energia termica per i servizi di H, C, W e per la produzione di energia elettrica in situ

	Produzione di energia termica			Produzione di energia elettrica in situ
	H	C	W	
Sottosistemi di generazione:				
- Generatore a combustibile liquido	0,82	-	0,80	-
- Generatore a combustibile gassoso	0,95	-	0,85	-
- Generatore a combustibile solido	0,72	-	0,70	-
- Generatore a biomassa solida	0,72	-	0,65	-
- Generatore a biomassa liquida	0,82	-	0,75	-
- Pompa di calore a compressione di vapore con motore elettrico	3,00	(*)	2,50	-
- Macchina frigorifera a compressione di vapore a motore elettrico	-	2,50	-	-
- Pompa di calore ad assorbimento	1,20	(*)	1,10	-
- Macchina frigorifera a fiamma indiretta	-	$0,60 \times \eta_{gn}$ (**)	-	-
- Macchina frigorifera a fiamma diretta	-	0,60	-	-
- Pompa di calore a compressione di vapore a motore endotermico	1,15	1,00	1,05	-
- Cogeneratore	0,55	-	0,55	0,25
- Riscaldamento con resistenza elettrica	1,00	-	-	-
- Teleriscaldamento	0,97	-	-	-
- Teleraffrescamento	-	0,97	-	-
- Solare termico	0,3	-	0,3	-
- Solare fotovoltaico	-	-	-	0,1
- Mini eolico e mini idroelettrico	-	-	-	(**)
NOTA: Per i combustibili tutti i dati fanno riferimento al potere calorifico inferiore				
(*) Per pompe di calore che prevedono la funzione di raffrescamento di considera lo stesso valore delle macchine frigorifere della stessa tipologia				
(**) si assume l'efficienza media del sistema installato nell'edificio reale				

Tabella 37 - Rendimento di generazione, zona Rebaudengo

S/V	Rendimento di generazione [-]		
	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,97	0,97	0,97
Terziario servizi	0,97	0,97	0,97
Terziario commerciale	0,97	0,97	0,97

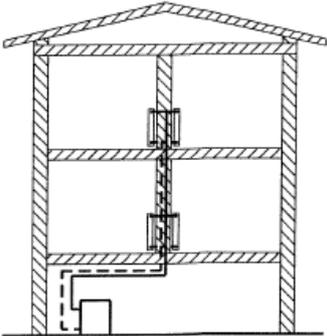
3.6.2 Rendimento di distribuzione

Si può distinguere in due casi, nel caso di residenziale e terziario servizi si avrà una struttura di impianto, per il caso terziario commerciale se ne avrà un'altra.

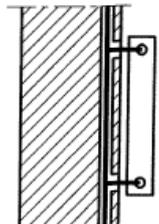
Si esamina il caso di residenziale e terziario servizi: per la distribuzione del fluido termovettore secondario, dalla sottostazione di scambio termico del teleriscaldamento fino ai terminali dei locali, si ipotizza la costruzione di un impianto a distribuzione orizzontale nel cantinato e montanti per raggiungere i piani, dove poi ha distribuzione interna. Le perdite per distribuzione interna si considerano totalmente recuperabili in quanto i tubi sono annegati in muri interni, facenti parte di un edificio isolato. Per la stima del rendimento si utilizza il prospetto 22 (UNI/TS 11300 - Parte 2, 2014). L'immagine seguente è presa dal software MasterClima.

Tabella 38 - Rendimento di distribuzione, distribuzione orizzontale nel cantinato, montanti non isolati correnti in traccia nelle pareti interne

UNI/TS 11300-2:2014 - Prospetto 23: Rendimento di distribuzione



4.3 Distribuzione orizzontale nel cantinato
Montanti non isolati correnti in traccia nelle pareti interne
NOTA Applicabile anche nel caso di isolamento a cappotto.



	0,951	0,951	0,917	0,901
4 piani e più	0,938	0,933	0,920	0,900

Isolamento distribuzione orizzontale				
Altezza edificio	A	B	C	D
1 piano	0,970	0,958	0,932	0,889
2 piani	0,985	0,979	0,966	0,944
3 piani	0,990	0,986	0,977	0,963
4 piani e più	0,990	0,990	0,983	0,972

A) Isolamento con spessori conformi alle prescrizioni del DPR 412/93
 B) Isolamento discreto, di spessore non necessariamente conforme alle prescrizioni del DPR 412/93, ma eseguito con cura e protetto da uno strato di gesso, plastica o alluminio.
 C) Isolamento medio, con materiali vari (mussola di cotone, coppelle) non fissati stabilmente ad uno strato protettivo
 D) Isolamento insufficiente, gravemente deteriorato o inesistente
 E) Isolamento scadente o inesistente in impianti realizzati antecedentemente all'entrata in vigore del DPR 412/93 (per esempio tubo preisolato con spessore ridotto o tubo nudo inserito in tubo corrugato).

Si sceglie isolamento tipo "A", in considerazione del fatto che sono edifici costruiti ex novo, occorre mediare i rendimenti in considerazione dell'altezza in piani.

Caso differente per capannoni adibiti ad uso commerciale, in quanto non occorrono montanti per raggiungere piani alti. Si tende a realizzare diramazioni di tubi parallele al soffitto per raggiungere i terminali,

questo fa sì che nessun tratto riesca a scambiare con ambienti diversi che non sia la zona termica da riscaldare, eccetto probabilmente pochi metri nel locale tecnico dove si trova la sottostazione di scambio termico. Si può considerare il rendimento di distribuzione uguale a 1.

Tabella 39 - Rendimento di distribuzione, zona Rebaudengo

<i>S/V</i>	Rendimento di distribuzione [-]		
	0,7	0,5	0,35
<i>Residenziale</i>	0,99	0,99	0,99
<i>Terziario servizi</i>	0,99	0,99	0,99
<i>Terziario commerciale</i>	1	1	1

3.6.3 Rendimento di regolazione

Il rendimento di regolazione è dato dal rapporto dell'energia spesa in un ambiente caratterizzato da una regolazione teorica perfetta e quella spesa in presenza di regolazione reale.

Il tipo di regolazione influisce fortemente sul suo rendimento, ad esempio una regolazione centrale climatica con sonda esterna non è efficiente perché non tiene conto degli apporti gratuiti, interni e solari.

Più la regolazione è autonoma per singoli ambienti, più il rendimento di regolazione si incrementa.

Se la regolazione è fatta in maniera più puntuale permette di migliorare il rendimento, mediando tra locali più e meno sfavoriti (UNI/TS 11300 - Parte 2, 2014).

Per rendere marginali le perdite dovute alla regolazione si è scelto un sistema di "Zona+climatica" da prospetto 20 (MasterClima MC11300 ver. 3.29 CE/PE), che fa riferimento a tabelle di (UNI/TS 11300 - Parte 2, 2014), con caratteristiche di regolazione "P banda prop. 1°C". I sistemi immissione, come detto, sono i ventilconvettori, quindi per tutti i casi considerati il rendimento di regolazione sarà pari a 0,97.

Tabella 40 - Rendimenti di regolazione per vari casi di sistemi di immissione

UNI/TS 11300-2:2014 - Prospetto 20: Rendimenti di regolazione

Tipo di regolazione	Caratteristiche della regolazione	Sistemi a bassa inerzia termica	Sistemi ad elevata inerzia termica	
		Radiatori, convettori, strisce radianti ed aria calda	Pannelli integrati nelle strutture edilizie e disaccoppiati termicamente	Pannelli annegati nelle strutture edilizie e non disaccoppiati termicamente
Regolazione manuale (termostato di caldaia) $K-(0,6\eta_u \gamma)-0,05$ Nota 1)		K = 1	K = 0,98	K = 0,94
Solo climatica (compensazione con sonda esterna) $K-(0,6\eta_u \gamma)^{2)}$		K = 1	K = 0,98	K = 0,94
Solo di zona	On Off	0,93	0,91	0,87
	P banda prop. 2 °C	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,95	0,91
	P banda prop. 0,5	0,98	0,96	0,92
	PI o PID	0,99	0,97	0,93
Solo per singolo ambiente	On Off	0,94	0,92	0,88
	P banda prop. 2 °C	0,95	0,93	0,89
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	PI o PID	0,995	0,99	0,97
Zona + climatica	On Off	0,96	0,94	0,92
	P banda prop. 2°C	0,96	0,95	0,93
	P banda prop. 1 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 0,5 °C	0,98	0,97	0,95
	PI o PID	0,995	0,98	0,96
Per singolo ambiente + climatica	On Off	0,97	0,95	0,93
	P banda prop. 2 °C	0,97	0,96	0,94
	P banda prop. 1 °C	0,98	0,97	0,95
	P banda prop. 0,5 °C	0,99	0,98	0,96
	PI o PID	0,995	0,99	0,97

Tabella 41 - Rendimento di regolazione, zona Rebaudengo

s/v	Rendimento di regolazione [-]		
	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,97	0,97	0,97
Terziario servizi	0,97	0,97	0,97
Terziario commerciale	0,97	0,97	0,97

3.6.4 Rendimento di emissione

I ventilconvettori sono particolarmente adatti per lavorare a basse temperature, al contrario di altri sistemi di immissione come i radiatori. Il funzionamento di questi apparecchi prevede che siano muniti di ventola e forzino l'aria ambiente a passare attraverso i tubi alettati, poi l'aria sale verso l'alto innescando un movimento convettivo.

Il rendimento dipende da alcuni parametri tra cui l'altezza del locale, la tipologia e modalità di installazione dei terminali e le caratteristiche dimensionali e termo-fisiche dell'ambiente riscaldato. Un fattore che

decrementa fortemente il rendimento di emissione è l'installazione del ventilconvettore su parete che dà all'esterno; in quanto questo provoca scambio tra il terminale e l'ambiente esterno.

Sebbene di facile installazione e ridotto spazio di ingombro ancora oggi nel settore residenziale sono poco diffusi, contrariamente invece al settore terziario servizi. Probabilmente il principale motivo è l'inconveniente del rumore causato dalla ventola oltre la necessità di utilizzare energia elettrica. Tuttavia, stanno prendendo piede anche nel settore residenziale, dove peraltro se si vuole utilizzare una fonte a bassa temperatura la scelta del sistema di immissione si restringe a ventilconvettori o pannelli radianti.

Anche nei locali con soffitti elevati, (oltre i 4 metri) i ventilconvettori non sono una scelta comune perché si va incontro a problemi di stratificazione dell'aria. Tuttavia, nel caso di terziario commerciale in esame il soffitto non ha un'altezza particolarmente elevata, quindi si è scelto di considerare la presenza di ventilconvettori anche per quel caso.

La regolazione dell'emissione di potenza si ottiene sostanzialmente in due modi: con valvole manuali sull'ingresso dell'acqua o con serranda di regolazione.

Anche per il calcolo di questo rendimento è utilizzato il software di calcolo MasterClima (MasterClima MC11300 ver. 3.29 CE/PE).

Si utilizza il prospetto 17 (UNI/TS 11300 - Parte 2, 2014) per gli edifici residenziali e terziario servizi e il prospetto 18, in cui si considera un'altezza del soffitto di 6 metri, per edifici di terziario commerciale.

È richiesto il calcolo del carico medio annuo per il quale occorre dividere il fabbisogno di energia per le ore di funzionamento e per il volume del locale.

La normativa prevede che per alcuni casi di locali con soffitti oltre i 4 metri bisogna considerare la stratificazione dell'aria. Nel caso in esame viene trascurata, ipotizzando un perfetto miscelamento.

Tabella 42 - Prospetto per il calcolo del rendimento di emissione, locali inferiori a 4 metri, MasterClima

UNI/TS 11300-2:2014 - Prospetto 17: Rendimenti di emissione in locali di altezza minore di 4 m

Tipologia di terminale	Carico termico medio annuo W/m ³ (a)		
	<4	4-10	>10
Radiatori su parete esterna isolata(*)	0,98	0,97	0,95
Radiatori su parete interna	0,96	0,95	0,92
Ventilconvettori (**) valori riferiti a t _{media acqua} =45 °C	0,96	0,95	0,94
Termoconvettori	0,94	0,93	0,92
Bocchette in sistemi ad aria calda (***)	0,94	0,92	0,90
Pannelli annegati a pavimento	0,99	0,98	0,97
Pannelli annegati a soffitto	0,97	0,95	0,93
Pannelli a parete	0,97	0,95	0,93
Riscaldatore ad infrarossi	0,99	0,98	0,97

Tabella 43 - Prospetto per il calcolo del rendimento di emissione, locali superiore a 4 metri, MasterClima

UNI/TS 11300-2:2014 - Prospetto 18: Rendimenti di emissione in locali di altezza maggiore di 4 m

Descrizione	Carico termico W/m ³								
	<4			4-10			>10		
	Altezza del locale								
	6	10	14	6	10	14	6	10	14
Radiatori su parete esterna isolata *)	0,96	0,94	0,92	0,95	0,93	0,91	0,93	0,91	0,89
Radiatori su parete interna	0,94	0,92	0,90	0,93	0,91	0,89	0,90	0,88	0,86
Ventilconvettori**) (valori riferiti a t _{media} dell'acqua=45°C)	0,94	0,92	0,90	0,93	0,91	0,89	0,92	0,90	0,88
Bocchette in sistemi ad aria calda	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Generatore d'aria calda singolo a basamento o pensile	0,97	0,96	0,95	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Aerotermi ad acqua	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92	0,92	0,91	0,90
Generatore d'aria calda singolo pensile a condensazione	0,98	0,97	0,96	0,96	0,95	0,94	0,94	0,93	0,92
Strisce radianti ad acqua, a vapore, a fuoco diretto	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95
Riscaldatori ad infrarossi	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94
Pannelli a pavimento annegati***)	0,98	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95
Pannelli a pavimento (isolati)	0,99	0,98	0,97	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,95

Tabella 44 - Rendimento di emissione, zona Rebaudengo

S/V	Rendimento di emissione [-]		
	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,950	0,960	0,960
Terziario servizi	0,950	0,950	0,950
Terziario commerciale	0,930	0,930	0,940

3.6.5 Rendimento globale

Il rendimento globale è dato dal prodotto dei quattro rendimenti fin qui calcolati.

$$\eta_{globale} = \eta_g * \eta_d * \eta_r * \eta_e$$

Tabella 45 - Rendimento globale, zona Rebaudengo

S/V	Rendimento globale [-]		
	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,885	0,894	0,894
Terziario servizi	0,885	0,884	0,884
Terziario commerciale	0,875	0,875	0,884

4 Richiesta di potenza ed energia alla rete

Avendo ricavato i rendimenti globali è, a questo punto possibile calcolare la potenza e l'energia che vanno immesse in rete per sopperire alla richiesta degli edifici.

Il calcolo della potenza di picco (tabella sotto) è ottenuto dividendo la potenza effettivamente richiesta dall'edificio per il rendimento globale.

Tabella 46 - Fabbisogno di energia al netto del rendimento globale, lotto PRIU

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	763940	454710	229270
Terziario servizi	1350300	984060	928690
Terziario commerciale	1218100	811110	488500

Si allega la tabella di potenza di picco, anch'essa al netto del rendimento globale.

Tabella 47 - Potenza di picco richiedibile all'impianto, al netto del rendimento globale, lotto PRIU

S/V	Potenza di picco [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	579	446	350
Terziario servizi	1322	1106	1073
Terziario commerciale	944	743	581

Nel seguito servirà riferire la potenza alle volumetrie, quindi si divide per il volume.

Tabella 48 - Potenza di picco riferita al volume, al netto del rendimento globale, lotto PRIU

S/V	Potenza massima richiesta [W/m ³]		
	0,7	0,5	0,35
Residenziale	6,7	5,1	4,0
Terziario servizi	12,6	10,6	10,3
Terziario commerciale	6,8	5,3	4,2

Il calcolo che si porta avanti da questo punto in poi prevede la scelta di un fattore di forma unico e l'utilizzo della potenza massima corrispondente.

Si è visto, per ogni destinazione d'uso, quale valore di S/V fosse più ricorrente.

Nel caso del residenziale si sono ipotizzate palazzine alte, con superficie in pianta non troppo estesa; gli edifici multipiano sono caratterizzati da S/V bassi, quindi in questo caso si utilizza 0,35.

Per il caso terziario servizi il ragionamento è analogo: le maggior parte di palazzine adibite ad uffici e simili sono multipiano e hanno base tra 200 e 600 m². Pertanto, l'S/V più plausibile è nuovamente 0,35.

I capannoni ad uso commerciale, come struttura, sono l'equivalente di una palazzina di 2 piani, 6 metri di altezza, con base molto estesa. Avendo imposto le proporzioni di base si è visto che in molti casi il valore si trova tra 0,45 e 0,5.

Avendo fatto le considerazioni su S/V sono state individuate le potenze massime richieste, tabella sotto.

Tabella 49 - Potenza massima richiesta, riferita al volume, lotto PRIU

Potenza di picco [W/m³]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	4,0
<i>Terziario servizi</i>	10,3
<i>Terziario commerciale</i>	5,3

Occorre aggregare i lotti, al fine del successivo confronto con l'energia ricavabile da geotermia, e ricavare la potenza ed energia richiesta per l'intera zona. I valori di potenza ed energia serviranno nel seguito per confrontarli con i valori da cumulata.

Tabella 50 - Fabbisogno di energia per riscaldamento richiesto alla rete, per tutti i fattori di forma, zona Rebaudengo

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
<i>Residenziale</i>	3189500	2272700	1607600
<i>Terziario servizi</i>	3662900	2955300	2845000
<i>Terziario commerciale</i>	2636600	1698800	1022300

Anche per il caso di energia si sono utilizzati, d'ora in avanti, i valori di S/V di cui si è parlato alcuni righe fa.

