

**MINISTERO
DELLE INFRASTRUTTURE E DELLA MOBILITÀ SOSTENIBILI
STRUTTURA TECNICA DI MISSIONE**



COMUNE DI TORINO



**METROPOLITANA AUTOMATICA DI TORINO
LINEA 2 – TRATTA POLITECNICO – REBAUDENGO**

**PROGETTAZIONE DEFINITIVA
Lotto generale: Politecnico - Rebaudengo**


PROGETTO DEFINITIVO		 INFRA.TO <i>infrastrutture per la mobilità</i>										INFRATRASPORTI S.r.l.	
DIRETTORE PROGETTAZIONE Responsabile integrazione discipline specialistiche	IL PROGETTISTA												
Ing. R. Crova Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 6038S	Ing. F. Azzarone Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino n. 12287J	GEOTERMIA INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI PER LO SFRUTTAMENTO DEL CALORE ESTRATTO											
BIM MANAGER Geom. L. D'Accardi		ELABORATO								REV.		SCALA	DATA
		MT	L2	T1	A0	D	GTR	COM	R	004	Int.		
										0	1	-	25/09/2023

AGGIORNAMENTI

Fg. 1 di 1

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO	VISTO
0	EMISSIONE	03/04/23	GSO	FAz	FAz	RCr
1	EMISSIONE FINALE A SEGUITO DI VERIFICA PREVENTIVA	25/09/23	GSO	FAz	FAz	RCr
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	-

<table border="1"> <tr> <td>LOTTO 1</td> <td>CARTELLA</td> <td>17</td> <td>4</td> <td>MTL2T1A0D</td> <td>GTRCOMR004</td> </tr> </table>						LOTTO 1	CARTELLA	17	4	MTL2T1A0D	GTRCOMR004	<p align="center">STAZIONE APPALTANTE</p> <p align="center">DIRETTORE DI DIVISIONE INFRASTRUTTURE E MOBILITÀ Ing. R. Bertasio</p> <p align="center">RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. A. Strozziro</p>					
LOTTO 1	CARTELLA	17	4	MTL2T1A0D	GTRCOMR004												

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

INDICE

1.	INTRODUZIONE	4
2.	SFRUTTAMENTO ENERGETICO A SERVIZIO DELLE STAZIONI DELLA ML2	6
2.1	ANALISI DEI FABBISOGNI ENERGETICI DELLE STAZIONI	6
2.2	ANALISI DELLA POTENZA TERMICA DISPONIBILE	8
2.3	BILANCIO DISPONIBILITÀ-FABBISOGNI ENERGETICI	10
3.	ANALISI DEI RICETTORI ESTERNI	14
3.1	INDIVIDUAZIONE DEI RICETTORI ESTERNI PRIMARI	14
3.2	INDIVIDUAZIONE DEGLI ULTERIORI RICETTORI	23
3.3	STIMA DEI FABBISOGNI DEI RICETTORI ESTERNI	29
4.	SINTESI CONCLUSIVA	36
5.	BIBLIOGRAFIA	38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1.	Quadro sinottico con indicazione degli impianti derivanti dall'attivazione termica delle strutture per le tratte di galleria realizzate in C&C (a) e per le tratte in TBM (b) della ML2.	9
Figura 2.	Grafico di sintesi con indicazione delle potenze disponibili, dei fabbisogni e dei surplus esistenti per ciascuna stazione di collegamento impianti.	13
Figura 3.	Ricettori primari individuati lungo il tracciato della Nuova Tratta Funzionale nello studio del Politecnico di Torino (Politecnico di Torino, 2022).	15
Figura 4.	Ortofoto con indicazione della posizione dell'Ospedale San Giovanni Bosco rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).	16
Figura 5.	Ortofoto con indicazione della posizione dell'ex-Manifattura Tabacchi rispetto al tracciato della Linea 2 (Politecnico di Torino, 2022).	17
Figura 6.	Ortofoto con indicazione dell'ubicazione dell'edificio sede di Infratrasporti.To srl rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).	18
Figura 7.	Ortofoto con indicazione dell'ubicazione del Campus Universitario Luigi Einaudi (CLE) rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).	19
Figura 8.	Ortofoto con indicazione dell'ubicazione dell'Edificio della Cavallerizza Reale rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).	20



 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

Figura 9. Ortofoto con indicazione dell'ubicazione della Stazione ferroviaria di Porta Nuova rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).	21
Figura 10. Ortofoto con indicazione dell'ubicazione della sede centrale del Politecnico di Torino rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).	22
Figura 11. Esempio di area di buffer attorno alla stazione Verona e centroidi (in rosso) degli edifici individuati come possibili ricettori.	24
Figura 12. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di San Giovanni Bosco (SGC).	26
Figura 13. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Corelli (SCO).	26
Figura 14. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Bologna (SBO).	27
Figura 15. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Verona (SVR).	27
Figura 16. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Pastrengo (SPA).	28
Figura 17. Indicazione delle zone climatiche all'interno del territorio nazionale italiano (Corrado et al., 2014).	31
Figura 18. "Matrice della Tipologia Edilizia" italiana (area climatica media "E") con l'illustrazione degli edifici-tipo. Gli archetipi sono illustrati attraverso un volumetrico semplificato (Corrado et al., 2014).	32
Figura 19. Quadro sinottico riepilogativo di destinazione dell'energia prodotta dall'attivazione termica delle strutture della ML2 con ripartizione tra stazioni, ricettori primari ed ulteriori ricettori.	35

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1. Acronimi utilizzati nel presente documento.	5
Tabella 2. Fabbisogni stagionali delle stazioni termicamente attivabili e del Deposito-officina presenti lungo la nuova Tratta Funzionale Politecnico-Rebaudengo della ML2.	7
Tabella 3. Tabella riepilogativa delle potenze totali disponibili alle stazioni di collegamento in estate ed in inverno.	8
Tabella 4. Tabella riepilogativa delle potenze totali disponibili, fabbisogni e surplus alle stazioni di collegamento in estate ed in inverno.	10
Tabella 5. Sintesi dei risultati relativi all'individuazione degli ulteriori ricettori nelle aree di buffer attorno alle stazioni di collegamento impianti Pastrengo, Verona, Bologna, Corelli e Giulio Cesare.	28
Tabella 6. Dati storici di consumo energetico relativi al Presidio Ospedaliero San Giovanni Bosco (Politecnico di Torino, 2020)	30
Tabella 7. Tabella riepilogativa della stima dei fabbisogni energetici per i differenti ricettori individuati e confronto con i surplus disponibili ad ogni singola stazione di collegamento impianti.	33

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

1. INTRODUZIONE

La presente relazione si inserisce nell'ambito dell'affidamento dei servizi di ingegneria relativi alla Progettazione Definitiva della Tratta Politecnico-Rebaudengo della Linea 2 della Metropolitana, disciplinato dal Contratto tra la Città di Torino e la società Infratrasporti.TO s.r.l., ed ha per oggetto le attività svolte per la definizione dei possibili ricettori per lo sfruttamento del calore estratto tramite l'attivazione termica delle strutture della ML2.

Per la redazione del presente documento è stata utilizzata, quale dato ancillare, la relazione dal titolo "Scenari applicativi per lo sfruttamento della risorsa geotermica in relazione al tracciato della nuova tratta funzionale della ML2" redatta dal Politecnico di Torino nell'ambito del contratto di ricerca attuativo di accordo quadro relativo a "Studio relativo all'attivazione termica della galleria della nuova linea 2 della Metropolitana di Torino e alle interferenze con le infrastrutture in superficie".


Il documento in oggetto, dopo una breve sintesi dei possibili scenari applicativi ottimali per lo sfruttamento della risorsa geotermica con riferimento al contesto urbano, descriverà nel dettaglio le attività svolte per la definizione dei fabbisogni, della potenza termica e del relativo bilancio termico al fine di valutare nello specifico quali ricettori possono essere adatti al miglior sfruttamento termico del calore prodotto.

In sintesi, nel lavoro svolto dal Politecnico di Torino sono stati individuati tre possibili scenari di sfruttamento del calore ottenuto grazie all'attivazione termica del rivestimento e delle opere di sostegno agli scavi della galleria e delle stazioni ed in particolare:

1. Utilizzo per la climatizzazione delle stazioni di linea e per il Deposito-officina Rebaudengo;
2. Utilizzo verso singoli ricettori esterni alla ML2 quali edifici pubblici, ospedali, edifici sede di Università, ex-complessi industriali da riconvertire, centri commerciali, nonché edifici residenziali privati;
3. Integrazione dei circuiti di scambio geotermico con gli impianti di teleriscaldamento presenti nella città di Torino.

Tra i precedenti scenari individuati in questa sede saranno approfonditi in ordine di priorità gli utilizzi del calore estratto dal terreno per la climatizzazione delle stazioni e, nel caso in cui risultino disponibili dei surplus termici rispetto al fabbisogno delle stazioni, si procederà alla valutazione di utilizzo verso singoli ricettori esterni alla ML2. Da questo punto di vista questo approccio ricalca direttamente le scelte progettuali (si veda il documento n° MTL2T1A0DGTRCOMR003-0-0) nelle quali si è optato per la destinazione del calore scambiato alle stazioni di collegamento impianti.

Successivamente rimane possibile la derivazione della potenza termica eventualmente in surplus verso singoli ricettori puntuali individuati per la loro rilevanza per la comunità e/o per la vicinanza alle stazioni. L'integrazione dei circuiti di scambio con gli impianti di teleriscaldamento esistenti, sebbene sia stata valutata in termini generali come opzione percorribile, non è stata in questa


 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

sede approfondita ulteriormente rispetto alle indicazioni generali contenute nella relazione redatta dal Politecnico di Torino.

Nella Tabella 1 vengono riportati gli acronimi utilizzati nel presente documento.

Tabella 1. Acronimi utilizzati nel presente documento.

Acronimi	Definizioni
NAT	Modalità di scavo tradizionale con avanzamento a foro cieco
C&C	Modalità di scavo "Cut & Cover"
TBM	Tunnel Boring Machine
FEM TH	Modellazione numerica termo idraulica ad elementi finiti
ML2	Linea 2 della Metropolitana di Torino
PFTE	Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica
PD	Progetto Definitivo
TLR	Teleriscaldamento
4GTRL	Teleriscaldamento di Quarta Generazione

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

2. SFRUTTAMENTO ENERGETICO A SERVIZIO DELLE STAZIONI DELLA ML2

In accordo alle indicazioni fornite dal Politecnico di Torino e secondo lo schema delle priorità di sfruttamento riportato al Capitolo 1, si propone lo sfruttamento dell'energia geotermica prodotta con l'attivazione termica della Linea 2 in progetto per la climatizzazione di 12 delle 13 stazioni presenti lungo il tracciato (Politecnico, Pastrengo, Porta Nuova, Carlo Alberto, Mole Giardini Reali, Verona, Novara, Bologna, Cimarosa-Tabacchi, Corelli, San Giovanni Bosco e Giulio Cesare) oltre al Deposito-Officina Rebaudengo.