Si riportano le tabelle riferite all'energia e alla potenza per la zona Rebaudengo aggregata.

Tabella 51 - Fabbisogno di energia per riscaldamento, zona Rebaudengo

Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	1607600
<i>Terziario servizi</i>	2845000
<i>Terziario commerciale</i>	1698800

Tabella 52 - Potenza di picco riferita ai m³, zona Rebaudengo

Potenza di picco [W/m³]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	3,5
<i>Terziario servizi</i>	11,5
<i>Terziario commerciale</i>	5,2

4.1 Cumulata

Come si è visto fin qui la richiesta di potenza durante il periodo di riscaldamento non è sempre uguale, bensì dipende da fattori come: temperatura esterna, quantità di apporti solari e interni.

Per questo motivo occorre utilizzare la cumulata. Essa rappresenta il profilo di richiesta di potenza in relazione delle ore di funzionamento dell'impianto. Quindi nel caso in esame si tara su 4380 ore, i 6 mesi di accensione dell'impianto.

Per conoscere il valore di energia richiesta dall'impianto è sufficiente calcolare l'area sottesa dalla curva, cioè l'integrale.

Si esamina e riadatta la cumulata di richiesta di potenza relativa agli anni dal 2001 a 2011, con campionamento ogni 6 minuti. All'interno dei valori è presente anche la componente dovuta ad acqua calda sanitaria, che non viene considerata in questo studio, quindi sarà necessario scorporare quel valore in W/m^3 .

La cumulata fa riferimento alla richiesta del settore residenziale; la si può prendere in esame per gli altri settori con le dovute considerazioni e analisi.

4.1.1 Calcolo su cumulata esistente

Nell'immagine seguente si può vedere la cumulata (Cugno, Noussan, Cerino Abdin, & Poggio, 2012) punto di partenza dell'analisi.

Si può notare che: la richiesta di potenza si estende su 8760 ore in quanto è presente la richiesta di potenza dovuta ad ACS, le ore effettive di richiesta sono circa 5000. Dopo le 5000 ore si vede una coda pressoché costante che nell'ultimo punto ha uno scostamento che rende il valore negativo.

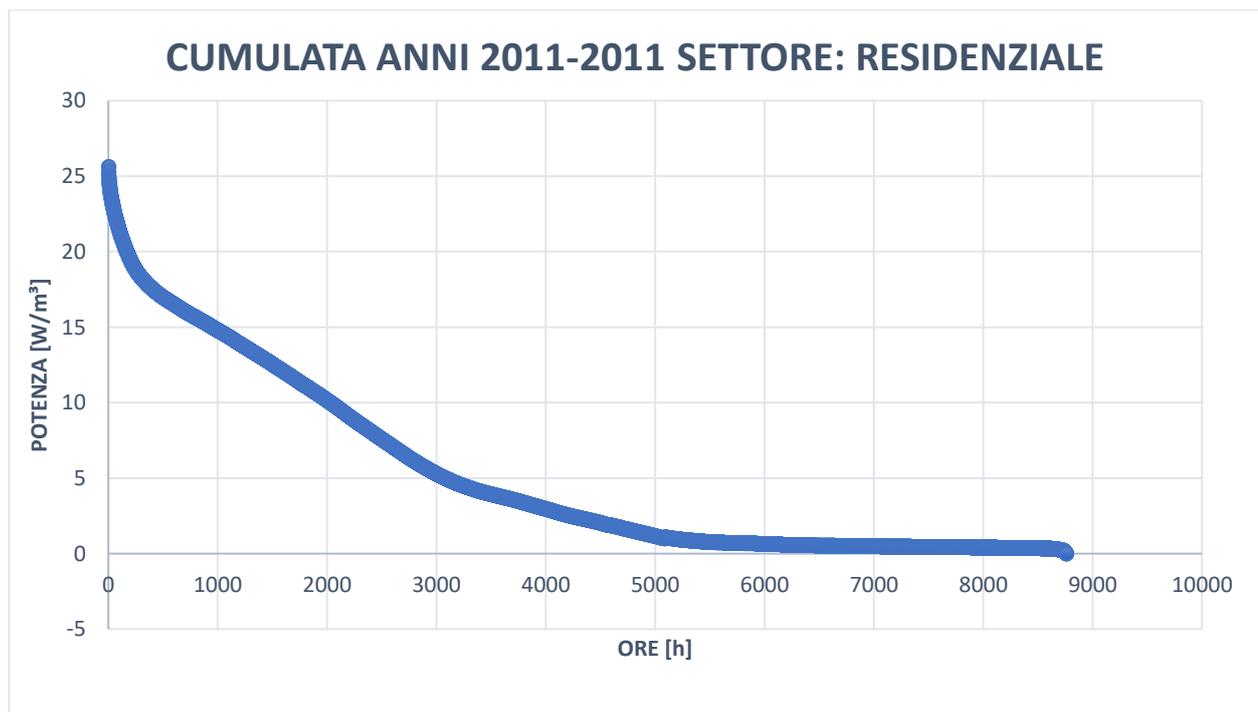


Figura 7 - Cumulata di richiesta di potenza, anni 2001-2011, settore residenziale, città di Torino

È opportuno d'ora in avanti disgregare le due aree e per ognuna svolgere i calcoli separatamente. Questa decisione si basa su due osservazioni:

- Le zone Rebaudengo ed Ex Scalo Vanchiglia hanno percentuali di destinazioni d'uso notevolmente differenti, questo falserebbe il calcolo e non farebbe apprezzare le differenze in termini di destinazioni d'uso
- Alla fine del calcolo si vedrà che il calore estratto da una zona non può essere trasferito ad un'altra, quantomeno in prima analisi, a causa della loro distanza, quindi non è necessario tenere le due zone aggregate.

La cumulata deve essere riadattata in tre passaggi:

- sottraendo la potenza media dovuta a richiesta di ACS ($0,72 \text{ W/m}^3$)
- scalando per le ore effettive di funzionamento dell'impianto (lungo "x")
- scalando per la potenza di picco reale richiesta dall'impianto (lungo "y")

Si può vedere che il picco di potenza è intorno i 25 W/m^3 , valore del residenziale esistente. Come visto nel capitolo precedente, gli edifici progettati rispettando le norme attuali, hanno una richiesta di potenza di picco molto minore.

CUMULATA D RICHIESTA DI POTENZA

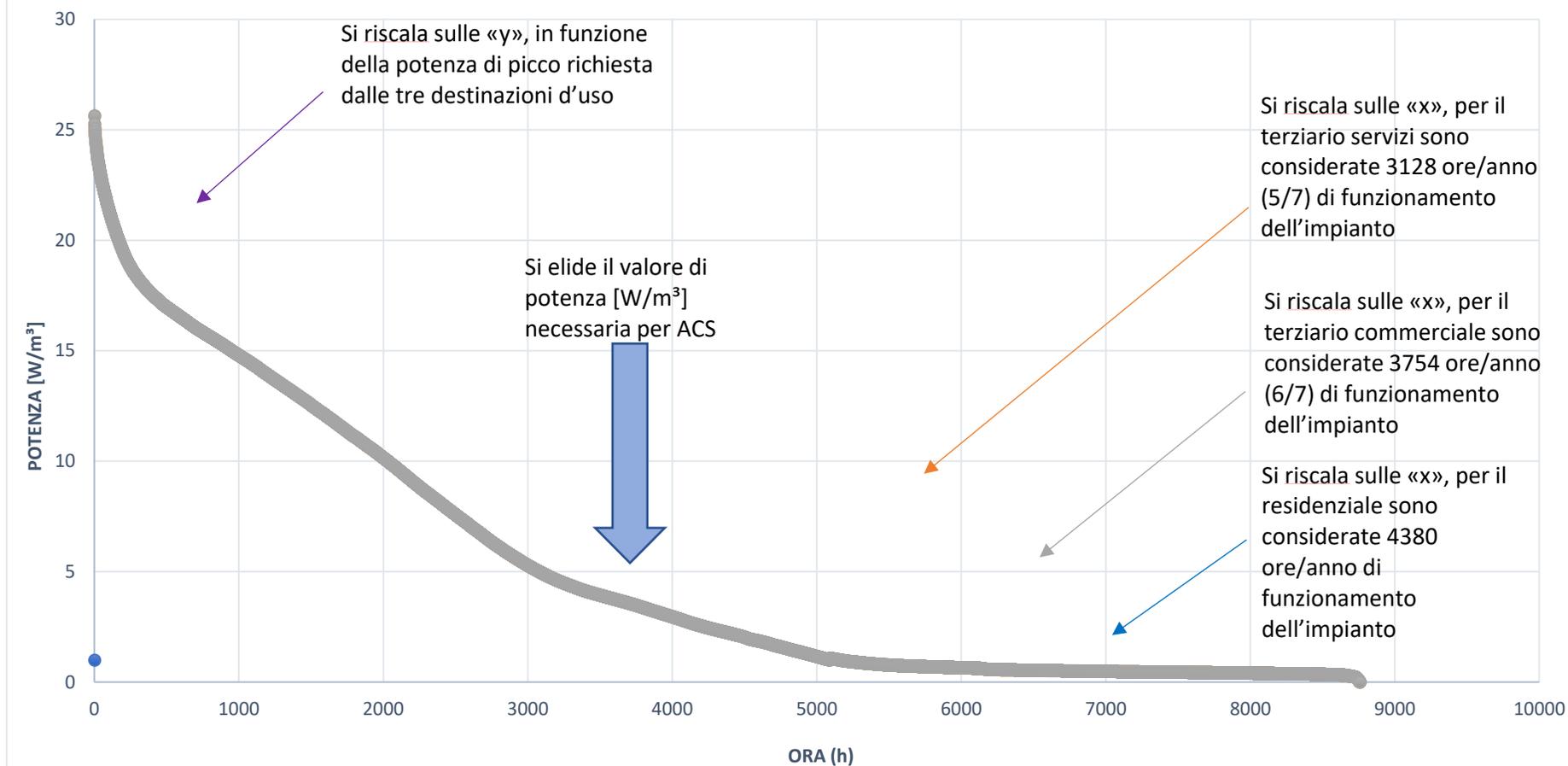


Figura 8 - Processo di rimodellamento della cumulata

4.1.1.1 Rebaudengo

Dal riadattamento, ne risulta un grafico composto da tre cumulate, una per ogni destinazione d'uso. Si può vedere che il settore residenziale e terziario commerciale hanno andamento molto simile.

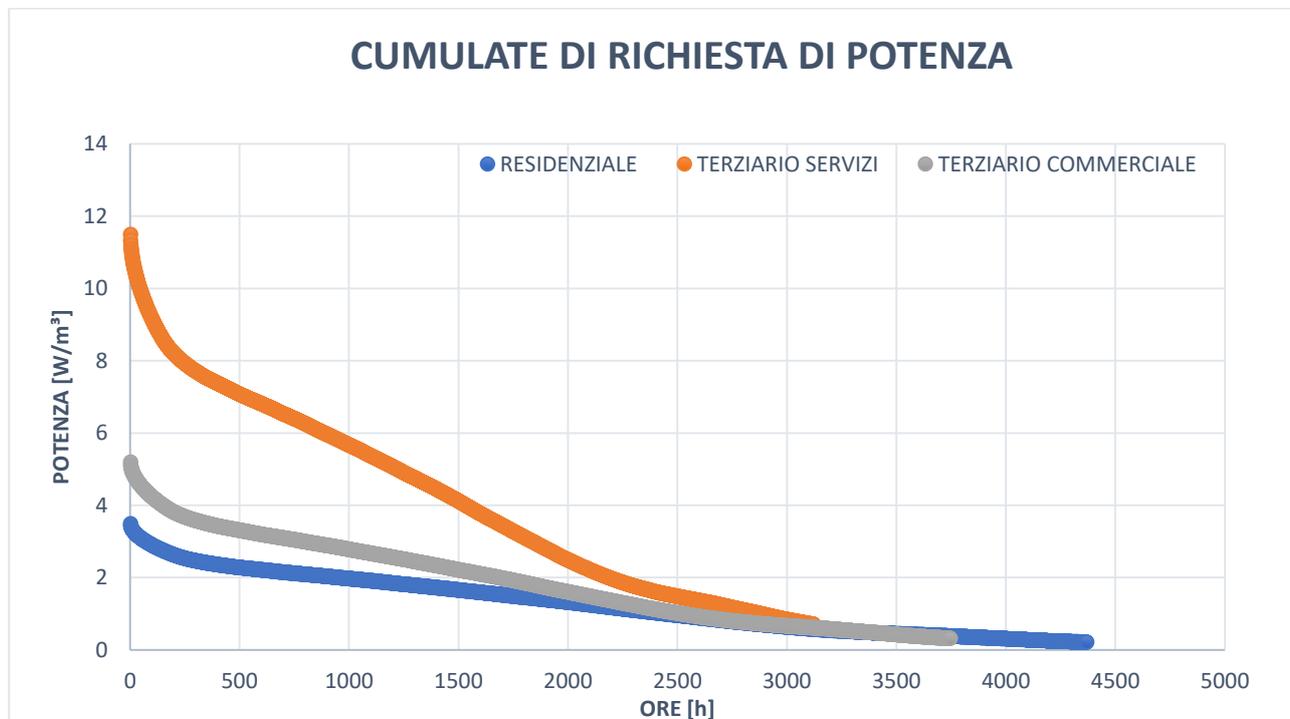


Figura 9 - Cumulate per le tre destinazioni d'uso, zona Rebaudengo

Se si vuole conoscere l'energia effettivamente richiesta nel periodo di riscaldamento (tabella sotto) dalle tre destinazioni d'uso è sufficiente calcolare l'integrale delle tre curve e moltiplicarlo per i metri cubi di ogni destinazione d'uso.

Tabella 53 - Richiesta di energia per riscaldamento, calcolo da cumulata, zona Rebaudengo

Fabbisogno di energia per riscaldamento [MWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	1427
Terziario servizi	2636
Terziario commerciale	2074

Per facilità di lettura e di calcolo occorre accorpare le tre cumulate, figura sotto. Ne risulterà una cumulata spezzata in due punti, a causa della differenza di ore di esercizio dell'impianto, tra le tre destinazioni d'uso. La somma deve tener conto della differenza di cubatura nei tre casi, quindi si applica una media pesata tra le potenze con la seguente formula:

$$\dot{Q} = \frac{\dot{Q}_{resid.} * Vol_{resid.} + \dot{Q}_{terz. servizi} * Vol_{terz.servizi} + \dot{Q}_{terz.commerciale} * Vol_{terz.commerciale}}{Vol_{complessivo}}$$

Risulta una potenza media di picco di 6,3 W/m³.

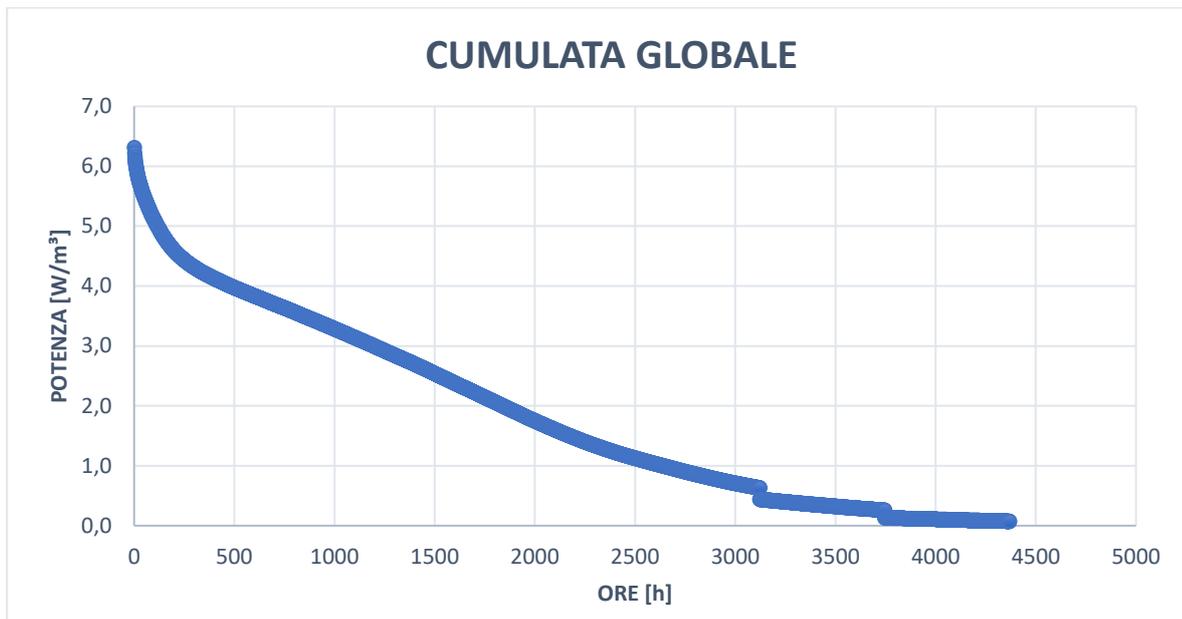


Figura 10 - Cumulata globale delle tre destinazioni d'uso, zona Rebaudengo

A questo punto si può fare un confronto tra i dati ricavati da normativa e quelli di cumulata per vedere quanto i due termini si allineino.

Tabella 54 - Confronto di fabbisogno per riscaldamento nel caso di calcolo da normativa e da cumulata, zona Rebaudengo

Fabbisogno di energia per riscaldamento [MWh/anno]			
	Residenziale	Terziario servizi	Terziario commerciale
Calcolo da normativa	1608	2845	1699
Calcolo da cumulata	1427	2636	2074
Errore rispetto normativa [%]	-11,3%	-7,4%	22,1%

Come si vede nella tabella, calcolare il fabbisogno di energia attraverso la cumulata, sottostima il calcolo di alcuni punti percentuali. L'errore tuttavia non è molto elevato e considerando le approssimazioni che sono state fatte può ritenersi accettabile, eccetto nel caso del terziario commerciale in cui la cumulata invece che sottostimare, sovrastima, di una quantità molto considerevole (22%).

L'errore può essere dovuto a molti fattori, tra questi la maggiore incidenza di apporti interni e solari: essendo quelli considerati edifici con bassissimi consumi rispetto l'esistente, quelle che sarebbero differenze quasi non apprezzabili, nel caso in esame spostano di molto l'errore.

Un'altra spiegazione sull'errore si può ricercare nella differenza di fattore di forma su edifici esistenti (da cui è estrapolata la cumulata), che non è fornito ma si può stimare essere superiore a quello considerato, dal momento che gli edifici esistenti in Torino hanno media di altezza sicuramente inferiore a 9/10 piani. Questo disallineamento tra fattori di forma di edifici esistenti e nuovi fa sottostimare la richiesta di energia.

Per quanto riguarda il settore terziario commerciale si può dire che il calcolo non è accettabile, e questo può essere dovuto a:

- Differenza di fattori di forma tra cumulata esistente e ipotesi di S/V in capannoni commerciali
- Differenza di fattore orario nel caso reale rispetto a quello che si è stimato
- Incompatibilità di incidenza da parte degli apporti interni per i casi di cumulata esistente e commerciale, dal momento che, come evidenziato piccole differenze di apporti interni fanno abbassare di molto la richiesta per le nuove edificazioni; di pochissimo sull'esistente
- Discostamento in presenza di apporti solari in edifici alti residenziali e terziario servizi (della curva esistente) e quasi mancanza di apporti solari nel caso di capannoni bassi
- Differenze tra un impianto di teleriscaldamento esistente, e un impianto nuovo che utilizza una fonte a bassa temperatura e terminali a bassa temperatura, che ne consegue in un calcolo differente per i rendimenti

Come ulteriore confronto si ipotizza il caso di variazione di apporti interni del +10% e -10%, si riportano le tabelle di differenza tra i valori da normativa e cumulata prima e nei due casi nuovi che vengono considerati.

Tabella 55 - Confronto di fabbisogno per riscaldamento nel caso di calcolo da normativa e da cumulata con incremento apporti interni, zona Rebaudengo

Confronto tra valori da normativa e cumulata [MWh/anno]			
	<i>Normativa</i>	<i>Cumulata</i>	<i>Errore [%]</i>
<i>Residenziale</i>	1444	1304	-9,7%
<i>Terziario servizi</i>	2708	2544	-6,1%
<i>Terziario commerciale</i>	1489	1954	31,3%

Tabella 56 - Confronto di fabbisogno per riscaldamento nel caso di calcolo da normativa e da cumulata con decremento apporti interni, zona Rebaudengo

Confronto tra valori da normativa e cumulata [MWh/anno]			
	<i>Normativa</i>	<i>Cumulata</i>	<i>Errore [%]</i>
<i>Residenziale</i>	1771	1508	-14,9%
<i>Terziario servizi</i>	2982	2659	-10,8%
<i>Terziario commerciale</i>	1909	2153	12,8%

Nella tabella sopra, dove viene incrementato il valore degli apporti interni del 10% l'errore si riduce di alcuni punti percentuali, nel secondo caso (decremento del 10%) l'errore aumenta.

Si riporta il grafico della richiesta di potenza in MW che andrà confrontato con il valore di offerta dalla rete. Il valore in MW è ottenuto moltiplicando la potenza di picco globale specifica $6,3 \text{ W/m}^3$ per il volume del parco edilizio della zona Rebaudengo.

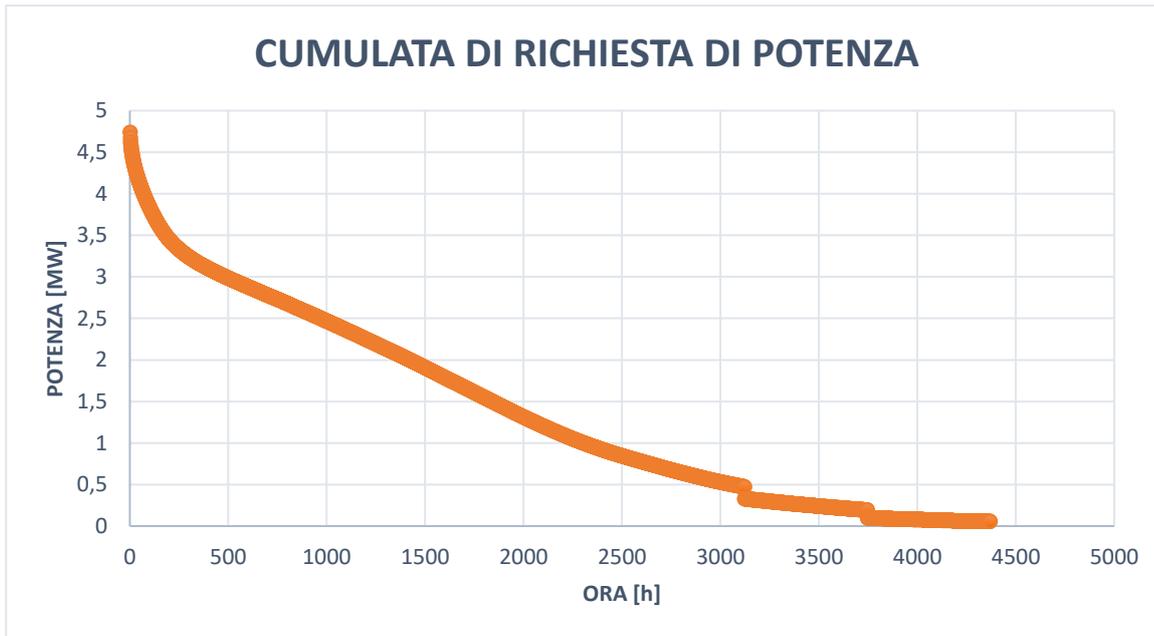


Figura 11 - Potenza complessiva richiesta, zona Rebaudengo

4.1.1.2 Ex Scalo Vanchiglia

Per la zona Ex Scalo Vanchiglia viene adottato lo stesso procedimento: vengono calcolate le tre potenze di picco e viene rielaborata la cumulata.

Tabella 57 - Potenza di picco riferita ai m³, zona Ex Scalo Vanchiglia

Potenza di picco [W/m ³]	
S/V	-
Residenziale	4,2
Terziario servizi	11,9
Terziario commerciale	3,1

Si può notare che le potenze di picco sono leggermente diverse rispetto a quelle della zona Rebaudengo. Questo può essere causato da vari motivi: per quanto riguarda il settore residenziale e terziario servizi nella zona Ex Scalo Vanchiglia si hanno molti più limiti sull'altezza in piani. In particolare, nei lotti Scalo Vanchiglia est ed ovest il limite è fissato a 3 o 5 piani fuori terra, questo ne consegue, a parità di volumetrie, in un incremento della superficie disperdente, che fa aumentare la richiesta di potenza per trasmissione.

Discorso simile ma opposto per il settore terziario commerciale: la zona Ex Scalo Vanchiglia è composta da capannoni con grande estensione, questo ne consegue in una riduzione delle superfici a parità di volumetrie.

Viene riportato il grafico delle tre cumulate.

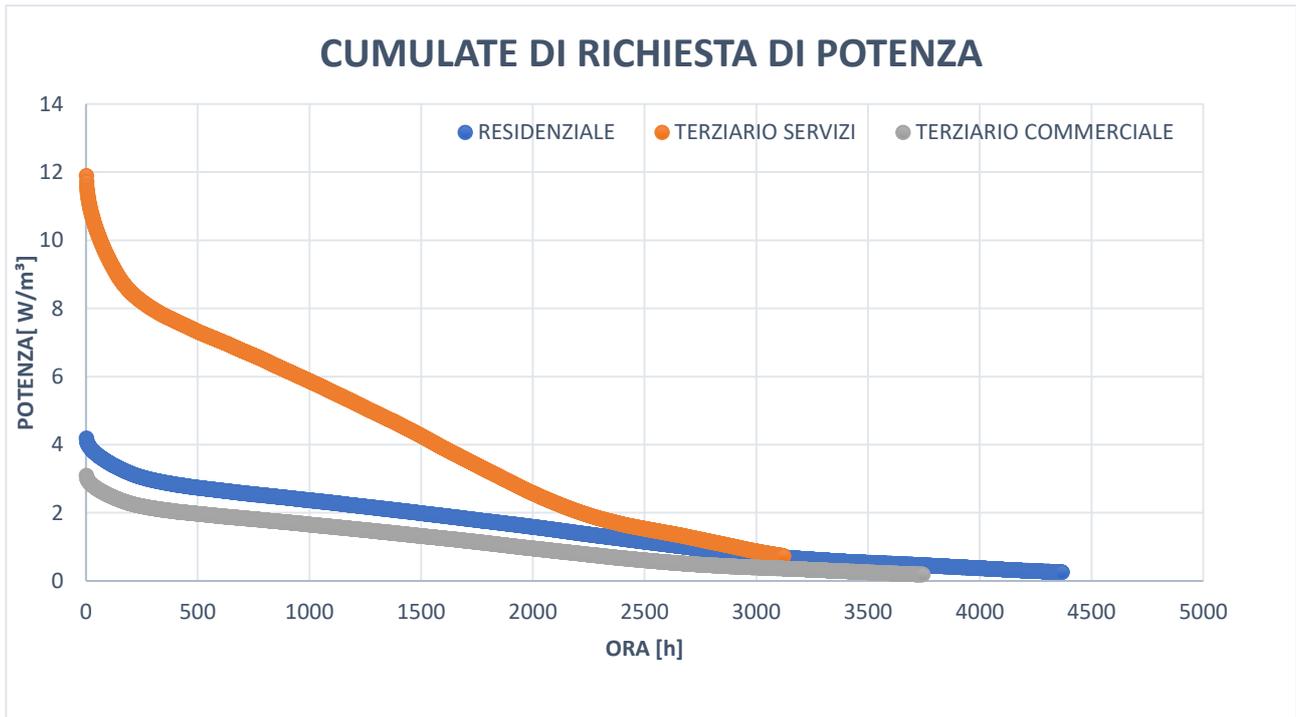


Figura 12 - Cumulate per le tre destinazioni d'uso, zona Ex Scalo Vanchiglia

In questo caso la curva del residenziale si avvicina ancor più a quella del terziario commerciale. Le loro richieste sono così vicine probabilmente perché alcuni termini si bilanciano in maniera corretta. Il settore residenziale ha finestrature più ampie ma il terziario commerciale ha una grande quantità di apporti interni.

Aggregando le tre curve ne risulta una potenza media di picco per la zona Ex Scalo Vanchiglia di $6,7 \text{ W/m}^3$.

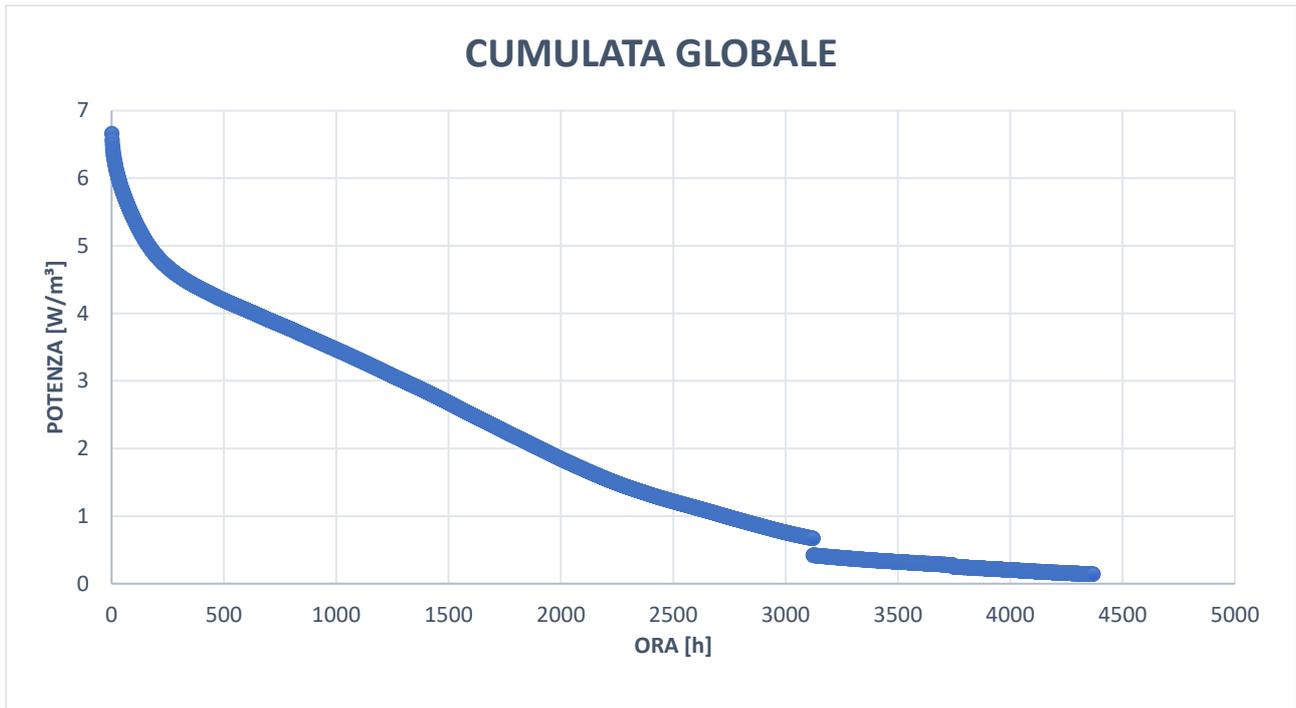


Figura 13 Cumulata globale delle tre destinazioni d'uso, zona Ex Scalo Vanchiglia

Si eseguono gli integrali per la ricerca dell'energia richiesta e si confrontano con i valori da normativa.

Tabella 58 - Confronto di fabbisogno per riscaldamento nel caso di calcolo da normativa e da cumulata, zona Ex Scalo Vanchiglia

Fabbisogno di energia per riscaldamento [MWh/anno]			
	Residenziale	Terziario servizi	Terziario commerciale
Calcolo da normativa	2997	3523	491
Calcolo da cumulata	2804	3525	391
Errore rispetto normativa [%]	6,4%	-0,1%	20,3%

È interessante vedere che nella zona Ex Scalo il valore dell'errore percentuale è minore: si è detto che questa zona ha una richiesta di potenza ed energia maggiore, avendo in molti casi numero di piani degli edifici minore. In effetti si conferma quello detto sopra: la richiesta si avvicina maggiormente, rispetto la zona Rebaudengo, a quella dell'esistente. La cumulata esistente diventa un'approssimazione migliore, compiendo in questo caso un errore di sottostima nel residenziale e leggerissima sovrastima nel terziario servizi. Per quanto riguarda il terziario commerciale è anche in questo caso male approssimato dalla curva della cumulata esistente, avendo errore nuovamente intorno il 20%.

Si riportano anche per questo caso le tabelle in cui si è provato a modificare leggermente gli apporti interni.

Tabella 59 - Confronto di fabbisogno per riscaldamento nel caso di calcolo da normativa e da cumulata con incremento apporti interni, zona Ex Scalo Vanchiglia

Confronto tra valori da normativa e cumulata [MWh/anno]			
	<i>Normativa</i>	<i>Cumulata</i>	<i>Errore [%]</i>
<i>Residenziale</i>	2734	2737	0,1%
<i>Terziario servizi</i>	3347	3496	4,5%
<i>Terziario commerciale</i>	427	379	-11,4%

Tabella 60 - Confronto di fabbisogno per riscaldamento nel caso di calcolo da normativa e da cumulata con decremento apporti interni, zona Ex Scalo Vanchiglia

Confronto tra valori da normativa e cumulata [MWh/anno]			
	<i>Normativa</i>	<i>Cumulata</i>	<i>Errore [%]</i>
<i>Residenziale</i>	3260	2937	-9,9%
<i>Terziario servizi</i>	3699	3585	-3,1%
<i>Terziario commerciale</i>	554	417	-24,8%

Sotto viene riportato il grafico di richiesta di potenza per la zona Ex Scalo Vanchiglia. La richiesta di potenza nelle condizioni più gravose registrate degli ultimi 5 anni sarebbe di 5,2 MW.