Le 12 stazioni termicamente attivabili previste nel tracciato del presente studio rivestono un ruolo di particolare importanza come ricettori del calore estratto dal sottosuolo in quanto consentono un impiego diretto dell'energia termica scambiata con il terreno minimizzando così la lunghezza dei circuiti primari per il trasporto del fluido termovettore fino alle pompe di calore che risultano ubicate in specifici locali tecnici all'interno delle stazioni medesime. Questo si traduce in una migliore efficienza termica ed idraulica dei sistemi geotermici. Si deve inoltre ricordare che anche la maggioranza dei manufatti strutturali principali delle medesime stazioni (diaframmi perimetrali) sono stati concepiti per essere termicamente attivati apportando quindi un ulteriore contributo termico alla stazione di collegamento impianti.


Grazie all'attivazione dei rivestimenti delle parti strutturali della Linea 2, lo sfruttamento dell'energia geotermica prodotta per la climatizzazione delle stazioni di linea permetterebbe quindi di:

- ridurre i consumi energetici provenienti da fonti fossili;
- ridurre la necessità di utilizzare i sistemi di ventilazione con conseguente beneficio per i passeggeri in termini igienico-sanitari;
- migliorare le condizioni termiche all'interno della struttura (ad esempio mantenendo la temperatura entro valori di confort per gli utenti in qualsiasi condizione climatica esterna);
- migliorare l'impronta ecologica dell'infrastruttura, grazie all'utilizzo di una fonte non solo rinnovabile, ma anche disponibile localmente.

2.1 Analisi dei fabbisogni energetici delle stazioni

Le stazioni della metropolitana rappresentano una tipologia di strutture che si estendono in sotterraneo e le cui esigenze termiche risultano essere più difficili da mantenere rispetto ad altri edifici tradizionali anche in relazione al transito dei passeggeri e del materiale rotabile (Martins et al., 2016).

In generale, si configurano come elementi strategici di organizzazione e sviluppo di porzioni urbane, in quanto rappresentano il luogo di ingresso dei passeggeri verso l'infrastruttura metropolitana, nonché tutti i servizi ad essa legati. Ai passeggeri va garantito un ambiente confortevole, sano e sicuro all'interno della stazione e, di conseguenza, i sistemi di riscaldamento, ventilazione e condizionamento (HVAC) devono essere necessariamente presenti; il funzionamento

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX


di questi ultimi, in particolare, comporta inevitabilmente un elevato dispendio di energia (Leung & Lee, 2013). La quantità di energia consumata dalle stazioni metropolitane è molto variabile, in funzione di una molteplicità di aspetti climatici, costruttivi, impiantistici e gestionali che non risultano facilmente estendibili in altri contesti. A titolo puramente indicativo, solo l'impianto di ventilazione di una stazione della metropolitana di Barcellona (Spagna) costruita negli anni '20 e con superficie pari a circa 2800 m² ha un consumo annuo di circa 84.2 MWh (Casals et al., 2014) mentre i sistemi HVAC delle 405 stazioni (su 23 linee complessive) della metropolitana di Pechino (Cina) nel 2015 hanno consumato complessivamente 490 GWh circa con un consumo medio annuo per ogni stazione pari a circa 1.2 GWh (Wang & Li, 2017). La stazione Porte de Clichy, facente parte della linea 14 della metropolitana di Parigi, linea lungo la quale sono state attivate a titolo sperimentale alcune stazioni per lo sfruttamento di energia geotermica e quindi più simile alla ML2, presenta un fabbisogno richiesto di riscaldamento annuale pari a 188 MWh, mentre il raffreddamento annuale si aggira attorno ai 130 MWh (RATP, 2019).

Nel caso specifico, la Tabella 2 racchiude i fabbisogni termici estivi (ovvero in condizioni di raffrescamento) e invernali (in condizioni di riscaldamento) delle 12 stazioni termicamente attivabili della linea 2 della Metropolitana di Torino, oltre al Deposito-officina Rebaudengo. Questi fabbisogni, espressi come potenza termica di picco richiesta dagli impianti di climatizzazione, sono i medesimi ottenuti nelle analisi specifiche condotte per la redazione del PFTE.

Tabella 2. Fabbisogni stagionali delle stazioni termicamente attivabili e del Deposito-officina presenti lungo la nuova Tratta Funzionale Politecnico-Rebaudengo della ML2.

Stazione/Deposito	Fabbisogno Invernale [kW]	Fabbisogno Estivo [kW]
Deposito - Officina Rebaudengo	1022	1514
Giulio Cesare	78	64
S. Giovanni Bosco	78	64
Corelli	78	64
Cimarosa-Tabacchi	91	146
Bologna	91	139
Novara	96	186
Verona	152	348
Mole Giardini Reali	104	227
Carlo Alberto	143	326
Porta Nuova	171	503
Pastrengo	114	294
Politecnico	147	412

Si può notare in generale come i fabbisogni termici invernali, ovvero i fabbisogni relativi al riscaldamento delle strutture risultino più bassi rispetto a quelli estivi, ad eccezione che nelle stazioni più superficiali (Giulio Cesare, San Giovanni Bosco e Corelli). Si nota inoltre una diretta correlazione dei fabbisogni termici in relazione alla volumetria complessiva delle strutture. In

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

questo senso la stazione Porta Nuova risulta essere la struttura per la quale si riscontrano i fabbisogni energetici più elevati tra le differenti strutture della ML2.

2.2 Analisi della potenza termica disponibile

Sulla base dei risultati delle analisi numeriche ampiamente descritti nel documento n° MTL2T1A1DENECOMR003-0-0, le potenze termiche disponibili nelle 13 stazioni di collegamento impianti (12 stazioni di linea unitamente al Deposito-officina Rebaudengo) a cui si fa riferimento nel capitolo corrente sono riassunte nella Tabella 3. Verso ogni stazione di collegamento impianti convergono gli impianti derivanti dall'attivazione di specifiche tratte di galleria presenti a monte e a valle dell'infrastruttura, a cui si aggiungono gli impianti derivanti dall'attivazione delle medesime strutture della stazione secondo il quadro sinottico mostrato nella Figura 1.

Per ciascuna stazione di collegamento impianti, la potenza termica totale disponibile deriva quindi dalla somma delle potenze termiche ottenibili sia da ciascun impianto proveniente dalle gallerie di linea e sia dalla potenza termica estraibile dalle medesime strutture della stazione. A questo schema fa eccezione il Deposito-officina Rebaudengo che costituisce una stazione di collegamento impianto a sé stante poiché al suo interno incorpora soltanto gli impianti derivanti dall'attivazione dei diaframmi perimetrali della struttura medesima e non risulta collegato a nessun tratto di galleria termicamente attivabile.

Tabella 3. Tabella riepilogativa delle potenze totali disponibili alle stazioni di collegamento in estate ed in inverno.

Stazione di collegamento impianti	Potenza totale inverno [kW]	Potenza totale estate [kW]
Deposito - Officina Rebaudengo	287	253
Giulio Cesare	281	292
S. Giovanni Bosco	195	211
Corelli	380	420
Cimaraosa-Tabacchi	584	505
Bologna	484	555
Novara	792	868
Verona	725	851
Mole-Giardini Reali	655	651
Carlo Alberto	655	624
Porta Nuova	1223	1326
Pastrengo	555	599
Politecnico	666	713

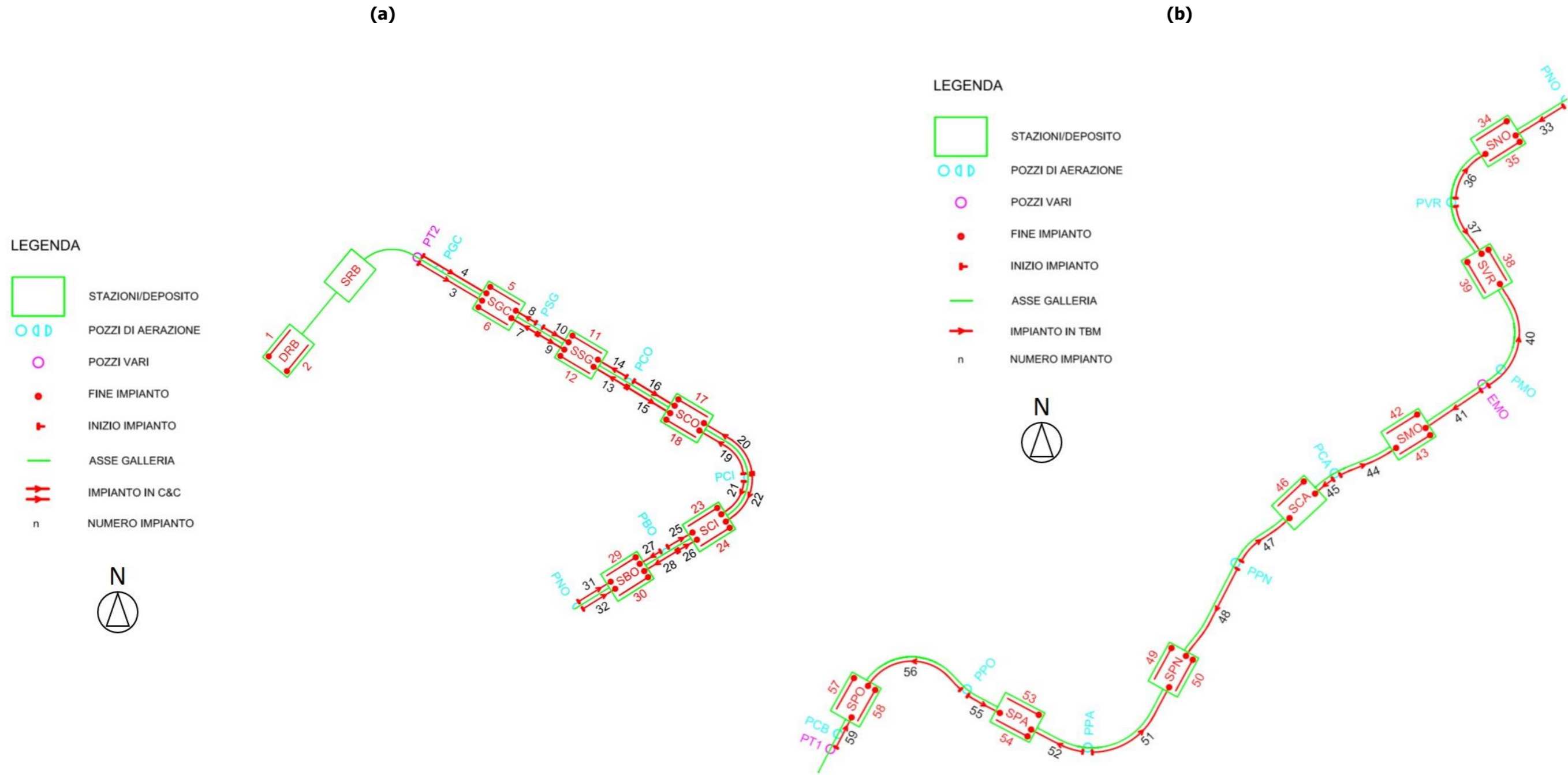



Figura 1. Quadro sinottico con indicazione degli impianti derivanti dall'attivazione termica delle strutture per le tratte di galleria realizzate in C&C (a) e per le tratte in TBM (b) della ML2.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

2.3 Bilancio disponibilità-fabbisogni energetici

La Tabella 4 fornisce il quadro di sintesi relativo al bilancio disponibilità-fabbisogni energetici per ogni stazione di collegamento impianti descritta al capitolo precedente. In particolare per ciascuna stazione di collegamento impianti, coincidente con 12 delle 13 stazioni di linea vengono indicate le differenti tratte che lo compongono e la relativa produzione in potenza termica (kW) estiva ed invernale. Per ogni stazione di collegamento impianti vengono indicati altresì i fabbisogni termici estivi (raffrescamento) ed invernali (riscaldamento) delle rispettive stazioni, che, secondo lo schema di priorità descritto al Capitolo 1, sono state considerate quali ricettori primari. La differenza tra la potenza termica prodotta mediante l'attivazione geotermica delle opere strutturali disponibile alla stazione di collegamento impianti ed i fabbisogni del ricettore primario fornisce l'eventuale surplus energetico che è possibile infine utilizzare verso altri ricettori. Si sottolinea che il calcolo del surplus così effettuato non tiene conto del coefficiente di prestazione della pompa di calore collocata a valle dell'impianto primario e che, pertanto, detto surplus è da intendersi come limite inferiore.

Tabella 4. Tabella riepilogativa delle potenze totali disponibili, fabbisogni e surplus alle stazioni di collegamento in estate ed in inverno.

Stazione di collegamento impianti	N° impianto	Potenza singoli impianti estate [kW]	Potenza singoli impianti inverno [kW]	Potenza totale estate [kW]	Potenza totale inverno [kW]	Fabbisogno estate [kW]	Fabbisogno inverno [kW]	Surplus estate [kW]	Surplus inverno [kW]
Stazione Giulio Cesare	3	94.26	88.44	292	281	64	78	228	203
	4	67.83	63.32						
	5	36.82	42.07						
	6	32.90	38.98						
	7	40.35	32.38						
	8	19.70	15.81						
Stazione San Giovanni Bosco	9	32.22	25.85	211	195	64	78	147	117
	10	32.19	25.83						
	11	36.82	42.07						
	12	32.90	38.98						
	13	44.85	35.99						
	14	32.17	25.82						
Stazione Corelli	15	52.29	43.41	420	380	64	78	356	302
	16	44.09	37.11						
	17	36.82	42.07						
	18	32.90	38.98						
	19	123.24	106.59						



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – RebaudengoGeotermia – Individuazione dei ricettori per lo
sfruttamento del calore estratto

MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

Stazione di collegamento impianti	N° impianto	Potenza singoli impianti estate [kW]	Potenza singoli impianti inverno [kW]	Potenza totale estate [kW]	Potenza totale inverno [kW]	Fabbisogno estate [kW]	Fabbisogno inverno [kW]	Surplus estate [kW]	Surplus inverno [kW]
	20	130.17	111.86						
Stazione Cimarosa-Tabacchi	21	150.71	124.44	584	505	146	91	438	414
	22	153.43	130.65						
	23	52.52	46.76						
	24	84.87	75.75						
	25	77.47	68.98						
	26	65.87	58.79						
Stazione Bologna	27	73.60	65.53	555	484	139	91	416	393
	28	120.02	107.13						
	29	71.77	58.63						
	30	86.12	70.35						
	31	96.87	86.70						
	32	106.87	95.43						
Stazione Novara	33	389.94	350.20	868	792	186	96	682	696
	34	21.58	25.59						
	35	33.23	37.29						
	36	423.41	378.88						
Stazione Verona	37	396.47	327.53	851	725	348	152	503	573
	38	13.67	14.24						
	39	23.17	26.83						
	40	417.35	356.13						
Stazione Mole-Giardini Reali	41	275.54	240.13	651	655	227	104	424	551
	42	38.52	44.41						
	43	31.52	40.38						
	44	305.62	329.63						
Stazione Carlo Alberto	45	186.61	193.88	624	655	326	143	298	512
	46	32.81	40.08						
	47	404.29	421.35						
Stazione Porta Nuova	48	574.66	518.11	1326	1223	503	171	823	1052
	49	76.57	89.62						
	50	25.67	34.04						



Stazione di collegamento impianti	N° impianto	Potenza singoli impianti estate [kW]	Potenza singoli impianti inverno [kW]	Potenza totale estate [kW]	Potenza totale inverno [kW]	Fabbisogno estate [kW]	Fabbisogno inverno [kW]	Surplus estate [kW]	Surplus inverno [kW]
	51	649.39	581.41						
Stazione Pastrengo	52	312.03	276.55	599	555	294	114	305	441
	53	36.12	44.46						
	54	40.66	48.32						
	55	210.55	185.30						
Stazione Politecnico	56	507.17	469.82	713	666	412	147	301	519
	57	36.88	43.89						
	58	10.53	14.07						
	59	158.01	138.70						

L'analisi della Tabella 4, unitamente al grafico riepilogativo mostrato nella Figura 2 denota come per tutte le stazioni di collegamento impianti la produzione energetica sia ampiamente sufficiente a coprire i fabbisogni energetici delle stazioni e sia quindi disponibile un significativo surplus energetico (tra un minimo di circa 190 ed un massimo di circa 1050 kW) sia in estate che in inverno che potrà essere destinato verso i ricettori esterni. In particolare sebbene la stazione di collegamento impianti di Porta Nuova risulti essere la struttura con i fabbisogni energetici più elevati della Linea 2, quest'ultima presenta allo stesso tempo il surplus energetico maggiore (circa 820-1050 kW rispettivamente in estate ed in inverno) stante l'elevata capacità di scambio termico delle tratte di gallerie in TBM e dei diaframmi presenti nei differenti impianti afferenti alla stazione.

Rispetto a quanto sopra, una valutazione a parte merita il Deposito-officina Rebaudengo. Quest'ultima struttura che è posta al termine della linea non risulta infatti collegata con alcun tratto di galleria termicamente attivata. I due impianti geotermici ivi presenti vengono alimentati soltanto attraverso l'attivazione dei diaframmi perimetrali della struttura che consentono comunque di produrre una buona quantità di energia. L'intera potenza termica prodotta sarà impiegata direttamente per coprire il fabbisogno energetico della struttura medesima.

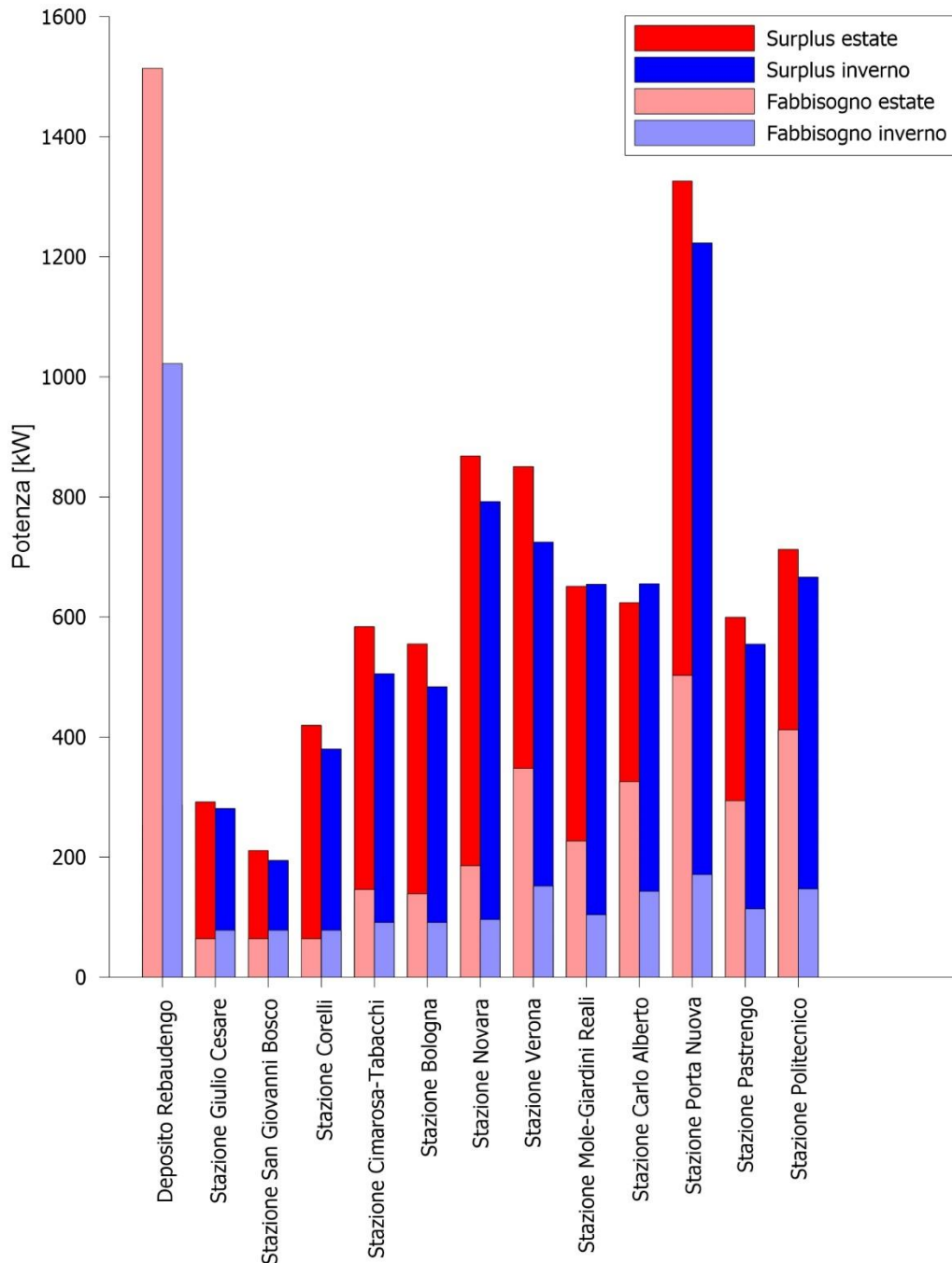



Figura 2. Grafico di sintesi con indicazione delle potenze disponibili, dei fabbisogni e dei surplus esistenti per ciascuna stazione di collegamento impianti.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

3. ANALISI DEI RICETTORI ESTERNI

Nello studio svolto dal Politecnico (documento n° 2203ML2_RL01.0) oltre all'individuazione degli scenari di sfruttamento per l'energia in surplus disponibile presso ciascuna stazione di collegamento impianti, è stata presentata un'analisi volta all'individuazione di una serie di ulteriori ricettori esterni, distinti dalle stazioni e dal Deposito-officina Rebaudengo, che ha fornito un quadro più esteso dei potenziali utenti per lo sfruttamento del calore a bassa temperatura estraibile dall'attivazione della Linea 2 della metropolitana. Tra i ricettori esterni in ordine di priorità sono stati presi in considerazione sia gli edifici attualmente utilizzati e di particolare interesse e funzione sociale e sia gli edifici parzialmente o completamente in disuso che potranno essere oggetto nel futuro prossimo di una trasformazione rispetto alla loro destinazione d'uso originale. Questi ricettori sono definiti come "primari". Secondariamente, sono stati considerati tutti gli edifici di tipo residenziale, commerciale, industriale e "strategici" presenti nell'intorno della ML2.