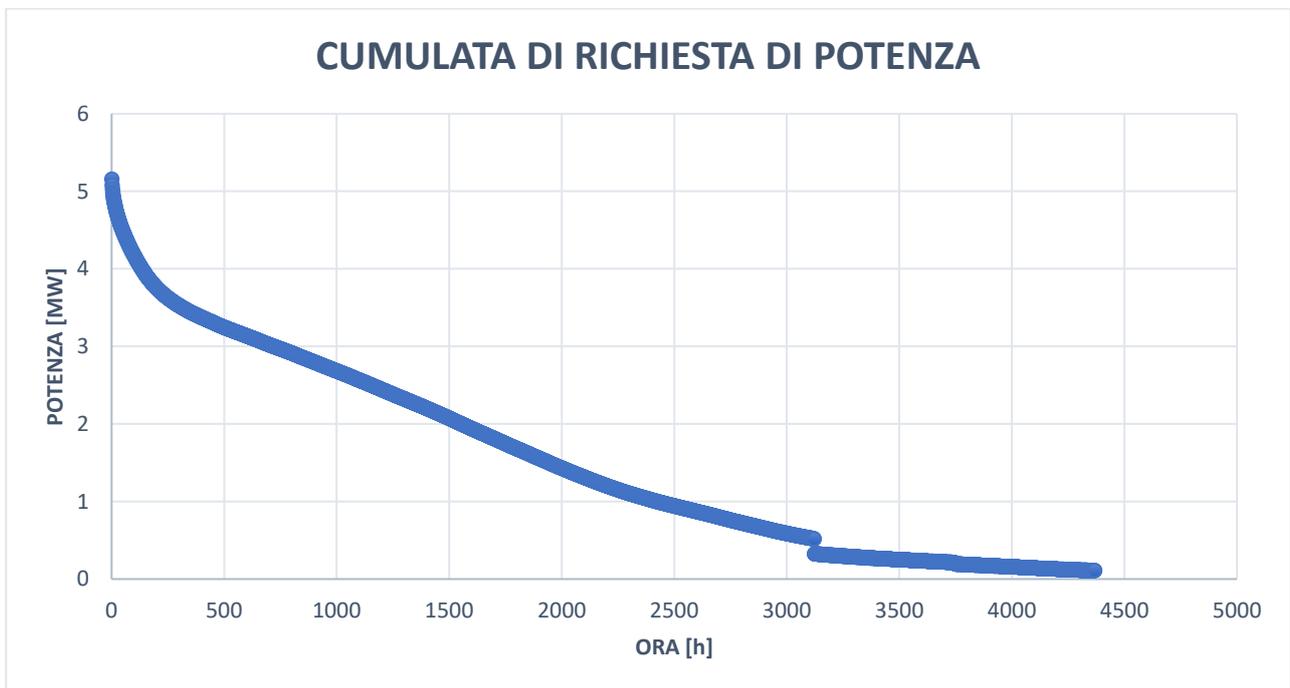


Figura 14 - Potenza complessiva richiesta, zona Ex Scalo Vanchiglia

5 Estrazione di calore dal sottosuolo

L'utilizzo delle fonti rinnovabili, negli ultimi anni, si sta diffondendo a vista d'occhio. Ogni provvedimento, che tratta di politiche economiche e ambientali ne ha un riferimento. Le politiche a favore delle energie rinnovabili sono messe in atto da livelli comunali e regionali, fino europeo e mondiale.

A livello europeo sono stati adottati due provvedimenti negli ultimi due decenni: l'accordo per il 2020 e per il 2030, che prevedevano rispettivamente il raggiungimento del 20% e del 32% di fabbisogno energetico ricavato da fonti rinnovabili (Strategia e obiettivi climatici - Commissione europea). Questi numeri fanno capire quanto l'argomento sia centrale in questo periodo storico.

Nel suddetto contesto che spinge sul maggior utilizzo delle fonti rinnovabili, le risorse geotermiche sono state oggetto di un certo interesse come fonti strategicamente sostenibili. Il calore del sottosuolo è un'energia inesauribile perché consiste nel rilascio continuo di energia da parte di isotopi radioattivi presenti nella crosta terrestre.

Il sottosuolo di alcune zone nel mondo è caratterizzato da anomalie termiche che danno luogo a fenomeni superficiali come sorgenti termali, vulcani, geysir etc. In Italia la regione che riscontra un gran numero di queste manifestazioni è la Toscana. Nel resto d'Italia non ne ha una grande evidenza.

Ad ogni modo, si è superato il vincolo dovuto alla localizzazione di queste zone, utilizzando il sottosuolo come sorgente di calore anche in assenza di queste particolarità. Questo tipo di sfruttamento è chiamato geotermia a bassa entalpia, differenziandosi dal primo tipo: geotermia ad alta entalpia.

5.1 Geotermia a bassa entalpia

La geotermia a bassa entalpia sfrutta il principio per cui il sottosuolo riesce a mantenere una temperatura pressoché costante. Già a pochi metri di profondità, non subendo le fluttuazioni di apporti solari o temperatura dell'aria, dovute al ciclo giornaliero o stagionale, la temperatura rimane pressoché costante.

La geotermia a bassa entalpia necessita il più delle volte di una pompa di calore per aumentare l'efficienza nell'utilizzo della fonte, in alternativa alcuni schemi di impianto prevedono lo scambio termico con il sottosuolo senza l'ausilio di PdC.

Il prelievo e rilascio di calore dal/nel sottosuolo può avvenire in tre modi:

- impianto a circuito chiuso - scambio diretto: il circuito della pompa di calore è a diretto contatto con il sottosuolo
- impianto a circuito chiuso - scambio indiretto: lo scambio avviene per via di un circuito idraulico in cui scorre un fluido termovettore
- impianti a circuito aperto: viene prelevata acqua di falda e successivamente reimpressa, diventando quindi essa stessa il fluido termovettore

L'impianto che sarà installato per lo sfruttamento del calore della linea 2, prevede l'utilizzo di un circuito chiuso a scambio indiretto. Il fluido termovettore sarà un composto di glicole propilenico (30%) e acqua per la restante parte (Ferina).

Un sistema con queste caratteristiche può anche essere utilizzato in assetto estivo.

In assetto invernale l'edificio, o complesso di edifici, è la sorgente fredda a cui cedere calore, in assetto estivo la sorgente a cui cedere calore invece diventerà il sottosuolo, con risultato di asportazione di calore dall'ambiente interno dei locali.

Nell'immagine seguente si può vedere il duplice utilizzo a cui può far fronte un sistema geotermico a bassa entalpia (Slides corso Geothermal energy).

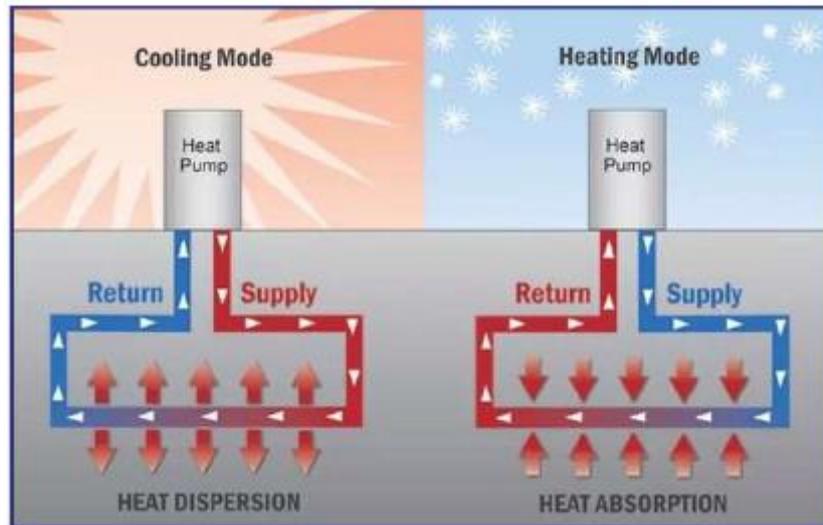


Figura 15 - Assetto estivo (sinistra) e invernale (destra) per sistema geotermico a bassa entalpia

5.2 Geostrutture energetiche

Le geostrutture energetiche sono quelle opere capaci di sopperire in un unico elemento a una duplice funzione: strutturale e di scambio di calore con l'ambiente in cui sono immerse. Consistono in ramificazioni di tubi, che svolgono la funzione di scambiatori di calore, annegate nel calcestruzzo di fondazione.

Il calcestruzzo si presta bene per scopi energetici dal momento che è un materiale con buona conducibilità termica e incline ad immagazzinare calore. Questi aspetti vanno ad influire positivamente su rendimenti e stabilità di un sistema del genere.

Questo tipo di strutture supportano impianti a ciclo chiuso che sono in grado di assorbire o rilasciare calore grazie al fluido termovettore e veicolarlo a una pompa di calore o una sottostazione.

La potenza fornita è generalmente a temperatura non troppo elevata se nella zona non esistono anomalie termiche, quindi volendo mantenere un alto COP è opportuno accoppiare il sistema con terminali di immissione a bassa temperatura.

È possibile elevare più volte il calore per raggiungere temperature più alte, questo comporta un grande dispendio di energia elettrica, che ne consegue in un abbassamento del COP globale.

L'utilizzo di geostrutture energetiche prende piede già negli anni '80, in cui vennero utilizzate le prime piastre di fondazione; negli anni successivi l'applicazione si è estesa a pali di fondazione, paratie etc. Nelle immagini seguenti si possono vedere due esempi di geostrutture (DISEG - POLITECNICO DI TORINO).



Figura 16 - Particolare interno di un palo energetico



Figura 17 - Diaframma energetico

La diffusione di questo tipo di strutture è documentata in molti paesi, tra cui Austria, Germania, Regno Unito e Svizzera.

I vantaggi di un sistema del genere sono:

- Bassi costi aggiuntivi per l'attivazione termica dell'elemento strutturale
- Minime variazioni strutturali richieste in fase progettuale
- Facile accessibilità in fase di manutenzione rispetto a sonde geotermiche direttamente annegate nel terreno, verticali o orizzontali

In alcuni tratti della metropolitana 2 si installeranno delle particolari geostrutture: i conci energetici Enertun. In altri tratti si opterà per i classici diaframmi energetici.

5.3 Utilizzo dei conci Enertun

Gli studi sul concio Enertun, del Politecnico di Torino, risalgono al 2013. È stato sviluppato un brevetto di concio energetico denominato Enertun (Brevetto n. 102016000020821, 2016b).

L'innovazione di questo brevetto risiede in due caratteristiche: nel risparmio di energia dovuta alla riduzione delle perdite di carico, riduzione tra il 20 e 30%, e l'incremento dell'efficienza di scambio termico (DISEG - POLITECNICO DI TORINO). Inoltre, questo dispositivo si presta bene sia in assetto invernale che estivo.

Il prototipo dei conci Enertun può avere tre differenti configurazioni, in funzione della posizione della rete di tubi: ground&air, ground, air, come si può vedere nella figura seguente (Barla & Insana). Nel primo caso lo scambio avviene sia con il terreno che con l'ambiente interno della galleria, nel secondo caso prevalentemente con il terreno, nel terzo caso con l'ambiente interno.

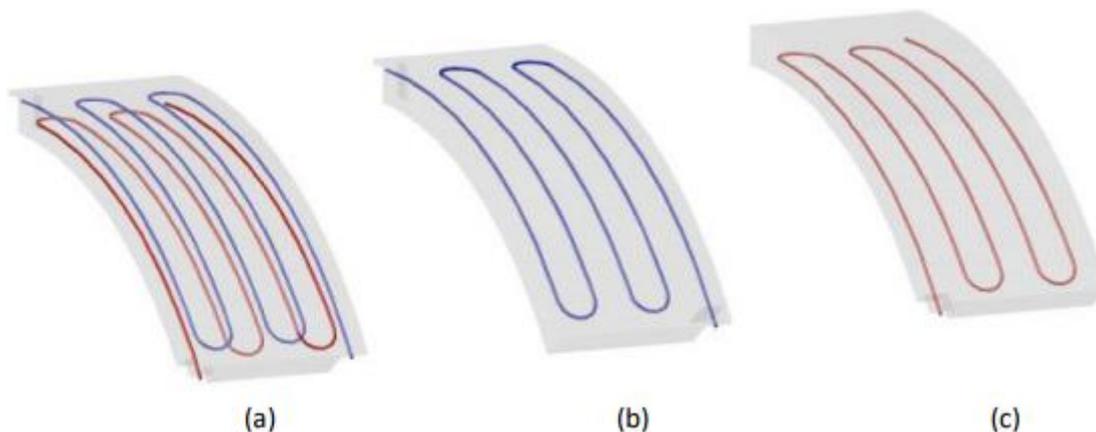


Figura 18 - Tre differenti prototipi di configurazione per conci Enertun

Per il caso sperimentale della metropolitana di Torino è stata scelta la prima configurazione, più complessa ma con grandi funzionalità applicative. Nel primo caso lo scambio può avvenire dualmente con il terreno o con l'ambiente interno della galleria, con prevalenza a seconda delle impostazioni operative.

Dopo aver inserito i tubi nelle armature di metallo, si procede con la colata di cemento, i singoli moduli comporranno la struttura finale. Seguono a questo processo una serie di test idraulici per verificarne la tenuta.

A questo punto è possibile posizionare in galleria i singoli moduli, successivamente occorre collegare i tubi di un modulo con quelli del modulo adiacente. Questo processo va esteso ai tubi air e ground, le porzioni di tubo di connessione e quelle rimaste scoperte vengono rivestite di isolante, come mostrato nell'immagine seguente (Ferina).



Figura 19 - Collegamento delle tubazioni tra moduli adiacenti e applicazione del rivestimento isolante

5.4 Processo di attivazione geotermica della metropolitana

Guardando alle condizioni locali e alle caratteristiche della struttura si possono classificare le gallerie in "calde" o "fredde", in funzione delle condizioni di temperatura che si riscontrano. Un aspetto che influenza l'appartenenza a una o all'altra categoria è la profondità: più si scende più il gradiente di temperatura aumenta. Quelle fredde hanno temperatura intorno i 15°C e non registrano un passaggio di treni con sufficiente frequenza da poter innalzare in maniera significativa la temperatura. La galleria della metropolitana 1 di Torino è del tipo freddo, e lo stesso sarà per la galleria della metropolitana 2.

Per chiarire il processo di attivazione che avverrà per la metropolitana 2 si guarda alla sperimentazione avviata nell'anno 2016 sulla metropolitana linea 1. La sperimentazione è frutto di un protocollo di intesa tra il Politecnico di Torino, InfraTo, e il Consorzio Integra.

Come sito per il posizionamento dei conchi sono stati scelti gli anelli 279 e 280, posizionati a 40 metri verso nord dalla stazione "Bengasi". I due anelli sono connessi a loro volta in parallelo con una tubazione principale che poi deve raggiungere la pompa di calore. Il rivestimento ha uno spessore di 30 centimetri ed è costituito da 6 conchi.

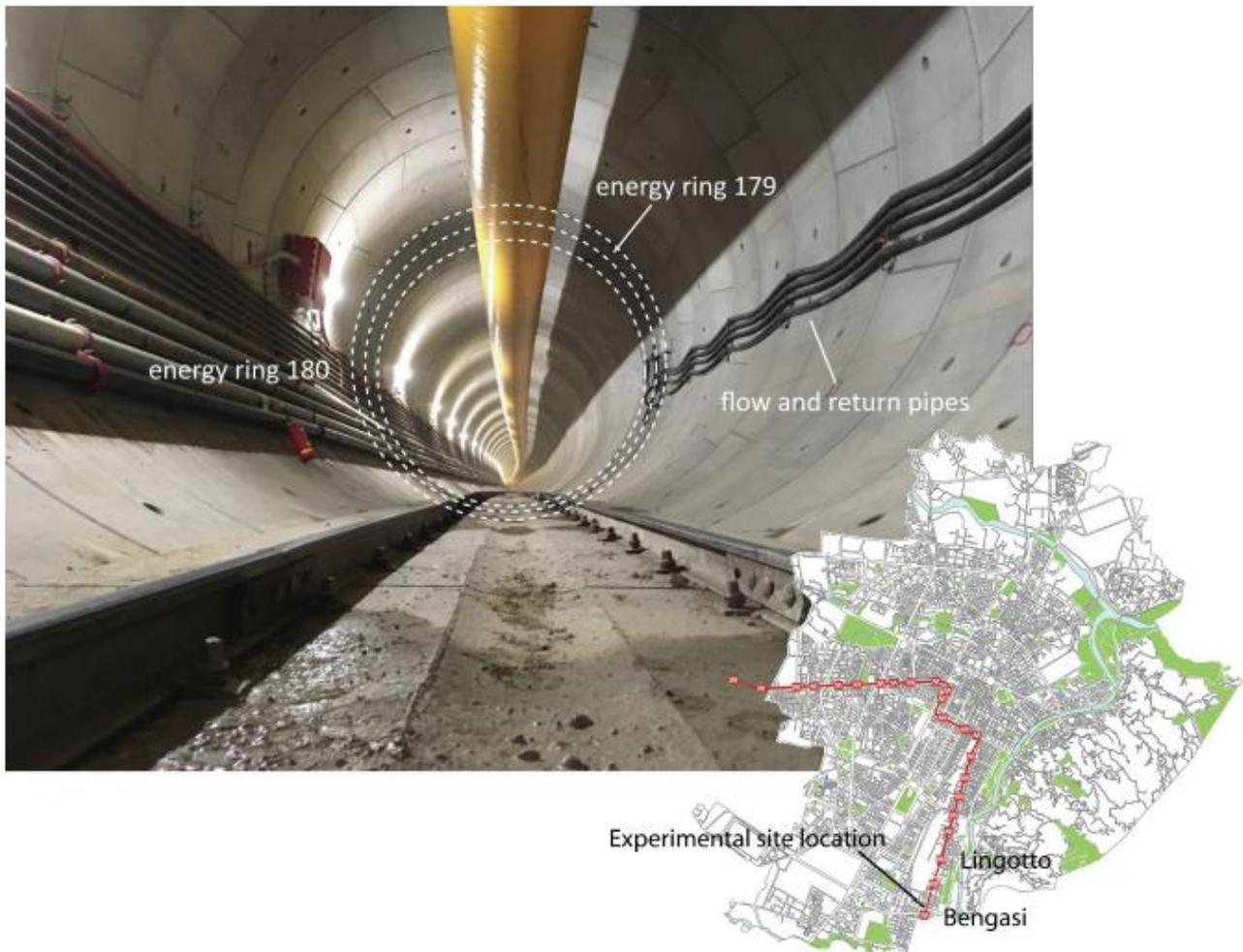


Figura 20 - Vista del campo sperimentale nella linea metropolitana 1 e ubicazione (Barla & Insana)

L'impianto di prova è stato messo in funzione a settembre 2017 per circa un anno, e sono state eseguite 12 prove in funzione di riscaldamento e raffreddamento.