Il criterio principale adottato per l'individuazione di qualsiasi ricettore è stato quello della prossimità al tracciato della Linea 2 unitamente ad ulteriori considerazioni sulle possibilità di trasformazione/riqualificazione degli edifici anche nell'ottica di una possibile integrazione del calore geotermico nelle reti di teleriscaldamento a bassa temperatura (intorno a 50°C), conosciute anche come Teleriscaldamento di Quarta Generazione (4GTRL, Lund et al. 2014).

Nei capitoli seguenti, dopo una descrizione di dettaglio dei ricettori sarà presentata una stima dei fabbisogni dei ricettori esterni volta ad individuare l'aliquota energetica che è possibile soddisfare con i surplus energetici descritti al capitolo precedente.

3.1 Individuazione dei ricettori esterni primari

L'analisi dei ricettori esterni ha visto dapprima l'individuazione dei ricettori primari così come risultante dal lavoro del Politecnico di Torino. Procedendo da N verso S sono stati così individuati otto ricettori di seguito elencati (oltre al Deposito-officina Rebaudengo che tuttavia in questa sede non viene trattato come un ricettore esterno) e la cui ubicazione rispetto al tracciato della ML2 è mostrata nella Figura 3:

- Presidio Ospedaliero San Giovanni Bosco;
- Ex Manifattura Tabacchi;
- Edificio sede di Infratrasporti.To srl;
- Campus Luigi Einaudi dell'Università degli Studi di Torino;
- Cavallerizza Reale;
- Centro Commerciale "La Rinascente";
- Stazione ferroviaria di Porta Nuova;
- Sede centrale del Politecnico di Torino.

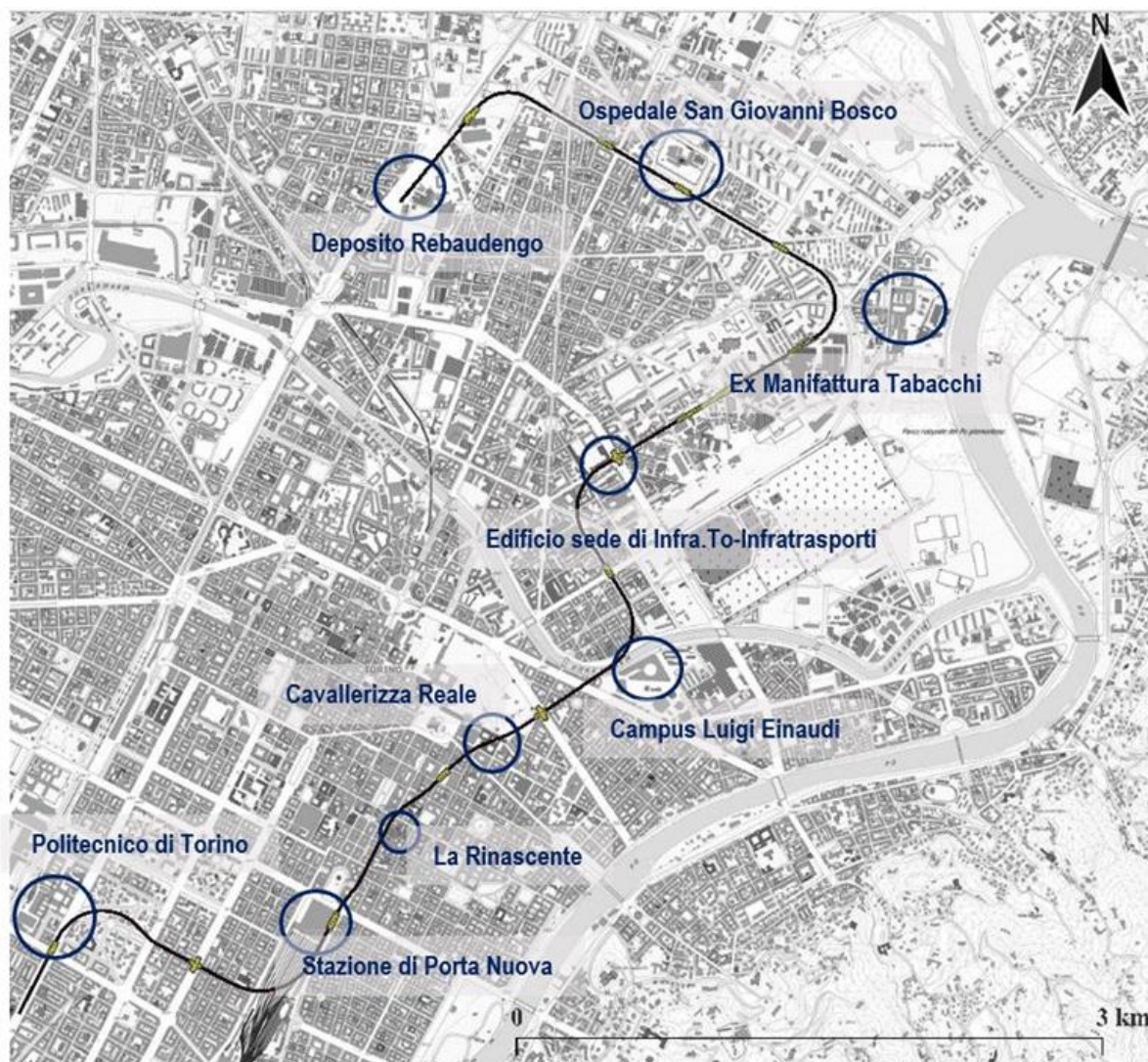


Figura 3. Ricettori primari individuati lungo il tracciato della Nuova Tratta Funzionale nello studio del Politecnico di Torino (Politecnico di Torino, 2022).

Il Presidio Ospedaliero San Giovanni della ASL Città di Torino si colloca a ridosso del tracciato previsto per la ML2 e nei pressi della omonima stazione in progetto. La struttura è la più grande struttura ospedaliera della zona nord della città, con 347 posti letto, un reparto DEA (Dipartimento di Emergenza Urgenza e Accettazione) di II livello presenta una superficie complessiva d'impronta degli edifici pari a circa 9000 m² e con una volumetria stimabile intorno a 76.000 m³. Il PRG di Torino lo pone in un'area ad interesse sovracomunale. Nella Figura 4 viene mostrata la posizione della struttura ospedaliera rispetto al tracciato della ML2. Il Presidio Ospedaliero è già stato oggetto di uno studio precedente (Politecnico di Torino, 2020) che ha consentito di evidenziare i possibili utilizzi dell'energia proveniente dall'attivazione termica delle strutture della ML2 sulla base dei fabbisogni energetici e delle configurazioni impiantistiche attuali. Si è in particolare



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo

Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto

MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

evidenziato che la produzione della pompa di calore a bassa temperatura derivante dall’attivazione termica della galleria in una tratta adiacente alla stazione, potrebbe coprire più dell’80% del fabbisogno associato alle utenze a bassa temperatura del Presidio Ospedaliero. In questo senso si propone quindi di indirizzare l’intero surplus energetico disponibile alla stazione di collegamento impianti di San Giovanni Bosco verso questo ricettore.

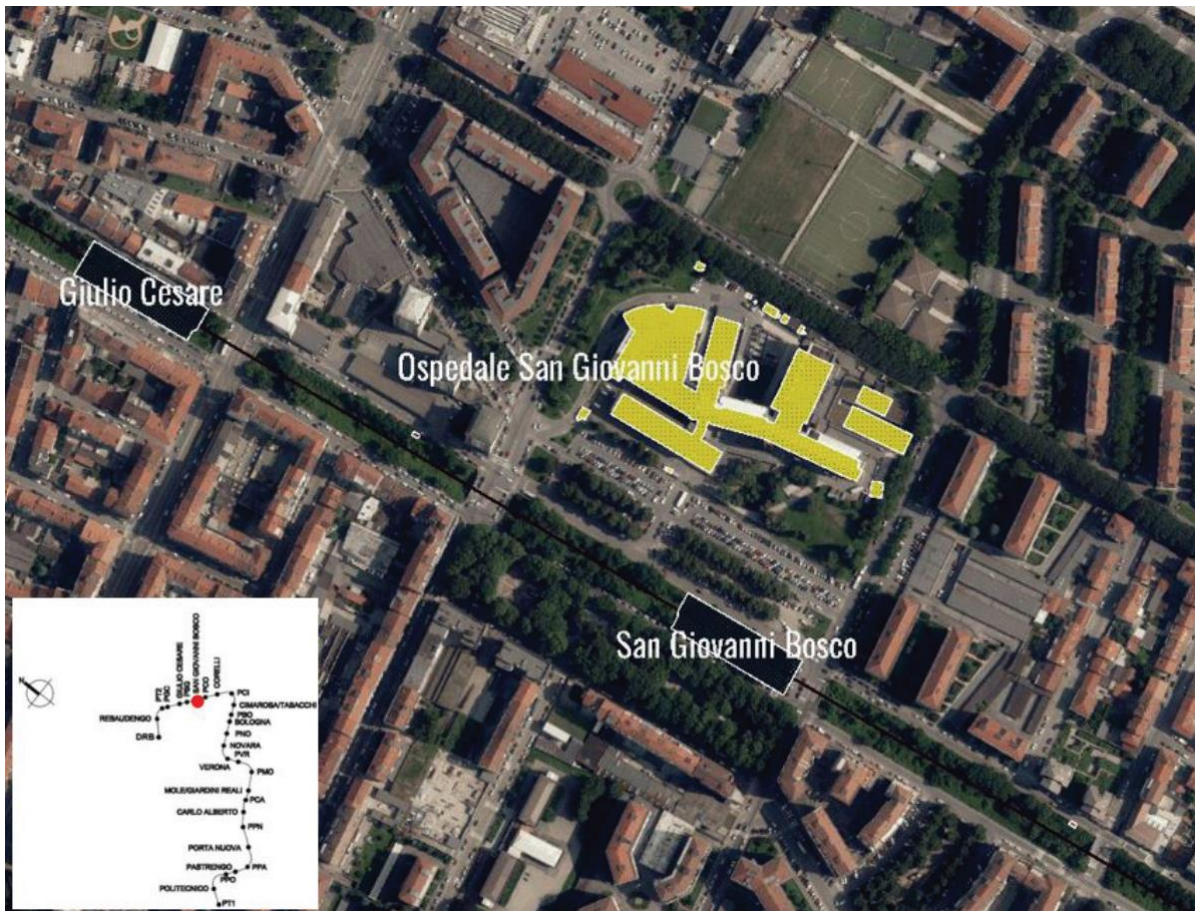



Figura 4. Ortofoto con indicazione della posizione dell’Ospedale San Giovanni Bosco rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).

Seppur non direttamente a ridosso del tracciato, l’Ex Manifattura Tabacchi è ubicata nei pressi del Linea 2 e ad una distanza di circa 380-400 m dalla stazione di Cimarosa-Tabacchi (Figura 5). Tale edificio è un punto di riferimento storico territoriale essendo stata una manifattura attiva per più di due secoli (nella produzione di sigari, sigarette e trinciato da pipa), la cui attività è cessata nel 1996. Situato nel quartiere Regio Parco, attualmente ospita una parte degli uffici dell’Università di Torino. Il complesso ex-industriale è inoltre interessato da un importante progetto di riqualificazione assieme alle aree adiacenti che si trovano nella zona periferica NE di Torino che vuole portare alla realizzazione di un nuovo distretto culturale, che si ponga come sede ideale per l’insediamento di poli multifunzionali, universitari e di edilizia universitaria. Negli

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

spazi recuperati della ex Manifattura è previsto l'insediamento di un Polo Universitario con residenze universitarie, servizi per gli studenti e aule di alta formazione e un Polo Archivistico con aule di consultazione, un centro studi e un deposito a servizio degli Archivi di Stato di Torino, Asti, Biella, Cuneo e Verbania afferenti alla Direzione Generale Archivi del Ministero della Cultura. In questo modo, il progetto di riqualificazione non solo vuole evitare la costruzione di edifici che impatterebbero negativamente sul tessuto cittadino in termini di sostenibilità ambientale, ma intende sfruttare anche una zona la cui raggiungibilità e fruibilità sarebbe garantita dalla realizzazione della ML2. In questo senso il complesso industriale costituisce un elemento chiave nell'area urbana NE di Torino ed un possibile utilizzatore dell'energia prodotta dall'attivazione termica delle strutture della ML2. In particolare quindi risulta di sicuro interesse utilizzare il surplus energetico presente nella stazione di collegamento impianti più prossima al complesso (Stazione di Cimarosa-Tabacchi) per coprire una parte dei fabbisogni di questo complesso.

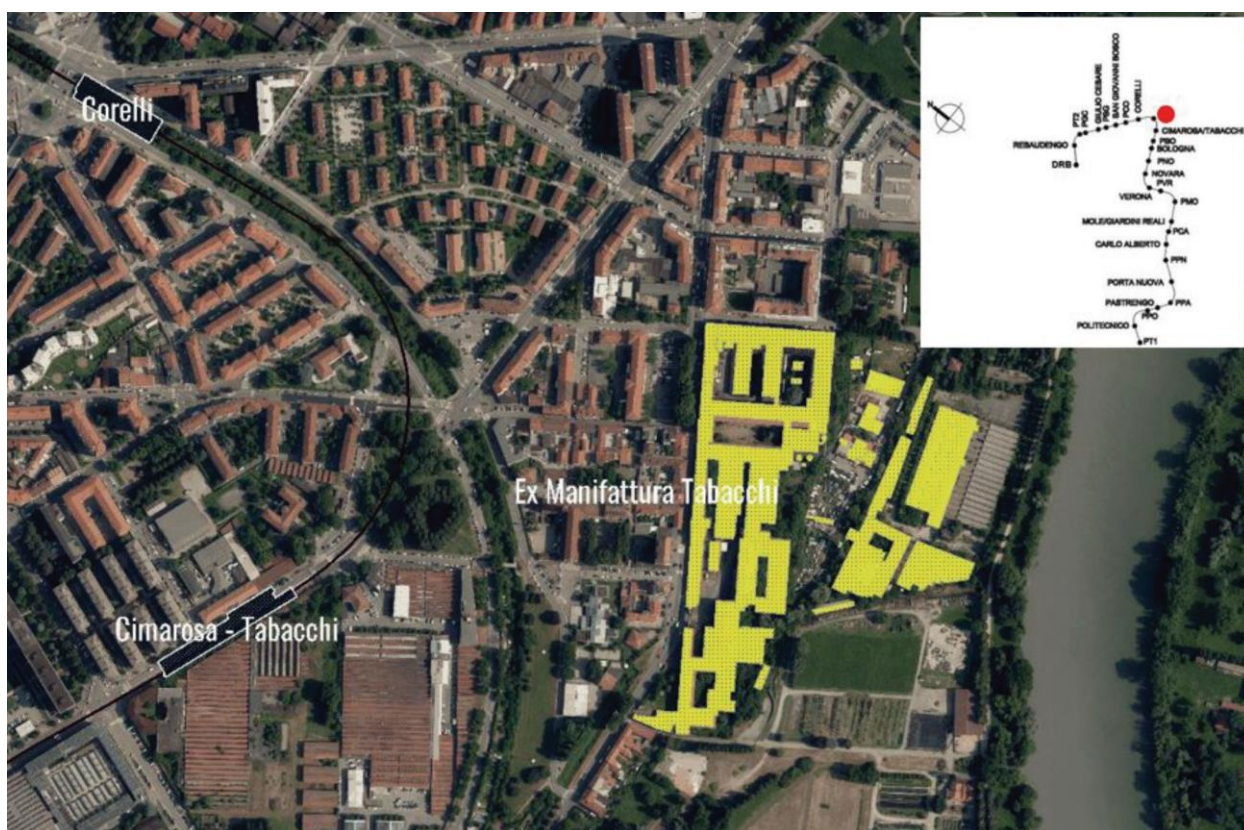


Figura 5. Ortofoto con indicazione della posizione dell'ex-Manifattura Tabacchi rispetto al tracciato della Linea 2 (Politecnico di Torino, 2022).

L'edificio sede di Infratrasporti.To Srl è ubicato in Corso Novara 96, direttamente in adiacenza alla stazione di linea Novara in progetto (Figura 6). Si tratta di un edificio di 9 piani sede di attività terziarie con superficie complessiva d'impronta pari a circa 1000 m² e volumetria stimata di circa 30000 m³ che potrebbe direttamente beneficiare dell'energia prodotta dall'attivazione termica delle strutture della ML2. Si ritiene quindi possibile utilizzare l'intero surplus energetico presente



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto

MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

alla stazione di collegamento impianti di Novara per coprire una parte del fabbisogno energetico di questo edificio.

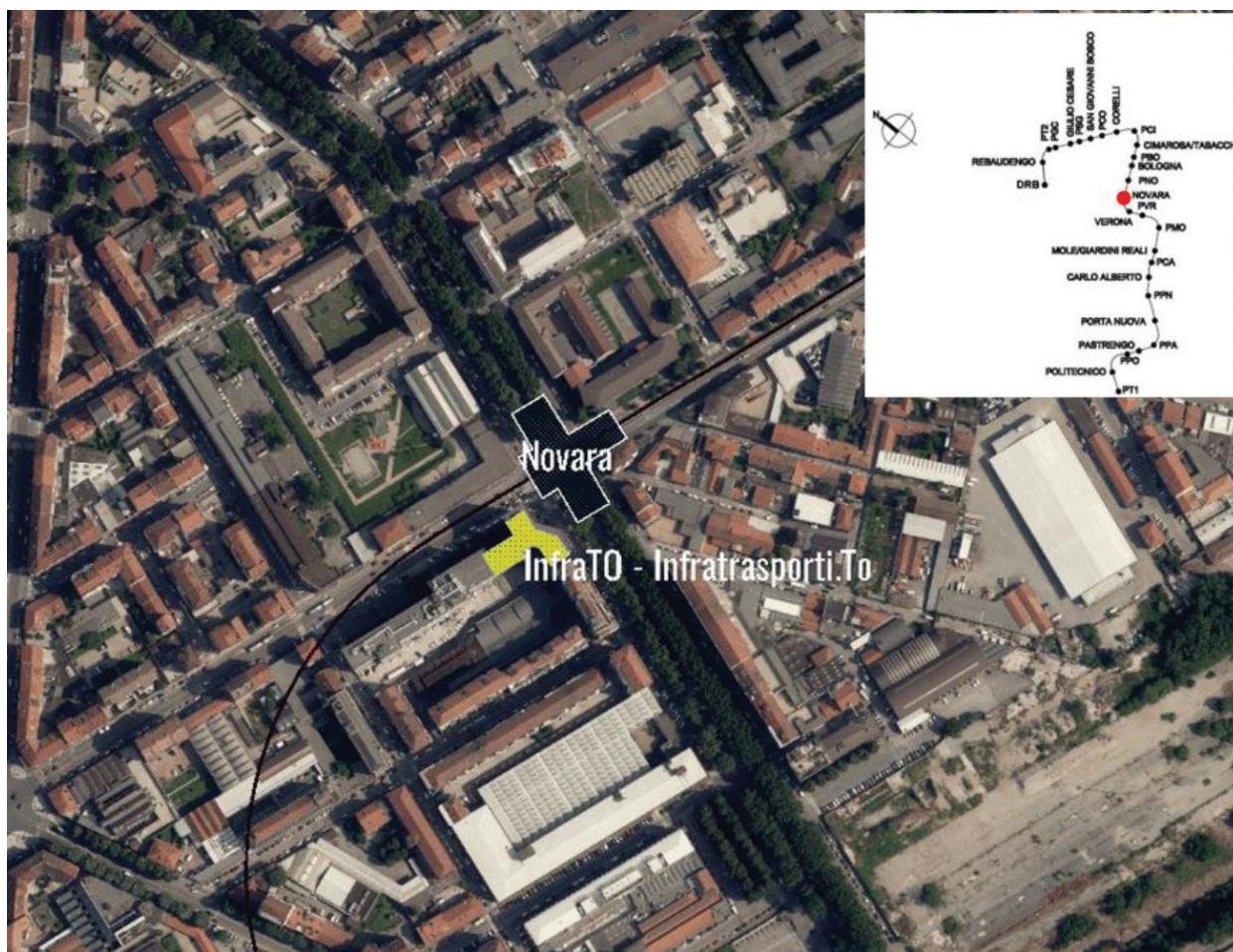


Figura 6. Ortofoto con indicazione dell'ubicazione dell'edificio sede di Infratrasporti.To srl rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).