Il potenziale stimato si aggira tra 40 e 66 W/m² (DISEG - POLITECNICO DI TORINO).

5.5 Modalità di scavo

Per la linea 2 si adotteranno due metodologie di scavo, in funzione delle caratteristiche delle zone: C&C (Cut and Cover) e TBM (talpa meccanica).

Nel caso C&C, scavo a cielo aperto, possibile solo in zone in cui non insistono opere edilizie, l'estrazione di calore è possibile se si attrezzano i diaframmi di sostegno degli scavi e del solettone di fondo con circuiti di tubi scambiatori. La tecnologia non ha nulla di nuovo rispetto a quello che già si fa per diaframmi energetici e opere di fondazione e sostegno, già ampiamente presenti in letteratura.

Quelle invece scavate con tecnica TBM (Tunnel Boring Machine) hanno sezione circolare e il rivestimento definitivo è realizzato in conci prefabbricati montati dalla talpa meccanica stessa. Ciascun anello di galleria è costruito con 6 o 7 conci. Già in Germania è stato sperimentato un rivestimento a conci energetici nell'anno 2009, la capacità di scambio è stata misurata essere, in quel caso, dell'ordine di 10-12 W/m² (DISEG - POLITECNICO DI TORINO).

Le modalità di scavo quindi influiscono sulla geometria delle opere strutturali che si andranno a realizzare, per riassumere:

- Caso TBM: struttura in conci di calcestruzzo armato prefabbricati
- Caso C&C: diaframmi verticali di calcestruzzo armato

Il potenziale che le zone possono offrire è funzione delle caratteristiche interne del tunnel. Nella figura seguente si possono vedere le tratte distinte per modalità di scavo (DISEG - POLITECNICO DI TORINO)

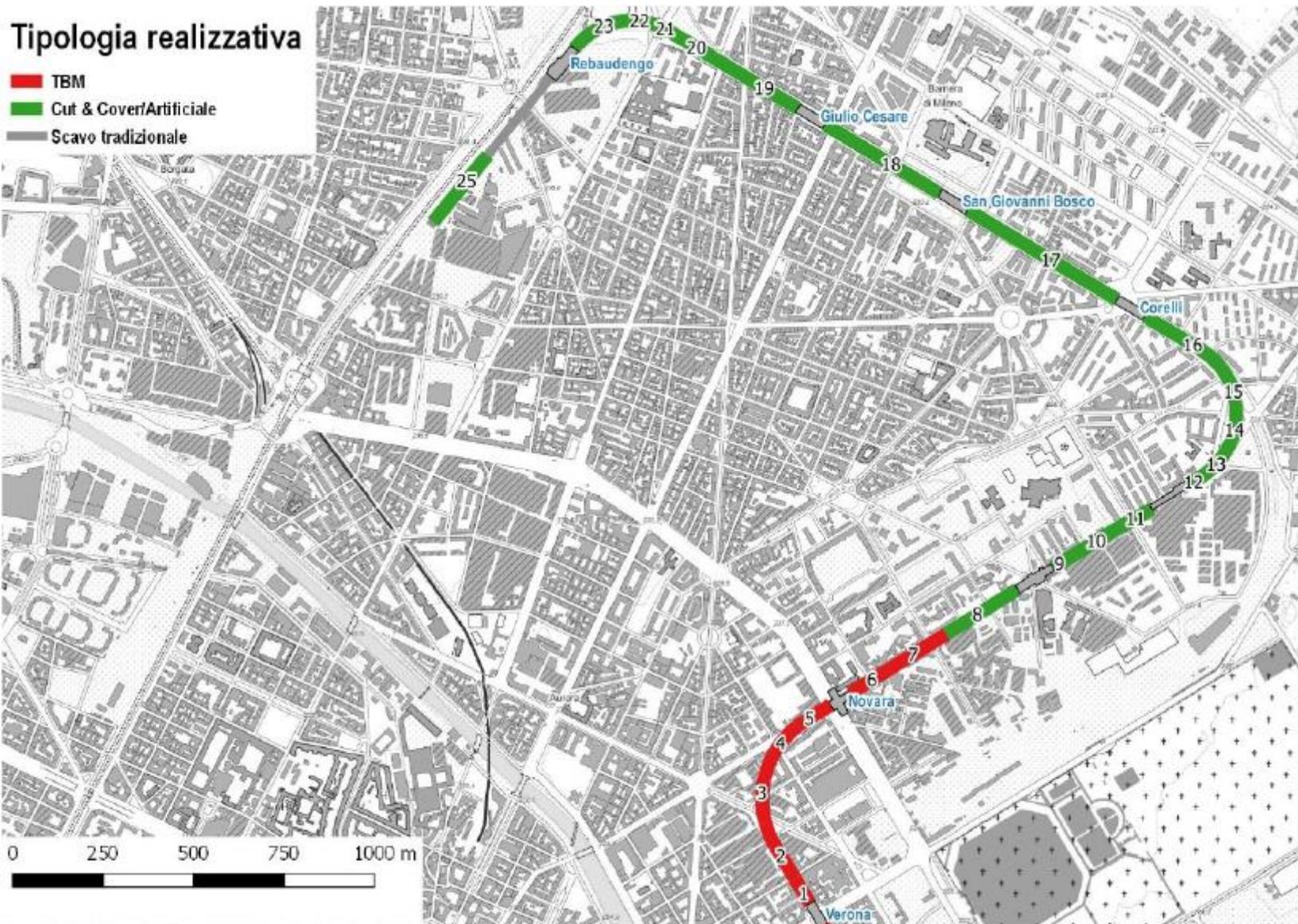


Figura 21 - Particolare della linea di metropolitana 2 in prossimità delle aree Rebaudengo ed Ex scalo Vanchiglia, con indicazione delle modalità di scavo

Il calore estratto è dato dalla formula:

$$\dot{q} = \frac{\dot{m}_f * c_{p,f} * (T_{out} - T_{in})}{L}$$

Dove “L” è la lunghezza del circuito in direzione parallela all’asse della galleria.

5.6 Caratteristiche geotermiche del Piemonte e delle zone oggetto di studio

Per comprendere la potenzialità di un sistema geotermico a pompa di calore è imprescindibile sapere a che temperatura il fluido termovettore scambia calore con il sottosuolo. Dalla temperatura del sottosuolo è possibile fare considerazioni sull’efficacia di un impianto siffatto. Inoltre, i due parametri di efficienza di una pompa di calore sono: COP per caso invernale ed EER per caso estivo i quali dipendono fortemente dalla temperatura dei pozzi con cui i circuiti caldo e freddo scambiano.

La conoscenza delle condizioni termiche del sottosuolo non può prescindere dalla conoscenza dell’acquifero che lo attraversa. L’acquifero può fornire molti parametri interessanti, tra cui la stratificazione e fluttuazione della temperatura. Talvolta è interessante conoscere la composizione chimica dell’acqua, in questo caso non è di interesse perché non viene prelevata acqua dal sottosuolo, essendo quello in esame un circuito chiuso.

Considerando i parametri della città di Torino, si può notare come siano influenzati dalla presenza del fiume Po. L’acquifero viene alimentato dalle precipitazioni e in minor parte dai fiumi del settore superiore della pianura. La massa d’acqua di falda confluisce in bacini di raccolta: il fiume Po, e gli altri fiumi del settore inferiore. La profondità dell’acquifero segue l’altezza della superficie topografica che varia tra 1 e 50 metri, con minimi nei settori alti della pianura (Ferina).

Le analisi di temperatura sono state condotte su acquiferi superficiali. I risultati della raccolta dati e degli studi hanno rilevato una temperatura media intorno i 14°C, che subisce però delle fluttuazioni nella parte superficiale durante l’anno. Si può notare da analisi sul gradiente termico che si ha un innalzamento da sud-ovest a nord-est del Piemonte, seguendo la direzione del flusso dell’acqua di falda (Bucci, Barbero, Lasagna, Forno, & De Luca, 2017).

Durante il periodo primaverile si riscontrano valori più bassi nella temperatura dell’acqua di falda superficiale, perché il sottosuolo risente della stagione invernale. Per lo stesso motivo stagionale sono stati registrati invece valori più alti nella falda superficiale a conclusione della stagione estiva, come si può vedere nell’immagine seguente (Bucci, Barbero, Lasagna, Forno, & De Luca, 2017).

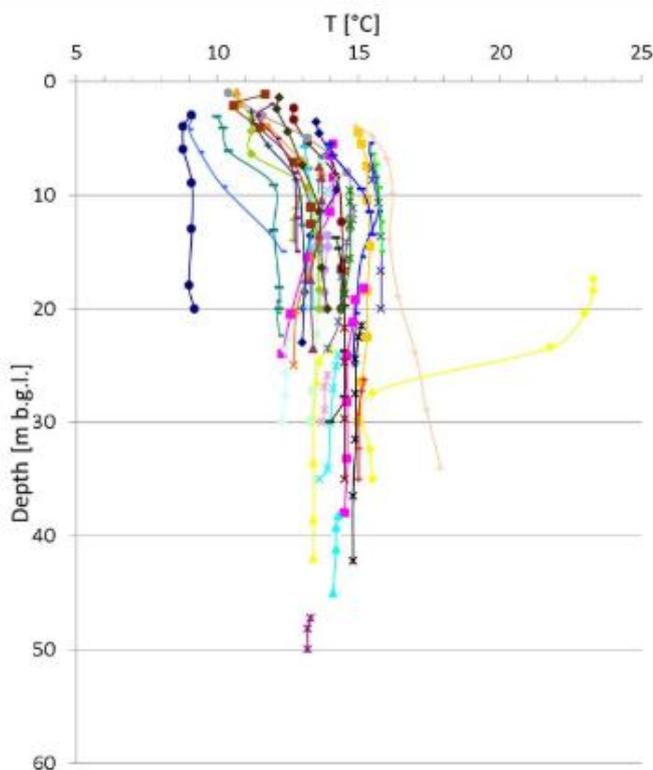


Figura 22 - Andamento della temperatura in funzione della profondità, periodo primaverile

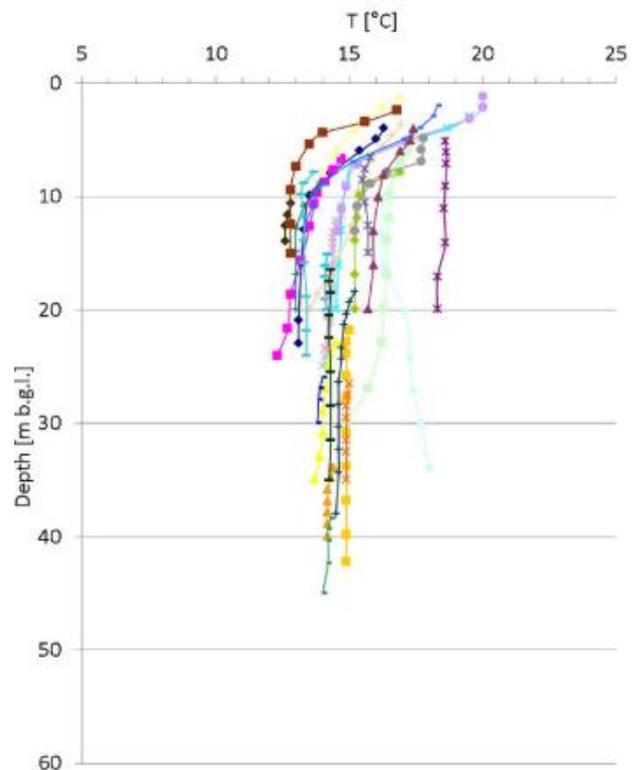


Figura 23 - Andamento della temperatura in funzione della profondità, periodo autunnale

Si può notare come la temperatura, superata una fascia di profondità intorno ai 10 metri, si attesti per l'intero arco dell'anno intorno a 14-15°C, questo significa che il territorio è favorevole all'installazione di pompe di calore geotermiche, che al contrario sarebbero di difficile installazione nel caso di temperature oscillanti per una profondità maggiore.

Nonostante la propensione della zona all'installazione di sistemi geotermici, forse anche per la normativa carente in questo ambito, per ora non sono molto utilizzati.

È stato realizzato inoltre uno studio più puntuale sulla temperatura dell'acqua di falda proprio in prossimità delle zone che saranno attraversate dal tunnel della metropolitana 2. Sono state condotte delle misure nel novembre 2018, per lo studio di fattibilità dell'opera, sono state quindi individuate 3 classi termiche:

- Classe 1: $T < 15^{\circ}\text{C}$
- Classe 2: $15 < T < 16^{\circ}\text{C}$
- Classe 3: $T > 16^{\circ}\text{C}$

Si riporta nel seguito un'immagine rappresentativa della suddivisione in classi di parte del tracciato.

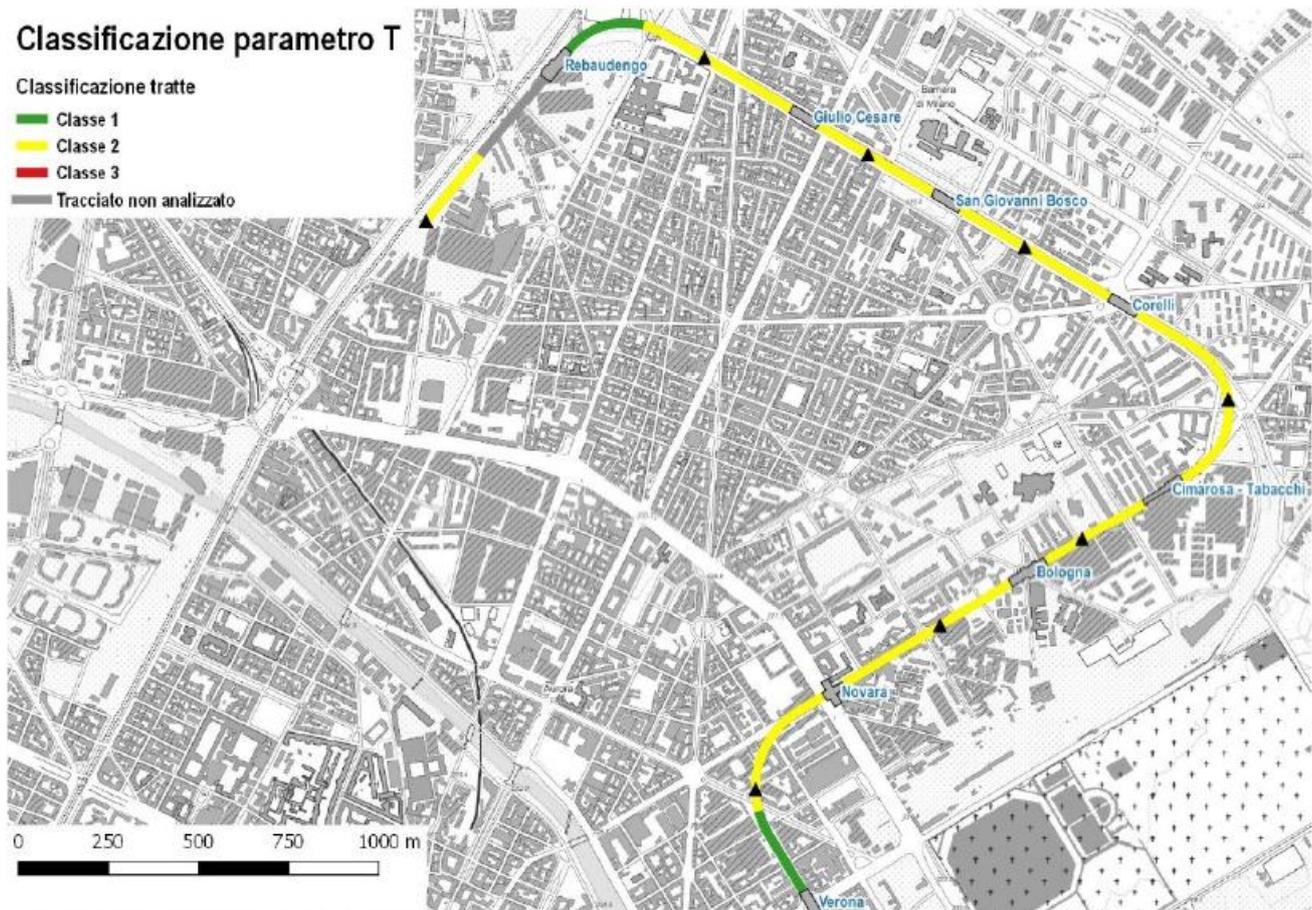


Figura 24 - Planimetria del tracciato e suddivisione in classi in funzione alla temperatura di falda

Il livello di dettaglio richiesto ha previsto la classificazione della tratta in altri 4 parametri, in funzione delle caratteristiche idro-geologiche, si è reso necessario differenziare per i due casi di possibile scavo.

Classificazione dei tratti di metropolitana scavati con la modalità TBM:

- F: posizione galleria rispetto a falda [m]
- DF: direzione flusso falda [°]
- I: gradiente di flusso [%]
- Geo: unità geologiche stratigrafiche

Classificazione dei tratti di metropolitana scavati con la modalità C&C:

- F: posizione diaframma rispetto a falda [m]
- DF: direzione flusso falda [°]
- I: gradiente di flusso [%]
- Geo: unità geologiche stratigrafiche

Come si può vedere la parametrizzazione è la medesima per le due modalità di scavo, eccetto per la classificazione "F", che varia in funzione delle caratteristiche costruttive del tunnel, che andrà a calzare la trincea scavata.