Il Campus Luigi Einaudi (CLE) è un campus universitario dell'università degli Studi di Torino (sede delle Scuole di scienze giuridiche, politiche ed economico-sociali) sito in Lungo Dora Siena (Figura 7) circa in mezz'ora al tratto di linea compreso tra le stazioni Mole Giardini Reali e Verona da cui dista rispettivamente circa 420 e 450 m. L'edificio del campus, costruito su una porzione dell'area industriale dismessa Italgas, è stato inaugurato nel 2012 e comprende anche la palazzina Einaudi, precedentemente sede degli uffici di Italgas. L'edificio del CLE si offre anche come sede di convegni, mostre e incontri nazionali e internazionali e di conseguenza, ricade tra gli edifici di notevole rilevanza culturale e sociale della città di Torino. Il Campus copre circa 45000 m² di superficie e 14000 m² di verde, con 70 aule per 8000 studenti e 5 biblioteche. Per coprire una porzione del fabbisogno degli edifici del CLE si propone l'utilizzo del surplus energetico presente alla stazione di collegamento impianti di Mole Giardini Reali. Un ulteriore collegamento diretto



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto

MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

degli impianti alla stazione Verona non risulta invece fattibile in termini di costi benefici per la presenza dell'alveo della Dora Riparia che sarebbe necessario attraversare.

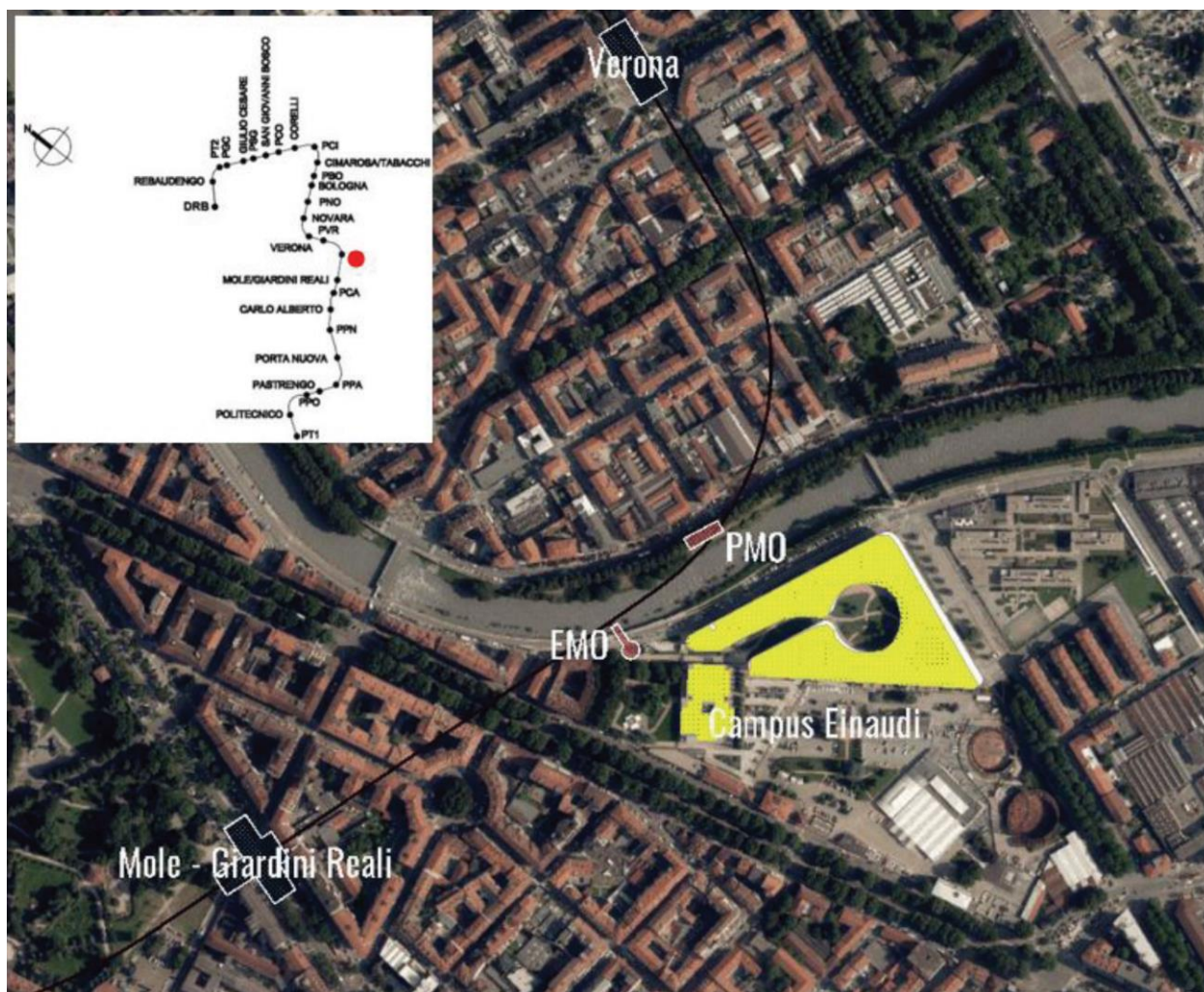


Figura 7. Ortofoto con indicazione dell'ubicazione del Campus Universitario Luigi Einaudi (CLE) rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).

Spostandosi progressivamente più a sud, ulteriore ricettore primario è costituito dagli edifici della Cavallerizza Reale, complesso monumentale limitrofo al Palazzo Reale di Torino e residenza storica Sabauda (Figura 8). L'edificio si colloca nel centro storico della città di Torino e dal 1997 è Patrimonio Mondiale dell'Umanità. Attualmente si è in attesa dell'approvazione del PUR (Piano Unitario di Riqualificazione) da parte del Comune che ne preveda la valorizzazione come Polo Culturale. Inoltre, il PRG di Torino indica l'area come "area di interesse culturale e ambientale" mentre i suoi edifici sono sottoposti a vincolo secondo la L.R. n.56 del 1977. Il progetto unitario di riqualificazione (Deliberazione della Giunta Comunale del 20/11/2012, disponibile al geoportale del comune di Torino) del complesso della Cavallerizza Reale pone tra i suoi obiettivi anche quello



di una riqualificazione energetica e ambientale globale. Nell’ottica del recupero e restauro dell’edificio che prevede inoltre l’installazione di un impianto geotermico a circuito aperto per la climatizzazione degli spazi interni, la Cavallerizza Reale si presta quindi come possibile ricettore del surplus energetico presente alla stazione di collegamento impianti di Carlo Alberto da cui dista circa 190 m. In alternativa all’edificio della Cavallerizza, in adiacenza al pozzo PCA si trova l’edificio del rettorato dell’Università degli Studi di Torino che, avendo anche volumetrie inferiori, potrebbe rappresentare un ricettore ottimale. In questo caso nelle fasi successive di progettazione si potrà valutare una riorganizzazione degli impianti in modo tale da riutilizzare il pozzo PCA come elemento di estrazione del calore ottimizzando le distanze di trasporto.

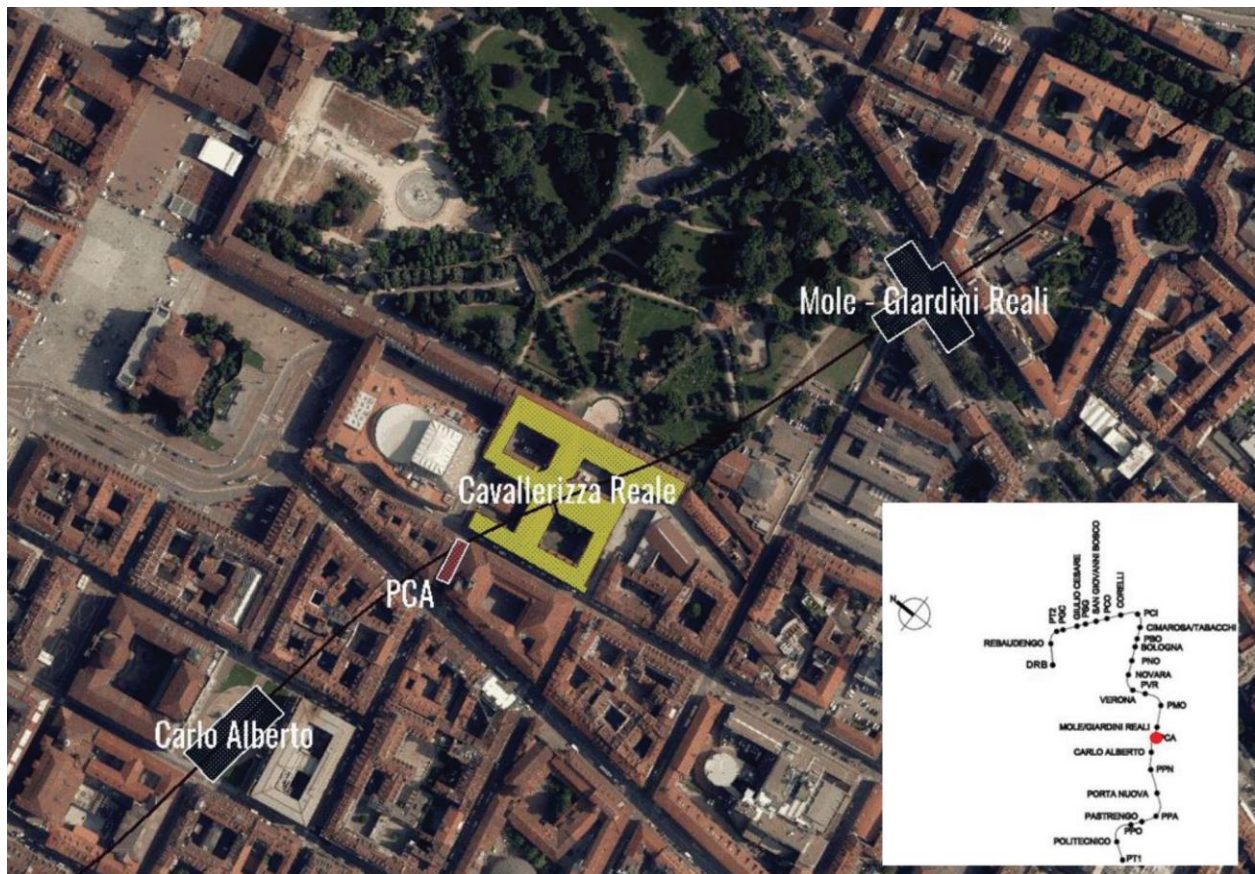


Figura 8. Ortofoto con indicazione dell’ubicazione dell’Edificio della Cavallerizza Reale rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).

L’edificio che ospita il centro commerciale La Rinascente, sebbene individuato come ricettore primario nel lavoro del Politecnico di Torino (2022), non viene in questa sede ulteriormente approfondito in quanto non risultano disponibilità energetiche sfruttabili alle stazioni di collegamento impianti limitrofe (Carlo Alberto e Porta Nuova).