Per entrambi i casi di conformazione e posizionamento del tunnel sono stati identificati due modelli a cui si farà riferimento: "modello più favorevole" e "modello meno favorevole". Nel primo caso tutti i parametri ricadono nella prima classe (flusso di falda sostenuto e ortogonale al tracciato, superficie freatica al di sopra della calotta, materiale con buona capacità di scambio termico, velocità del flusso ottimale), il modello meno favorevole è caratterizzato da alcuni parametri che ricadono nella terza classe (flusso parallelo al tracciato, scarsa capacità termica, velocità del flusso bassa ecc..).

Tutte le tratte sono state assimilate al modello più favorevole o modello meno favorevole per ricavare, attraverso modelli numerici, il calore estraibile da ogni configurazione.

Il potenziale geotermico ricavabile dalle tratte di metropolitana che si trovano in corrispondenza della zona Rebaudengo è uguale a 0,3 MW termici, costante per l'intero arco del periodo di riscaldamento.

Il potenziale geotermico delle tratte limitrofe ad Ex Scalo Vanchiglia è uguale a 1,3 MW termici, costante per l'intero anno.

6 Produzione da pompe di calore

Conosciuta la quantità di calore che i tratti di metropolitana riescono a cedere in assetto invernale si devono fare alcune considerazioni sul tipo di impianto che si potrà andare ad implementare. Il calore, come detto, deve essere utilizzato per il ciclo di una/più pompa/e di calore. Il progettista può scegliere di installare una sola pompa di grossa taglia, o più pompe di minor kW. Inoltre, occorrerà valutare in sede di progetto definitivo la collocazione dei componenti per ottimizzare l'accoppiamento del circuito di teleriscaldamento e scambiatore geotermico, cioè gli anelli provvisti di concii Enertun.

Le pompe di calore sono macchine in grado di compiere un ciclo termodinamico in cui si può ottenere il trasferimento del calore da una sorgente a temperatura inferiore T_2 ad una sorgente a temperatura maggiore T_1 , grazie alla fornitura di lavoro, sotto forma di energia elettrica, L .

L'effetto utile è dato dal calore ricevuto dalla sorgente T_1 .

L'efficienza o COP di questo tipo di macchina è dato da:

$$COP = \frac{Q_1}{L}$$

$$Q_1 = Q_2 + L,$$

Quindi risulterà: $COP = 1 + \frac{Q_2}{L}$.

Il DISEG del Politecnico di Torino, ha portato avanti dei test sul ciclo di funzionamento delle pompe di calore per ricercare quale si accoppiasse correttamente con l'impianto, e per la ricerca del suo punto di funzionamento, conoscendo le temperature del fluido termovettore. Sono state analizzate diverse PdC presenti sul mercato con caratteristiche adeguate. Le pompe analizzate sono prodotte da case come Dimplex, Aermec, HiRef. Il risultato dello studio è riportato nella tabella seguente (DISEG - POLITECNICO DI TORINO).

Temperatura Eva. [°C]	Temperatura Cond. [°C]	Temperatura Rete [°C]	Potenza Cond. [kW]	Potenza Eva. [kW]	Potenza Compressore [kW]	Portata Refrigerante [kg/s]	COP [-]
4	60	55		190.5	70.5	1.5	3.6
4	50	45	254	204.8	54.7	1.4	4.6
4	40	35		216.9	41.2	1.3	6.1
4	30	25		227.9	29.0	1.2	8.7
2	60	55		188.0	73.4	1.5	3.5
2	50	45	254	202.4	57.3	1.4	4.4
2	40	35		214.7	43.7	1.3	5.8
2	30	25		225.8	31.4	1.2	8.0
0	60	55		185.5	76.2	1.5	3.3
0	50	45	254	200.0	60.0	1.3	4.2
0	40	35		212.4	46.2	1.3	5.5
0	30	25		233.6	33.8	1.2	7.5

Figura 25 - Analisi di funzionamento della pompa di calore

Come si può vedere dalla tabella la configurazione prevede temperatura dell'evaporatore a 4°C, del condensatore a 50°C e della rete a 45°C. Il COP è uguale a 4,6.

A questo punto è possibile ricavare la potenza che la pompa di calore può fornire alla rete. Per la zona Rebaudengo il calore fornibile è 0,38 MW, per la zona Ex Scalo Vanchiglia è 1,66 MW.

La grande differenza di calore estratto da una zona e da un'altra è la presenza di concetti Enertun (Ex Scalo Vanchiglia) e diaframmi energetici (Rebaudengo), i primi, come detto sono molto più produttivi degli altri.

Il lavoro ivi esposto non considera il calore ad alta temperatura che è possibile ricavare, sebbene alcuni studi paralleli cerchino di studiarne l'applicabilità. Si tratta del calore che non è possibile accoppiare con la richiesta da parte dell'utenza, e quindi viene rilevato con una differente pompa di calore che lavora a temperature differenti rispetto la prima, e riesce a produrre calore ad alta temperatura da far recapitare ad altre utenze, come ad esempio le esistenti che utilizzano sorgenti di emissione ad alte temperature (radiatori, aereotermi, ecc.).

7 Accoppiamento richiesta-offerta

Questo capitolo finale si può dire essere il nocciolo dello studio qui esposto. Verrà trattato un confronto tra la richiesta di energia della rete e l'offerta delle pompe di calore.

Fin qui sono stati ricavati tutti gli ingredienti necessari per la seguente analisi finale.

Per il calcolo della potenza effettivamente richiesta è necessario moltiplicare le cumulate in W/m^3 per i m^3 delle zone considerate. Questo darà un valore in W che si può confrontare con la potenza offerta dalle pompe geotermiche.

7.1 Rebaudengo

Si allega il grafico con le due curve: offerta della rete e richiesta alla rete, più vi è la curva di utilizzabilità. Non tutto il calore offerto dalle PdC si riesce ad impiegare per soddisfare la richiesta, una parte è in surplus.

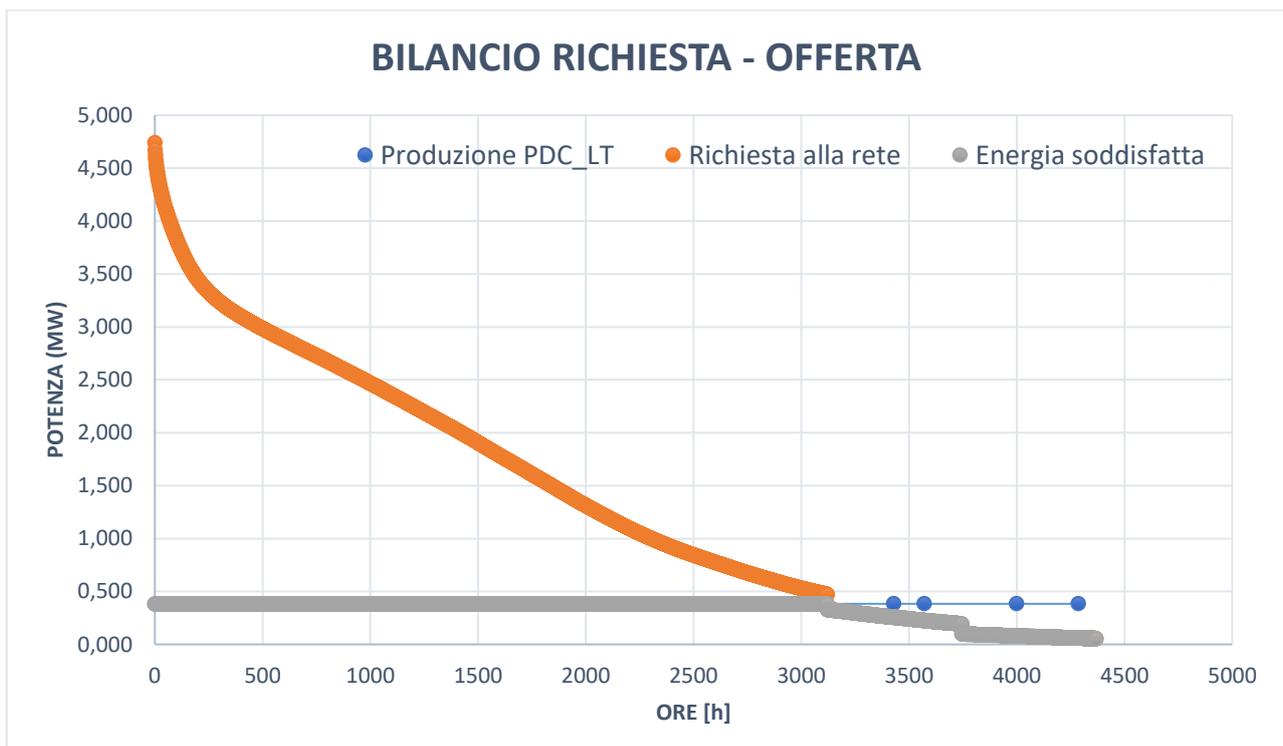


Figura 26 - Bilancio richiesta-offerta, zona Rebaudengo

Si è realizzata una tabella di bilancio tra energia offerta ed energia utilizzabile in GWh, dalle utenze, come detto in precedenza non tutto l'apporto fornito dalle PdC è utilizzabile a causa del loro sfasamento in tempo.

Tabella 61 - Tabella di bilancio offerta-richiesta, zona Rebaudengo

Richiesta alla rete [GWh]	Energia offerta PdC [GWh]	Energia utile [GWh]	Percentuale utile [%]	Differenza da integrare [GWh]	Surplus [GWh]	Energia elettrica [GWh]
6,14	1,92	1,41	23%	4,73	0,51	1,67

La tabella mostra come la richiesta che riesce a soddisfare la struttura geotermica è circa $\frac{1}{4}$, valore interessante considerando che è energia con basso costo e basse emissioni. Comunque, occorre integrare una parte considerevole (4,73 GWh). Il surplus non è molto pesante nel bilancio, tuttavia è energia che bisogna rimpiegare, magari utilizzandola per ACS, o per riscaldare zone limitrofe.

A titolo di pura curiosità si allega il grafico della curva di richiesta di energia se le utenze che si andranno a costruire avessero la stessa classe energetica di edifici esistenti. Inoltre, si trascura che la richiesta di calore sarebbe a temperatura molto maggiore nel caso di edifici esistenti, questo significa rendimenti molto più bassi.

Lo scopo di questo grafico è mettere in rilievo il beneficio nell'investire in qualità degli involucri ed efficientamento energetico, a cui poi automaticamente segue una maggiore utilizzabilità delle risorse rinnovabili.

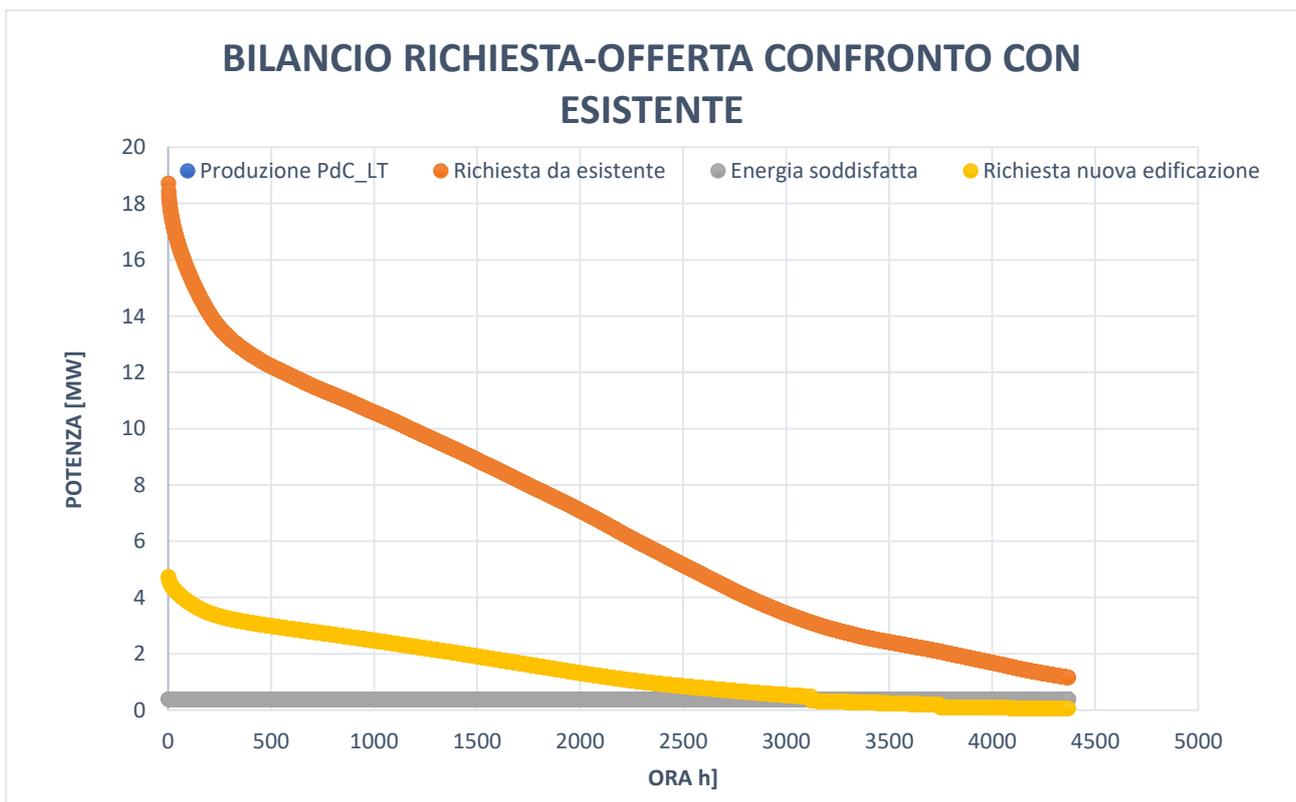


Figura 27 - Bilancio richiesta-offerta e confronto con consumi da esistente, zona Rebaudengo

7.2 Ex Scalo Vanchiglia

Si è visto che la zona Ex Scalo Vanchiglia è molto più produttiva in termini di calore, infatti si riesce ad estrarre oltre 4 volte la quantità di calore della zona Rebaudengo. Questo permette di coprire una fetta molto più considerevole della richiesta della rete. Si vede nel grafico seguente la conformazione delle curve di richiesta e offerta, e successivamente in tabella il confronto in termini di energia.

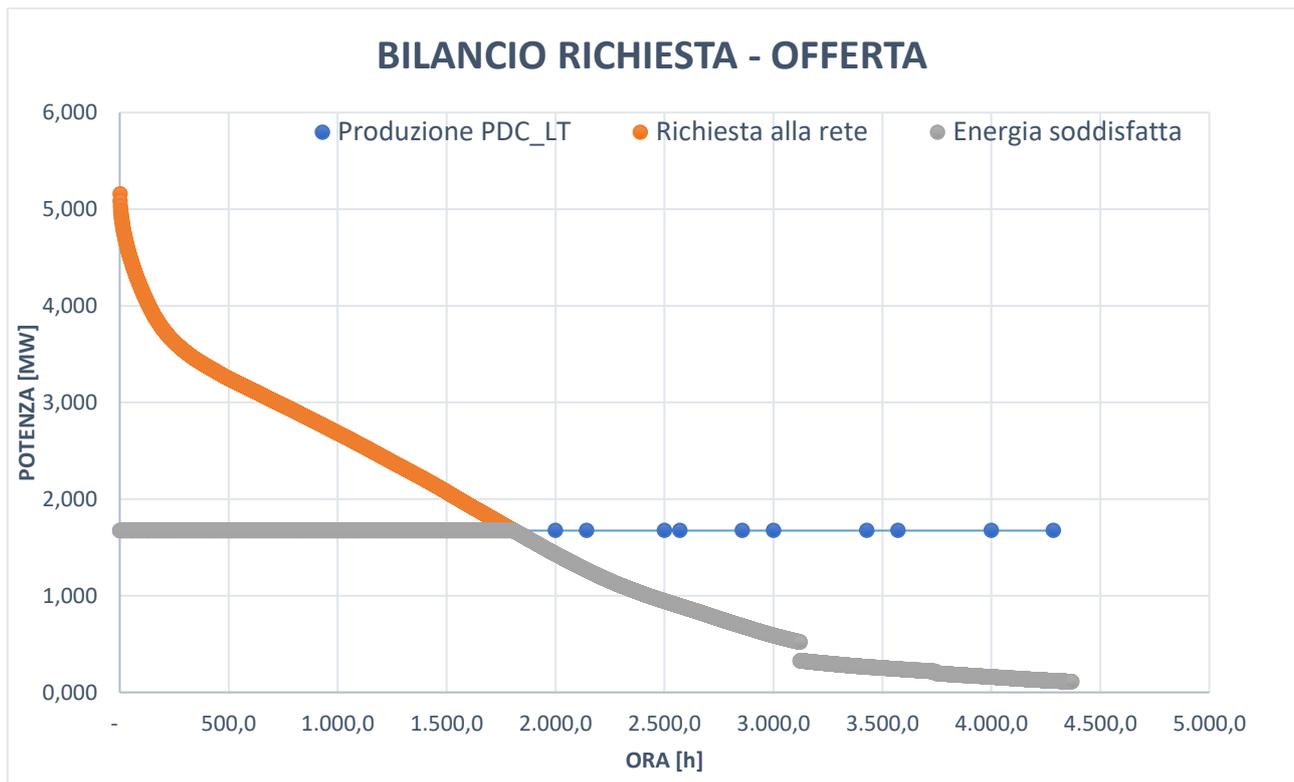


Figura 28 - Bilancio richiesta-offerta, zona Ex Scalo Vanchiglia

Richiesta alla rete	Energia offerta PdC	Energia soddisfatta	Percentuale soddisfatta	Differenza da integrare	Surplus	Energia elettrica
[GWh]	[GWh]	[GWh]	[%]	[GWh]	[GWh]	[GWh]
6,72	7,31	4,62	68%	2,11	2,70	7,33

Figura 29 - Tabella di bilancio offerta-richiesta, zona Ex Scalo Vanchiglia

Addirittura, l'area di offerta da parte delle PdC è superiore all'area sottesa dalla curva di richiesta, purtroppo a causa dello sfasamento orario, anche in questo caso è necessario fare un'integrazione di energia, molto più esigua però del caso Rebaudengo. Il surplus è una porzione di energia importante, a cui occorrerà trovare un impiego.

Parimenti come fatto per la zona Rebaudengo viene immaginato un caso in cui le zone di nuova edificazione avessero necessità di potenza ed energia come quelle esistenti. Anche in questo caso si vede l'enorme differenza di area sottesa tra la curva grigia e quella arancione.

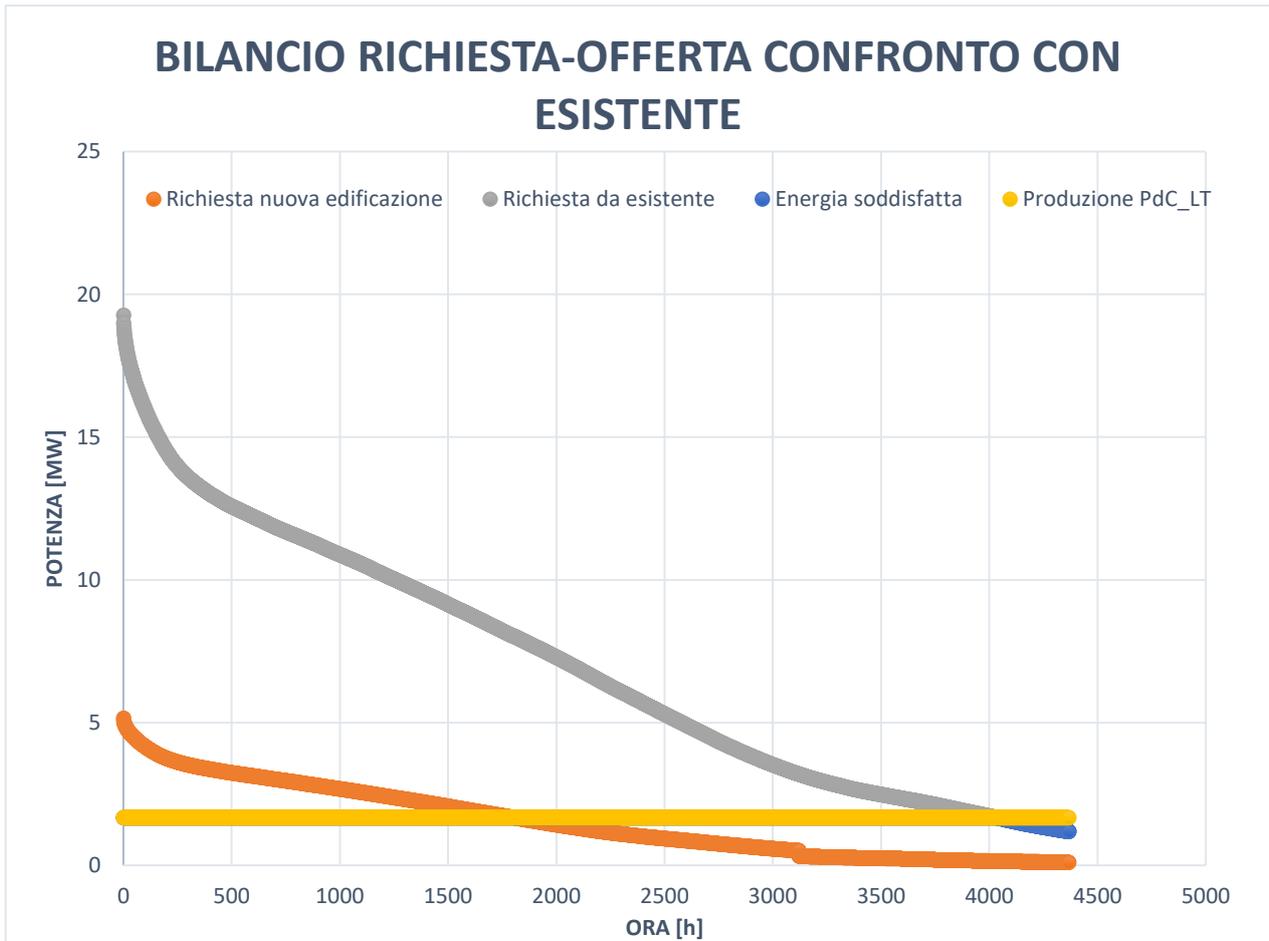


Figura 30 - Bilancio richiesta-offerta e confronto con consumi da esistente, zona Ex Scalo Vanchiglia

8 Conclusioni

Il presente studio ha esaminato la richiesta di energia e potenza di alcune aree di nuova edificazione, l'installazione di geostrutture energetiche nel tunnel della metropolitana 2 e l'accoppiamento tra la richiesta delle utenze e l'offerta, ricavabile dall'impianto a pompe di calore.

Il lavoro ha richiesto lo sviluppo di tre fasi distinte: la prima, a cui si è dato maggiore peso, è stata la costruzione della curva di richiesta effettiva delle utenze. È stato necessario ipotizzare in maniera dettagliata la struttura, occupazione e ripartizione interna dei locali. Inoltre, si è voluto andare oltre i dati di temperatura e gradi giorno normati per ricercare valori effettivi di consumo che permettessero il più possibile di avvicinarsi alla reale richiesta. Questa prima parte che si può dire essere stata totalmente sperimentale, ha richiesto l'introduzione di una serie di ipotesi e il riferimento a normative, Decreti Ministeriali, Piani Regolatore, oltre l'utilizzo di alcuni software come QGIS, MasterClima, PVGIS etc.

Si è potuto vedere che l'utilizzo della cumulata esistente (2001-2011) non si accoppia in alcuni casi con i calcoli fatti: in particolare nel caso di terziario commerciale si è visto che l'errore non può essere ricondotto ad approssimazioni, essendo oltre il 20%. Quindi occorrerà, in studi successivi, implementare un calcolo totalmente differente che riesca a tenere in conto della differenza di caratteristiche tra il caso di edifici esistenti multipiano e il caso di capannoni di 6 metri di altezza.

I risultati per quanto riguarda il caso residenziale e terziario servizi sono soddisfacenti e i valori di cumulata si riescono quasi a sovrapporre con quelli da normativa (meno del 10% di errore), considerando la limitatezza del calcolo in quanto nel caso di normativa si programma un funzionamento ideale, il calcolo da cumulata si riferisce a casi reali sebbene con molte differenze rispetto i casi che si sono studiati.

La seconda parte della tesi si è basata principalmente sullo studio di documenti preesistenti, essendo l'argomento più affine al ramo di Ingegneria Strutturale e Geotecnica. Questa parte è idealmente suddivisa ancora in due sottoparti, la prima ha richiesto la conoscenza delle caratteristiche geomorfologiche della zona in cui verrà scavato il tunnel, nella seconda parte si è studiata l'installazione dei conci Enertun. In questa fase si è fatto riferimento a documenti del DISEG, e del Prof. Barla, detentore del brevetto in questione.

Nella terza parte si è calcolato il calore effettivamente ricavato da questo tipo di impianto, per confrontarlo in termini integrali e non, con il calore richiesto dalle utenze.

Come si è visto nei precedenti paragrafi il calore estratto con le modalità sopra descritte copre una quantità modesta di energia richiesta dalle utenze, circa il 23% per la zona Rebaudengo e il 68% per la zona Ex Scalo Vanchiglia.

Il lavoro da fornire alle pompe di calore, in termini di energia elettrica, è sicuramente considerevole. Tuttavia, l'energia elettrica è la sola fonte che occorre acquistare, non si deve aggiungere alcun costo per la materia prima energia. Inoltre, sistemi del genere hanno costi di manutenzione relativamente bassi, dal momento che i componenti esposti ad usura sono esclusivamente la sola PdC e le pompe di circolazione del fluido termovettore al primario e secondario, che hanno le loro specifiche modalità di monitoraggio e manutenzione.

Anche guardando da un punto di vista ambientale ci si rende conto che l'utilizzo di un sistema del genere ha svariati vantaggi: come detto l'unica fonte energetica di cui approvvigionarsi è l'energia elettrica. Inoltre, in una visione più ampia di Life Cycle Analysis, prendendo in considerazione l'installazione si può notare che non prevede alcuna opera di scavo o struttura da costruire ex novo ma si serve di una struttura esistente. L'assenza di fasi di costruzione e la possibilità di generare l'energia elettrica attraverso fonti rinnovabili, fanno risultare la fornitura di calore alle utenze a emissioni quasi zero.

Nell'offerta da parte dell'impianto è presente un surplus che può essere destinato ad altri usi o ad altre utenze, dato dal fatto che l'offerta da geostruttura è costante durante l'intero periodo di riscaldamento, invece la richiesta di potenza varia in funzione delle ore: nella coda della cumulata la richiesta si appiattisce sempre più fino a toccare valori di richiesta di potenza prossimi allo zero.

Una parte considerevole di calore deve essere integrata con fonti esterne. Tuttavia, grazie al fatto che le utenze sfruttano calore a bassa temperatura si può ricavare in maniera piuttosto semplice. In pratica, vista la scarsa pregevolezza del calore a temperature inferiori a 50°C, qualunque processo industriale o di produzione riesce a fornirlo.

È da notare che costruire edifici con le norme attuali vigenti rende possibile lo sfruttamento di risorse come il calore geotermico, e rinnovabili in generale. Si è visto il confronto nel caso di richiesta da utenze preesistenti; in quel caso la percentuale di potenza che si riesce a fornire è così irrisoria rispetto la potenza richiesta che sicuramente occorrerà un'analisi economica dettagliata che possa chiarire se ci sia o meno beneficio investendo in un impianto del genere.

È da considerare anche che i valori utilizzati di trasmittanza e ampiezza delle superfici finestrate, nel caso terziario servizi, sono limite. Il costruttore potrebbe decidere di investire maggiormente in efficientamento energetico e qualità degli involucri per far decrescere la richiesta di potenza ed energia, così facendo si aumenterebbe la quota che è possibile coprire con la geostruttura. Inoltre, ad ora, le prime ipotesi di progetto prevedono che gli edifici siano singoli, non confinanti da nessun lato con altri edifici, questo incrementa le superfici disperdenti con conseguente aumento della classe energetica, quindi dei kWh/m² per riscaldare. Un'altra possibile configurazione potrebbe essere l'avvicinamento di edifici, che confinerebbero per uno o più lati con altri edifici adiacenti, questo ridurrebbe le superfici disperdenti.

Ad ora si ipotizza che il calore prelevato dalle tratte di metropolitana in corrispondenza della zona Rebaudengo non possa essere reindirizzato alle utenze della zona Ex Scalo Vanchiglia, e viceversa, questo è dovuto alla grande distanza che intercorre tra le due aree e alla mancanza di un collegamento per il trasporto del calore (ramo del teleriscaldamento a bassa temperatura). Nel caso si decidesse di mettere in pratica questa soluzione costruttiva ci sarebbe un grande risparmio di energia e, la zona più produttiva, in termini di calore, potrebbe sopperire parte dell'esigenza dell'altra zona.

Questa tipologia impiantistica permette ancora molti studi, che si raffineranno man mano che si sapranno più informazioni riguardo le caratteristiche costruttive delle utenze e dell'impianto. Con la buona riuscita di un progetto del genere, Torino si collocherà come pioniera nell'utilizzo di questo tipo di geostruttura, altamente innovativa, che potrebbe dare il via a nuovi progetti in tutto il mondo.

9 Bibliografia

- Barla, &. D. (2016b). *Brevetto n. 102016000020821*.
- Barla, M., & Insana, A. (s.d.). Energy Tunnel Segmental Lining: an Experimental Site in Turin Metro.
- Bucci, A., Barbero, D., Lasagna, M., Forno, M., & De Luca, D. (2017). Shallow groundwater temperature in the Turin area (NW Italy): vertical distribution and anthropogenic effects. *Research Gate*.
- CITTA' DI TORINO SERVIZIO TELEMATICO PUBBLICO. (s.d.). Tratto da http://www.comune.torino.it/ucstampa/comunicati/article_65.shtml.
- Città di Torino, Divisione Urbanistica ed edilizia privata via Meucci n°4, Variante n. 200 al Prg. (s.d.). Tratto da http://geoportale.comune.torino.it/web/sites/default/files/mediafiles/46_Osservazioni_Controdeduzioni_allegato_53.pdf.
- Cugno, A., Noussan, M., Cerino Abdin, G., & Poggio, A. (2012). *Simulation of district heating operation with heat storage system*.
- Decreto del Ministero dello sviluppo economico. (2015, 06 26). *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi*.
- Decreto del Ministero dello Sviluppo economico, Appendice A. (2015, 06 26). *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi*.
- Decreto del Ministro dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del mare, CAM EDILIZIA. (2017, 10 11). *Affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici*.
- Decreto del Presidente della Repubblica, n. 412. (1993, 08 26). *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della legge 9 gennaio 1991, n. 10*.
- Decreto del Presidente della Repubblica, n. 412 Allegato A. (1993, 08 26). *Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici ai fini del contenimento dei consumi di energia*.
- Decreto Ministeriale Sanità. (1975, 07 05). *MODIFICAZIONI ALLE ISTRUZIONI MINISTERIALI 20 GIUGNO 1896 RELATIVAMENTE ALL'ALTEZZA MINIMA ED AI REQUISITI IGIENICO*.
- Di Bella, L. (s.d.). Valutazioni energetiche e proposta di intervento sull'impianto di climatizzazione di un grande complesso edilizio.
- DISEG - POLITECNICO DI TORINO. (s.d.). Studio dell'integrazione della galleria energetica (calore a bassa temperatura) nei sistemi di teleriscaldamento.
- Ferina, D. (s.d.). Geostrutture energetiche a bassa temperatura: integrazione in sistemi di teleriscaldamento. *Tesi di Laurea Magistrale*.
- Google Maps. (s.d.). Tratto da <https://www.google.it/maps/place/Torino+TO/@45.0790026,7.6890787,6901m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47886d126418be25:0x8903f803d69c77bf!8m2!3d45.070312!4d7.6868565>.

I.STAT. (s.d.). Tratto da <http://dati.istat.it/#>.

MasterClima MC11300 ver. 3.29 CE/PE. (s.d.).

Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare. (s.d.).

https://www.minambiente.it/sites/default/files/archivio/allegati/GPP/allegato_tec_CAMedilizia.pdf
f. Tratto da CAM EDILIZIA.

Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). (s.d.). (C. European, Produttore) Tratto da https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/it/tools.html#HR.

Piano Regolatore Generale di Torino Norme Urbanistico Edilizie di Attuazione Volume II schede normative. (2018, 01 01). *CITTA' DI TORINO - DIREZIONE URBANISTICA*.

QGIS. (s.d.).

Rossi, N. (2014). *MANUALE del TERMOTECNICO quarta edizione*. ULRICO HOEPLI MILANO.

Slides corso Geothermal energy. (s.d.).

Strategia e obiettivi climatici - Commissione europea. (s.d.). Tratto da https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030_it.

Strategia ed obiettivi climatici - Commissione europea. (s.d.). Tratto da https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_it.

Terna Group. (2018). *Consumi*.

UNI 10339. (1995, 06). *Impianti aeraulici a fini di benessere*.

UNI 10339 Appendice A. (1995, 06). *Impianti aurealici a fini di benessere*.

UNI 11300-Parte 1. (2014, 10 2). *Prestazione energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climattizzazione estiva e invernale*.

UNI 11300-Parte 1, appendice D. (2014).

UNI EN ISO 13791. (s.d.).

UNI/TS 11300 - Parte 2. (2014).