CITTA' DI TORINO

Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta:
Politecnico – Rebaudengo

Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto

MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

Altro ricettore primario individuato è la Stazione ferroviaria di Porta Nuova (Figura 9), la principale stazione di Torino, ma anche la terza in Italia per flusso di passeggeri. Oltre a garantire la circolazione di 450 treni al giorno, la stazione consente l'interscambio con le linee di pullman e dei tram, oltre che con la linea 1 della metropolitana. L'impianto (configurato come stazione di testa composta da 20 tronchi di coppie di rotaie) è gestito dalla Rete Ferroviaria Italiana (RFI), mentre il fabbricato viaggiatori (area commerciale) da Grandi Stazioni. Quest'ultimo si articola su tre piani: piano terra con mezzanino per le attività commerciali, piano sotterraneo (occupato da locali delle divisioni FS, dai magazzini delle attività commerciali e dal collegamento diretto con la metropolitana) e piano superiore recentemente ristrutturato. La centrale termica, gli uffici e i locali tecnici della stazione, assieme ai binari e il fabbricato viaggiatori, si trovano al piano terra. Dal Rapporto di Sostenibilità di Ferrovie dello Stato, si apprende che nel 2018 era anche stato definito un intervento di manutenzione straordinaria, adeguamento a norma e efficientamento energetico della centrale termica storica e di quella a servizio delle attività commerciali di stazione. Considerata l'attiguità con la nuova stazione di Porta Nuova della ML2, il surplus energetico che caratterizza questa stazione di collegamento impianti (il maggiore presente lungo la ML2) potrà essere completamente utilizzato per coprire una parte dei consumi energetici richiesti dal fabbricato.

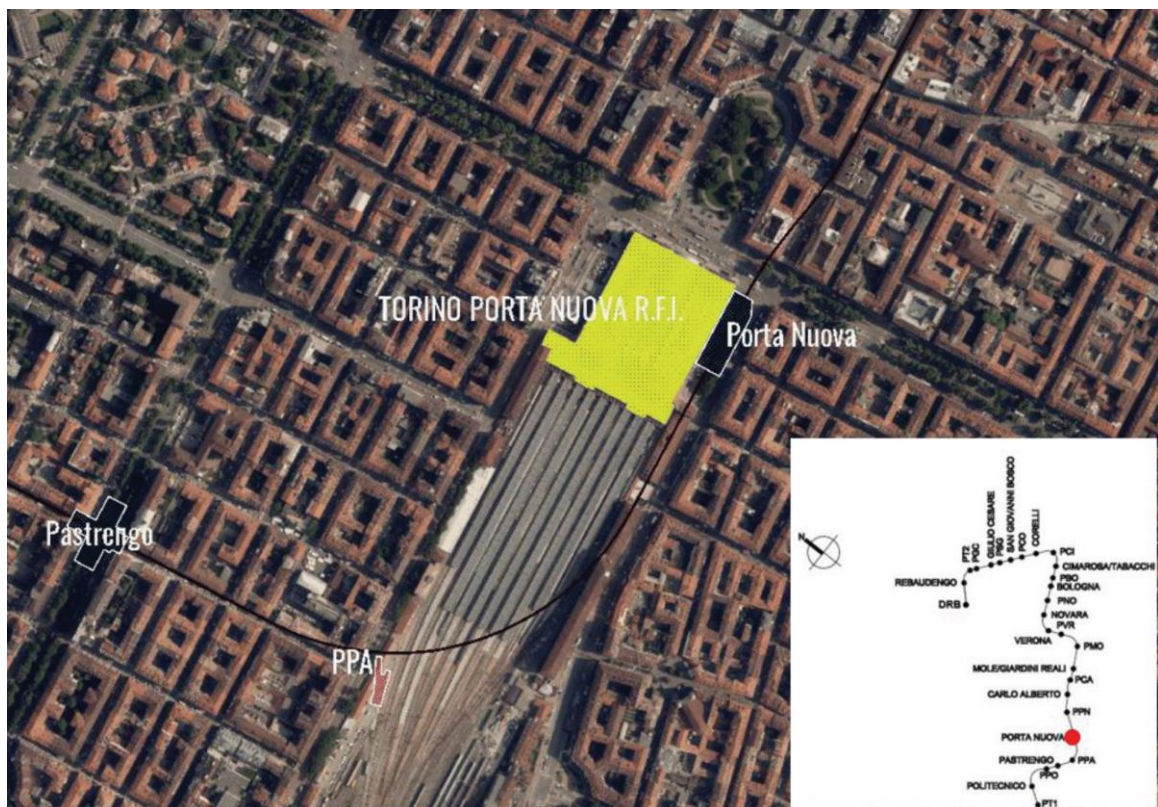


Figura 9. Ortofoto con indicazione dell'ubicazione della Stazione ferroviaria di Porta Nuova rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).



Da ultimo, la sede centrale del Politecnico di Torino è stata identificata come un possibile ricettore primario per il calore in surplus derivante dall'attivazione termica delle tratte attigue della ML2. L'impronta complessiva degli edifici della sede centrale in senso stretto (ovvero gli edifici compresi tra Corso Duca degli Abruzzi, Corso Castelfidardo, Corso Peschiera e Corso Montevecchio) è pari a circa 40000 m² (Figura 10). Questo complesso di edifici si trova entro un raggio di circa 200 m dalla stazione in progetto omonima e risulta essere un insieme di edifici caratterizzati da fabbisogni energetici molto elevati, stante la presenza di numerose aule didattiche, laboratori con strumentazione per ricerche.

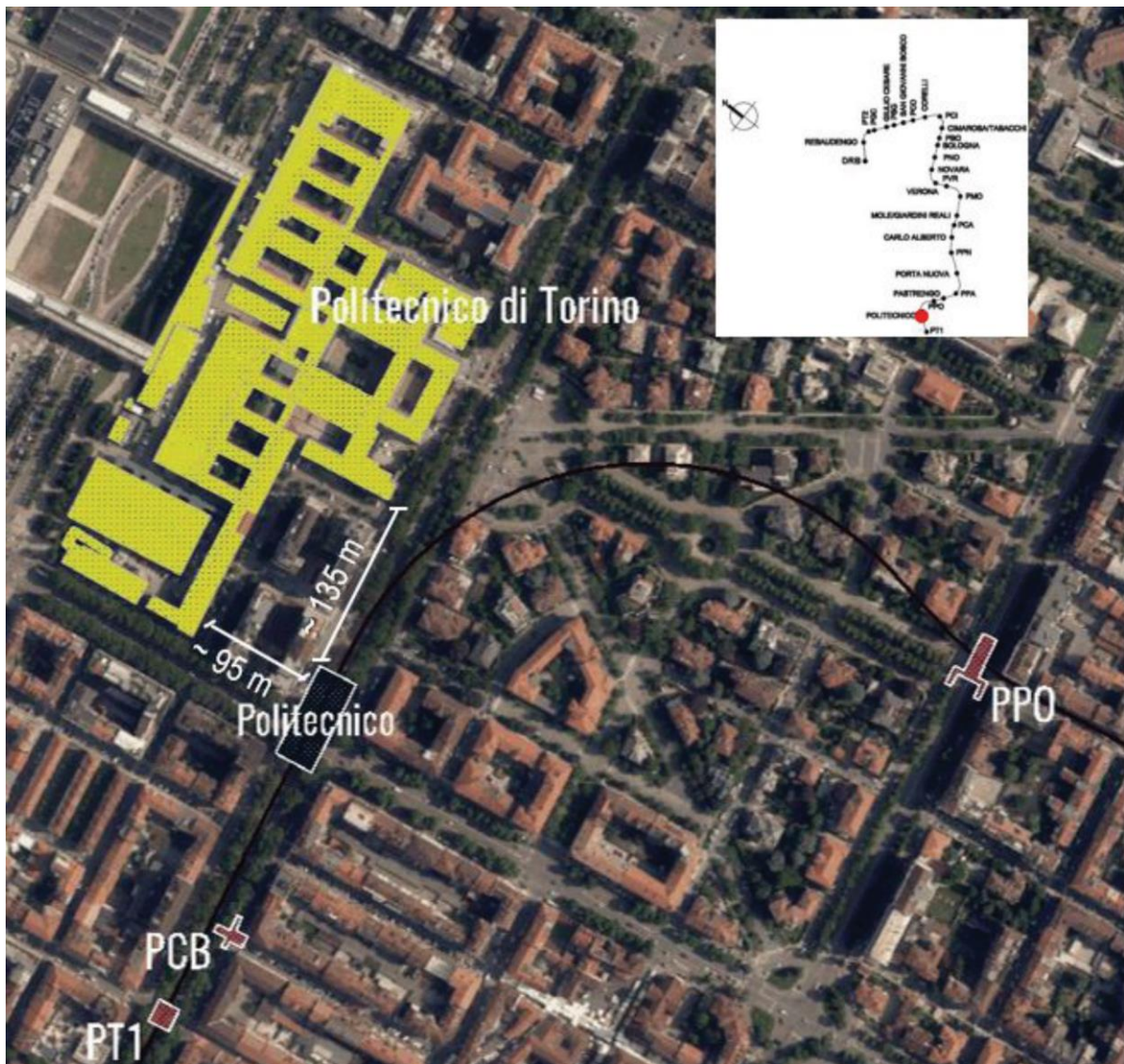



Figura 10. Ortofoto con indicazione dell'ubicazione della sede centrale del Politecnico di Torino rispetto al tracciato della ML2 (Politecnico di Torino, 2022).

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

Si deve sottolineare che all'interno del complesso universitario sono già presenti alcuni impianti di climatizzazione e ventilazione che sono alimentati in piccola parte mediante fonti di energia rinnovabile (fotovoltaico e geotermico a bassa entalpia) ed impianti innovativi per la produzione di calore, freddo ed elettricità. È inoltre in corso di realizzazione il parcheggio interrato dell'ateneo, nell'area delle ex officine ferroviarie OGR, che prevede l'attivazione termica dei diaframmi perimetrali e pertanto la produzione di energia geotermica ad uso delle strutture presenti nell'area della Cittadella (tra Corso Castelfidardo e Corso Ferrucci). Complessivamente, la struttura dell'ateneo consuma oltre 5000 tonnellate equivalenti di petrolio (TEP) e, di questi consumi energetici, oltre l'81% viene assorbito dalla sede principale (Corso Duca degli Abruzzi e Cittadella). L'utilizzo è ai fini di produzione di calore (53.4%), illuminazione, freddo, apparecchiature elettriche (46.6% complessivamente). Allo stato attuale il Politecnico di Torino acquista calore principalmente dalla rete di teleriscaldamento (TLR) e una piccola quantità di gas naturale per le sedi decentrate, non servite da TLR. Risulta quindi di sicuro interesse l'utilizzazione dell'intero surplus energetico presente alla stazione di collegamento Politecnico per coprire una piccola aliquota dei fabbisogni energetici della sede centrale del campus universitario.


3.2 Individuazione degli ulteriori ricettori

Al capitolo precedente sono stati individuati i ricettori primari a cui sulla base degli elevati fabbisogni energetici (che saranno stimati in dettaglio nel capitolo successivo) viene destinato l'intero surplus disponibile proveniente dalle più vicine stazioni di collegamento impianti.

Sono tuttavia presenti lungo la linea alcune stazioni di collegamento impianti che non risultano direttamente utilizzabili per fornire energia a ricettori primari. Queste stazioni in particolare sono:

- Pastrengo;
- Verona;
- Bologna;
- Corelli;
- Giulio Cesare.