10 Allegati

10.1 Calcolo edifici tipo per ogni lotto

10.1.1 Rebaudengo

Tabella 62 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Docks Dora

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	200	4268	1
Terziario servizi	400	38410	4

Tabella 63 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto FS 1

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	400	46790	5
Terziario servizi	400	20050	2
Terziario commerciale	22280	133680	1

Tabella 64 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto FS 2

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	200	3296	1
Terziario servizi	200	3959	1
Terziario commerciale	881	5285	1

Tabella 65 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Gondrand-Metallurgica Piemontese

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	600	74740	5
Terziario servizi	400	24880	3
Terziario commerciale	2385	14310	1

Tabella 66 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Lauro Rossi

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	400	10340	1
Terziario servizi	400	2585	1

Tabella 67 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Breglio

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
--------------------	---	---------------------------------	--------------

<i>Residenziale</i>	400	30160	3
<i>Terziario servizi</i>	400	7540	1

10.1.2 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 68 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Regaldii

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m²]	Volume totale [m³]	n.ro edifici
<i>Residenziale</i>	800	145850	7
<i>Terziario servizi</i>	600	97230	6

Tabella 69 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Ceat

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m²]	Volume totale [m³]	n.ro edifici
<i>Residenziale</i>	600	58980	4
<i>Terziario servizi</i>	200	5129	1

Tabella 70 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Amalfi

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m²]	Volume totale [m³]	n.ro edifici
<i>Terziario servizi</i>	400	4504	1
<i>Terziario commerciale</i>	1001	6005	1

Tabella 71 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Buscalioni

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m²]	Volume totale [m³]	n.ro edifici
<i>Terziario servizi</i>	400	8412	1
<i>Terziario commerciale</i>	200	2103	1

Tabella 72 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 1

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m²]	Volume totale [m³]	n.ro edifici
<i>Residenziale</i>	400	19870	4
<i>Terziario servizi</i>	400	3084	1

Tabella 73 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 2

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m²]	Volume totale [m³]	n.ro edifici
<i>Terziario servizi</i>	400	11110	4

Tabella 74 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 3

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	400	8856	3
Terziario servizi	400	3411	1
Terziario commerciale	2498	14990	1

Tabella 75 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Zerboni

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Terziario servizi	200	3749	1
Terziario commerciale	1250	7497	1

Tabella 76 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Lanificio di Torino

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Terziario servizi	400	20450	2
Terziario commerciale	7383	44300	1

Tabella 77 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Ferrari

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	400	10790	2
Terziario servizi	200	2696	1

Tabella 78 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Bologna

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	600	73290	5
Terziario servizi	400	5496	1
Terziario commerciale	1221	7329	1

Tabella 79 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Nebiolo

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	600	65440	4
Terziario servizi	400	16360	2

Tabella 80 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Cimarosa

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Terziario servizi	400	7435	1

Tabella 81 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 1

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Terziario servizi	600	35070	7

Tabella 82 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 2

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Terziario servizi	600	18320	3

Tabella 83 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto F.S. Scalo Vanchiglia

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	400	12030	2
Terziario servizi	400	14440	2
Terziario commerciale	1203	7217	1

Tabella 84 - Numero edifici tipo per destinazione d'uso, lotto Gottardo

DESTINAZIONE D'USO	Superficie realizzabile [m ²]	Volume totale [m ³]	n.ro edifici
Residenziale	400	16488	2
Terziario servizi	400	10992	1

10.2 Verifica coefficiente globale di scambio termico H_T

10.2.1 Rebaudengo

Tabella 85 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H_T' per le tre destinazioni d'uso, lotto Docks Dora

Verifica coefficiente globale di scambio termico H_T'				
MASSIMO H_T' AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75	
S/V	0,7	0,5	0,35	
Residenziale	0,35	0,41	0,47	
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74	

Tabella 86 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H_T' per le tre destinazioni d'uso, lotto FS 1

Verifica coefficiente globale di scambio termico H_T'				
MASSIMO H_T' AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75	
S/V	0,7	0,5	0,35	
Residenziale	0,35	0,38	0,43	
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74	
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26	

Tabella 87 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto FS 2

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 88 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Gondrand-Metallurgica Piemontese

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,10	0,03

Tabella 89 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Lauro Rossi

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 90 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Breglio

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

10.2.2 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 91 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Regaldi

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,44
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 92 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Ceat

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35

Residenziale	0,35	0,38	0,44
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 93 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Amalfi

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m²K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 94 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Buscalioni

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m²K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,44
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 95 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 1

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m²K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,32	0,71
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 96 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 2

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m²K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 97 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 3

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m²K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,34	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,66
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 98 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Zerboni

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 99 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Lanificio di Torino

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 100 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Ferrari

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 101 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Bologna

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,44
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 102 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Nebiolo

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,44
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 103 - Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Cimarosa

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 104 -Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 1

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,66

Tabella 105 -Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 2

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

Tabella 106 -Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto F.S. Scalo Vanchiglia

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,35	0,38	0,43
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74
Terziario commerciale	0,26	0,26	0,26

Tabella 107 -Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T per le tre destinazioni d'uso, lotto Gottardo

Verifica coefficiente globale di scambio termico H'_T			
MASSIMO H'_T AMMISSIBILE [W/m ² K]	0,50	0,55	0,75
S/V	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,33	0,36	0,41
Terziario servizi	0,49	0,54	0,74

10.3 Richiesta di potenza per trasmissione e ventilazione

10.3.1 Rebaudengo

Tabella 108 - Richiesta di potenza totale, lotto Docks Dora

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	25	22	20
Terziario servizi	524	471	476

Tabella 109 - Richiesta di potenza totale, lotto FS 1

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	346	285	239
Terziario servizi	301	264	259
Terziario commerciale	983	809	678

Tabella 110 - Richiesta di potenza totale, lotto FS 2

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	23	18	15
Terziario servizi	58	51	49
Terziario commerciale	31	24	19

Tabella 111 - Richiesta di potenza totale, lotto Gondrand-Metallurgica Piemontese

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	553	456	383
Terziario servizi	374	328	321
Terziario commerciale	105	87	73

Tabella 112 - Richiesta di potenza totale, lotto Lauro Rossi

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	77	63	53
Terziario servizi	39	34	32

Tabella 113 - Richiesta di potenza totale, lotto Breglio

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	214	174	145
Terziario servizi	110	96	94

10.3.2 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 114 - Richiesta di potenza totale, lotto Regaldi

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1056	866	723
Terziario servizi	1442	1264	1237

Tabella 115 - Richiesta di potenza totale, lotto Ceat

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Residenziale	490	404		340
Terziario servizi	86	75		74

Tabella 116 - Richiesta di potenza totale, lotto Amalfi

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Terziario servizi	67	62		57
Terziario commerciale	28	20		14

Tabella 117 - Richiesta di potenza totale, lotto Buscalioni

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Residenziale	51	42		35
Terziario servizi	27	24		24

Tabella 118 - Richiesta di potenza totale, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 1

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Residenziale	147	121		102
Terziario servizi	46	45		36

Tabella 119 - Richiesta di potenza totale, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 2

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Terziario servizi	96	79		68

Tabella 120 - Richiesta di potenza totale, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 3

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Residenziale	65	54		45
Terziario servizi	51	47		44
Terziario commerciale	110	90		75

Tabella 121 - Richiesta di potenza totale, lotto Zerboni

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]			
	0.7	0.5	0.35	
Terziario servizi	50	46		44
Terziario commerciale	48	40		34

Tabella 122 - Richiesta di potenza totale, lotto Lanificio di Torino

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	176	149	129
Terziario commerciale	203	146	102

Tabella 123 - Richiesta di potenza totale, lotto Ferrari

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	80	66	55
Terziario servizi	40	36	35

Tabella 124 - Richiesta di potenza totale, lotto Bologna

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	546	450	378
Terziario servizi	83	76	70
Terziario commerciale	54	44	37

Tabella 125 - Richiesta di potenza totale, lotto Nebiolo

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	487	402	338
Terziario servizi	246	216	211

Tabella 126 - Richiesta di potenza totale, lotto Cimarosa

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	112	98	96

Tabella 127 - Richiesta di potenza totale, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 1

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	527	463	428

Tabella 128 - Richiesta di potenza totale, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 2

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	275	260	237

Tabella 129 - Richiesta di potenza totale, lotto F.S. Scalo Vanchiglia

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	93	77	65
Terziario servizi	217	190	186
Terziario commerciale	53	43	36

Tabella 130 - Richiesta di potenza totale, lotto Gottardo

S/V	Richiesta di potenza complessiva [kW]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	123	101	85
Terziario servizi	165	145	142

10.4 Fabbisogno di energia complessivo

10.4.1 Rebaudengo

Tabella 131 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Docks Dora

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	74810	65180	55284
Terziario servizi	976015	856943	839001

Tabella 132 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto FS 1

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	820118	675479	567000
Terziario servizi	509503	447345	437978
Terziario commerciale	1995855	1641638	1375975

Tabella 133 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto FS 2

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	57658	47470	39829
Terziario servizi	100587	88316	86467
Terziario commerciale	78904	64900	54398

Tabella 134 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Gondrand-Metallurgica Piemontese

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1310921	1079868	906578
Terziario servizi	632134	555015	543394
Terziario commerciale	213615	117378	88944

Tabella 135 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Lauro Rossi

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	181381	149412	125436
Terziario servizi	50744	42654	38372

Tabella 136 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Breglio

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	528990	435754	365827
Terziario servizi	122834	99461	95939

10.4.2 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 137 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Regaldi

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	2571704	2120854	1782716
Terziario servizi	2118807	1817415	1772000

Tabella 138 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Ceat

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1040023	857695	720949
Terziario servizi	81206	65308	62912

Tabella 139 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Amalfi

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	114111	100897	98366
Terziario commerciale	89069	73158	61225

Tabella 140 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Buscalioni

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	148237	122233	102730
Terziario servizi	37136	30617	29519

Tabella 141 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 1

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	348900	249697	356905
Terziario servizi	78360	68800	67360

Tabella 142 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 2

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	70566	61957	60660

Tabella 143 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambito 3

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	154599	127223	106690
Terziario servizi	86668	76095	70446
Terziario commerciale	222316	182603	152818

Tabella 144 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Zerboni

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	61102	49483	47732
Terziario commerciale	111203	91338	76439

Tabella 145 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto lotto Lanificio di Torino

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	519517	456137	446586
Terziario commerciale	657113	539729	451692

Tabella 146 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Ferrari

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	387049	217136	140194
Terziario servizi	33296	27342	22877

Tabella 147 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Bologna

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1292269	1065719	895806
Terziario servizi	139657	122620	119749
Terziario commerciale	108705	89287	74723

Tabella 148 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto lotto Nebiolo

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	1154418	952136	800424
Terziario servizi	388536	337826	329282

Tabella 149 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Cimarosa

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	188917	165870	162397

Tabella 150 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 1

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	891153	782434	724351

Tabella 151 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Scalo Vanchiglia est, sottoambito 2

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Terziario servizi	1086189	490116	470148

Tabella 152 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto F.S. Scalo Vanchiglia

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	211576	174391	146503
Terziario servizi	237186	192442	185699
Terziario commerciale	83445	64322	49979

Tabella 153 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, lotto Gottardo

Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]			
S/V	0.7	0.5	0.35
Residenziale	331768	280799	242572
Terziario servizi	197036	162963	157829

Tabella 154 - Richiesta di energia per la stagione di riscaldamento, zona EX Scalo Vanchiglia

S/V	Fabbisogno di energia complessivo [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	7640543	6167882	5295489
Terziario servizi	5454953	4704076	4539744
Terziario commerciale	1271851	1040437	866876

10.5 Apporti solari

10.5.1 Rebaudengo

Tabella 155 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Docks Dora

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	13110
Terziario servizi	44347

Tabella 156 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto FS 1

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	23579
Terziario servizi	49266
Terziario commerciale	43745

Tabella 157 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto FS 2

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	2381
Terziario servizi	9505
Terziario commerciale	4509

Tabella 158 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Gondrand-Metallurgica Piemontese

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	49871
Terziario servizi	17329
Terziario commerciale	7269

Tabella 159 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Lauro Rossi

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	36944
<i>Terziario servizi</i>	5020

Tabella 160 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Breglio

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	35539
<i>Terziario servizi</i>	17628

Tabella 161 - Apporti solari totali, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, zona Rebaudengo

Apporti solari totali [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	215803
<i>Terziario servizi</i>	204685
<i>Terziario commerciale</i>	213399

10.5.2 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 162 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Regaldi

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	66642
<i>Terziario servizi</i>	90365

Tabella 163 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Ceat

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	49705
<i>Terziario servizi</i>	30979

Tabella 164 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Amalfi

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Terziario servizi	6650
Terziario commerciale	4708

Tabella 165 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Buscalioni

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	21835
Terziario servizi	4770

Tabella 166 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Scalo Vanchiglia ovest, sottoambiti aggregati

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	3722
Terziario servizi	5747
Terziario commerciale	19415

Tabella 167 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Zerboni

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Terziario servizi	9223
Terziario commerciale	5128

Tabella 168 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Lanificio di Torino

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Terziario servizi	51718
Terziario commerciale	16126

Tabella 169 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Ferrari

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	3965
Terziario servizi	3114

Tabella 170 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Bologna

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	35796
<i>Terziario servizi</i>	6058
<i>Terziario commerciale</i>	5093

Tabella 171 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Nebiolo

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	70377
<i>Terziario servizi</i>	18284

Tabella 172 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Cimarosa

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Terziario servizi</i>	16683

Tabella 173 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Scalo Vanchiglia est

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Terziario servizi</i>	19768

Tabella 174 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto F.S. Scalo Vanchiglia

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	3744
<i>Terziario servizi</i>	16842
<i>Terziario commerciale</i>	5042

Tabella 175 - Apporti solari, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, lotto Gottardo

Apporti solari [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	12422
<i>Terziario servizi</i>	56706

Tabella 176 - Apporti solari totali, mediati per le tre configurazioni di geometria in pianta, zona Ex Scalo Vanchiglia

Apporti solari totali [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	268208
<i>Terziario servizi</i>	336907
<i>Terziario commerciale</i>	55512

10.6 Apporti gratuiti

10.6.1 Rebaudengo

Tabella 177 - Apporti interni, lotto Docks Dora

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	27585
<i>Terziario servizi</i>	225532

Tabella 178 - Apporti interni, lotto FS 1

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	236567
<i>Terziario servizi</i>	118163
<i>Terziario commerciale</i>	868220

Tabella 179 - Apporti interni, lotto FS 2

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	21051
<i>Terziario servizi</i>	21583
<i>Terziario commerciale</i>	32598

Tabella 180 - Apporti interni, lotto Gondrand-Metallurgica Piemontese

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	439627
<i>Terziario servizi</i>	147334
<i>Terziario commerciale</i>	90813

Tabella 181 - Apporti interni, lotto Lauro Rossi

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	53274
Terziario servizi	14875

Tabella 182 - Apporti interni, lotto Breglio

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	159792
Terziario servizi	44306

Tabella 183 - Potenza media da apporti interni, zona Rebaudengo

Potenza da apporti interni [kW]	
S/V	-
Residenziale	335
Terziario servizi	277
Terziario commerciale	421

10.6.2 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 184 - Apporti interni, lotto Regaldi

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	742875
Terziario servizi	588386

Tabella 185 - Apporti interni, lotto Ceat

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	350725
Terziario servizi	27995

Tabella 186 - Apporti interni, lotto Amalfi

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Terziario servizi	26562

<i>Terziario commerciale</i>	37222
------------------------------	-------

Tabella 187 - Apporti interni, lotto Buscalioni

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	47054
<i>Terziario servizi</i>	11332

Tabella 188 - Apporti interni, sottoambiti aggregati

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	168383
<i>Terziario servizi</i>	102561
<i>Terziario commerciale</i>	95215

Tabella 189 - Apporti interni, lotto Zerboni

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Terziario servizi</i>	20259
<i>Terziario commerciale</i>	46824

Tabella 190 - Apporti interni, lotto Lanificio di Torino

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Terziario servizi</i>	120679
<i>Terziario commerciale</i>	285577

Tabella 191 - Apporti interni, lotto Ferrari

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	59024
<i>Terziario servizi</i>	14590

Tabella 192 - Apporti interni, lotto Bologna

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	437832
Terziario servizi	32353
Terziario commerciale	45740

Tabella 193 - Apporti interni, lotto Nebiolo

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	389568
Terziario servizi	96773

Tabella 194 - Apporti interni, lotto Cimarosa

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Terziario servizi	43637

Tabella 195 - Apporti interni, lotto Scalo Vanchiglia est

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Terziario servizi	323087

Tabella 196 - Apporti interni, lotto F.S. Scalo Vanchiglia

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	69892
Terziario servizi	84495
Terziario commerciale	45022

Tabella 197 - Apporti interni, lotto Gottardo

Apporti interni [kWh/anno]	
S/V	-
Residenziale	82754
Terziario servizi	64700

Tabella 198 - Potenza media da apporti interni, zona Ex Scalo Vanchiglia

Potenza da apporti interni [kW]	
S/V	-
<i>Residenziale</i>	538
<i>Terziario servizi</i>	357
<i>Terziario commerciale</i>	127

10.7 Rendimenti Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 199 - Rendimento di generazione, zona Ex Scalo Vanchiglia

Rendimento di generazione [-]			
S/V	0,7	0,5	0,35
<i>Residenziale</i>	0,97	0,97	0,97
<i>Terziario servizi</i>	0,97	0,97	0,97
<i>Terziario commerciale</i>	0,97	0,97	0,97

Tabella 200 - Rendimento di distribuzione, zona Ex Scalo Vanchiglia

Rendimento di distribuzione [-]			
S/V	0,7	0,5	0,35
<i>Residenziale</i>	0,990	0,990	0,990
<i>Terziario servizi</i>	0,989	0,989	0,989
<i>Terziario commerciale</i>	1	1	1

Tabella 201 - Rendimento di regolazione, zona Ex Scalo Vanchiglia

Rendimento di regolazione [-]			
S/V	0,7	0,5	0,35
<i>Residenziale</i>	0,97	0,97	0,97
<i>Terziario servizi</i>	0,97	0,97	0,97
<i>Terziario commerciale</i>	0,97	0,97	0,97

Tabella 202 - Rendimento di emissione, zona Ex Scalo Vanchiglia

Rendimento di emissione [-]			
S/V	0,7	0,5	0,35
<i>Residenziale</i>	0,95	0,95	0,96
<i>Terziario servizi</i>	0,95	0,95	0,95
<i>Terziario commerciale</i>	0,93	0,93	0,93

Tabella 203 - Rendimento globale, zona Ex Scalo Vanchiglia

S/V	Rendimento globale [-]		
	0,7	0,5	0,35
Residenziale	0,885	0,885	0,894
Terziario servizi	0,884	0,884	0,884
Terziario commerciale	0,875	0,875	0,875

10.8 Fabbisogno per riscaldamento

10.8.1 Ex Scalo Vanchiglia

Tabella 204 - Fabbisogno di energia per riscaldamento richiesto alla rete, per tutti i fattori di forma, zona Ex Scalo Vanchiglia

S/V	Fabbisogno di energia per riscaldamento [kWh/anno]		
	0.7	0.5	0.35
Residenziale	5679224	4014575	2996905
Terziario servizi	5253991	3731046	3522666
Terziario commerciale	755099	490637	292290