In questi casi è stata adottata la medesima metodologia impiegata nel PFTE volta all'individuazione di tutti gli ulteriori edifici presenti in un intorno significativo delle stazioni di collegamento impianti. A partire quindi dal perimetro in pianta delle stazioni è stata calcolata in ambiente GIS un'area di interesse rappresentata da un buffer di estensione pari a 100 m attorno a questi elementi. Per l'inclusione o meno degli edifici di interesse all'interno delle aree di buffer, poiché molti elementi poligonali risultavano a cavallo del limite del buffer, è stato dapprima calcolato il centroide relativo ad ogni elemento poligonale tramite procedura automatizzata all'interno del software GIS. Successivamente nell'analisi si è preso a riferimento tale centroide (ovvero un elemento puntuale che possiede comunque tutti gli attributi dell'elemento poligonale) per verificare l'inclusione o meno all'interno dell'area. In questo modo i poligoni che

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX


rappresentano gli edifici, tramite i rispettivi centroidi, sono stati selezionati soltanto se la loro superficie ricadeva per almeno il 50% all'interno dell'area di interesse.

A titolo di esempio nella Figura 11 viene mostrata l'area di buffer attorno alla stazione di Verona, con evidenziati i centroidi degli edifici ricadenti all'interno dell'area di buffer medesima. Per l'identificazione dei possibili ricettori sono stati presi in considerazione le particelle catastali dei fabbricati disponibili in formato shapefile poligonale all'interno del catalogo del Geoportale della Regione Piemonte.



Figura 11. Esempio di area di buffer attorno alla stazione Verona e centroidi (in rosso) degli edifici individuati come possibili ricettori.

In questa sede quindi le unità catastali dei fabbricati sono state considerate equivalenti agli edifici. Unitamente all'informazione catastale (foglio e particella), i dati relativi agli edifici sono state integrate attraverso le informazioni contenute nello shapefile poligonale degli edifici estratti dalla

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti (BDTRE) della Regione Piemonte, disponibile anch'essa all'interno del Geoportale precedentemente citato. In particolare da questo shapefile sono state ricavate le informazioni riguardanti le tipologie di utilizzo di edifici (residenziale, commerciale ed industriale) e l'eventuale presenza di edifici "strategici" pubblici e/o di particolare interesse per la comunità. Sono stati quindi selezionati nel presente lavoro come edifici di particolare interesse le seguenti categorie:

- Edifici scolastici statali o paritari di qualsiasi ordine e grado;
- Edifici sedi di ospedali pubblici e cliniche/presidi private;
- Edifici sedi di uffici anagrafici, uffici postali, uffici di informazioni turistiche;
- Edifici sedi di stazioni ferroviarie;
- Edifici sedi di musei e gallerie d'arte e palazzi di particolare interesse storico-architettonico;
- Edifici sedi di questure e commissariati, caserme dei Carabinieri, Vigili del Fuoco, Guardia di Finanza, Polizia Municipale, Protezione Civile, Carceri;
- Edifici con sedi amministrative della Città di Torino, della Città Metropolitana di Torino e della Regione Piemonte;
- Edifici sedi di luoghi di culto (chiese cattoliche e non cattoliche);
- Edifici sedi di biblioteche civiche;
- Palestre, impianti sportivi e relative pertinenze;
- Edifici sedi di gallerie commerciali.

Le informazioni di dettaglio relative all'ubicazione degli edifici strategici sono state reperite all'interno del catalogo del Geoportale della Città di Torino.

Sulla base di tutte le informazioni precedentemente raccolte è stato possibile selezionare gli ulteriori ricettori posti in adiacenza alle stazioni di collegamento impianti precedentemente elencate per le quali non era presente nelle vicinanze un ricettore primario. Anche in questo caso si è data priorità agli edifici "strategici" pubblici e/o di particolare interesse per la comunità ed in particolare alle scuole. In dettaglio sono stati individuati i seguenti ricettori:

- Edificio ad uso abitativo posto al civico 171 di Corso Giulio Cesare per la stazione di collegamento impianti di Giulio Cesare (Figura 12);
- Edificio ad uso abitativo posto al civico 231 di Via Gottardo per la stazione di collegamento impianti di Corelli (Figura 13);
- Istituto d'Istruzione Secondaria Superiore "J.B. Beccari" ubicata al civico 22 di Via Niccolò Paganini per la stazione di collegamento impianti di Bologna (Figura 14);
- Edifici ad uso abitativo posti ai civici 33 e 25 di Corso Regio Parco e al civico 22 di Corso Verona per la stazione di collegamento impianti di Verona (Figura 15);
- Scuola Primaria Statale "Rignon" ubicata al civico 39 di Via Massena per la stazione di collegamento impianti di Pastrengo (Figura 16).

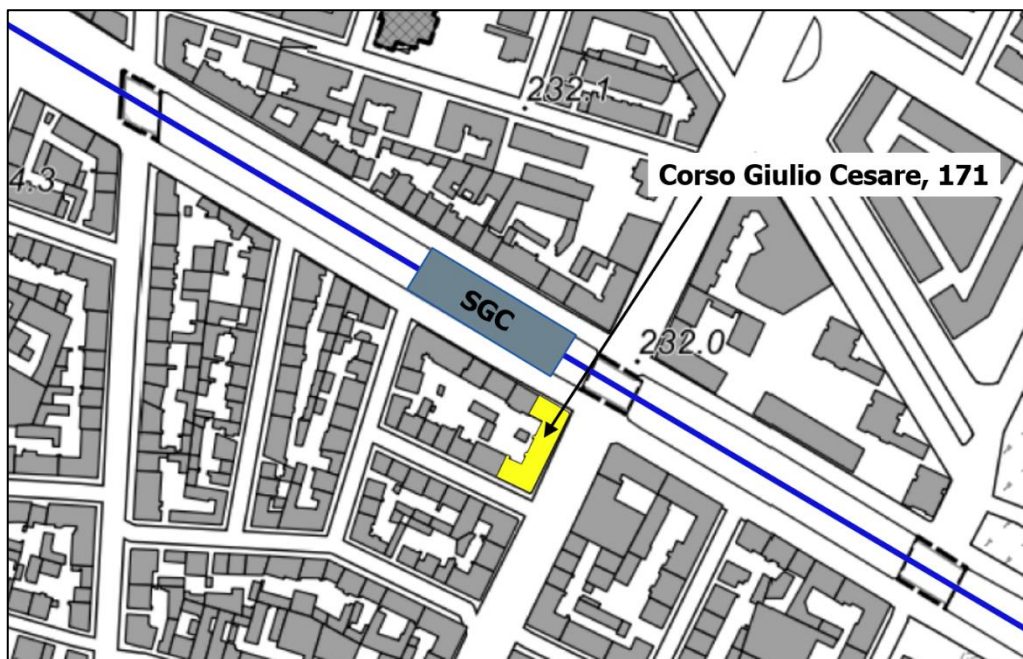


Figura 12. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di San Giovanni Bosco (SGC).

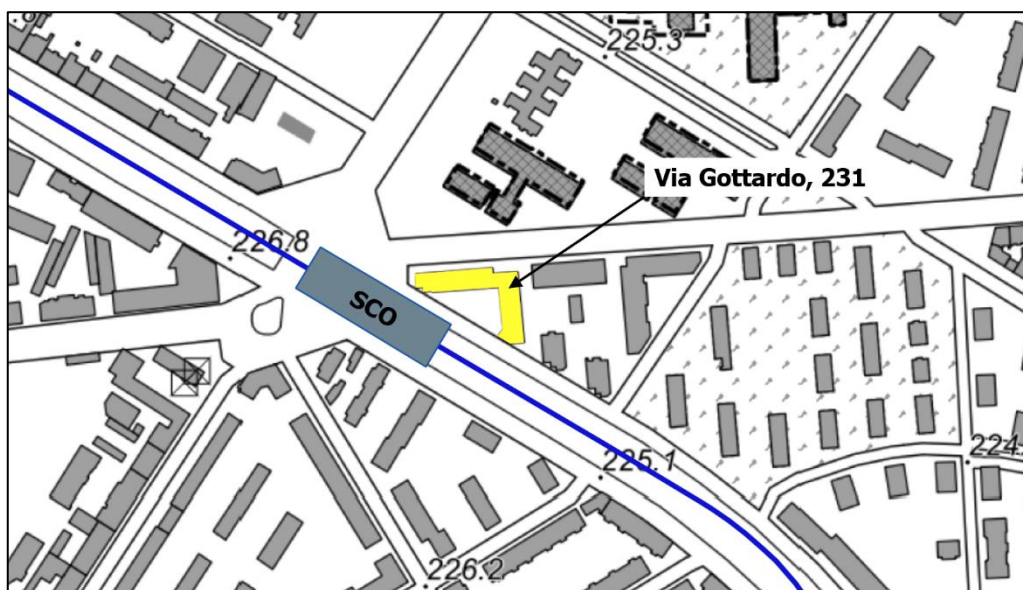


Figura 13. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Corelli (SCO).

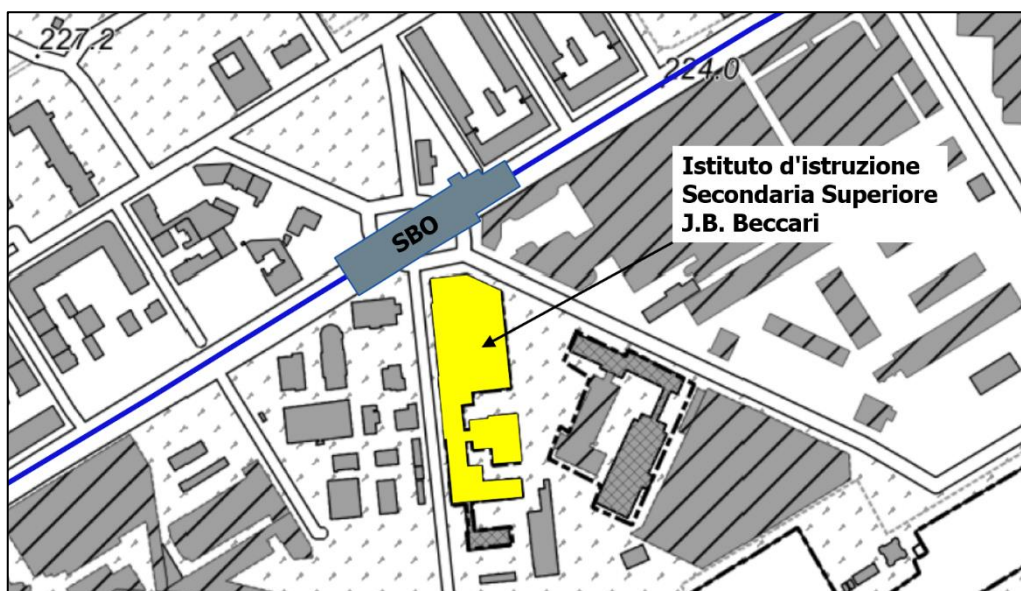


Figura 14. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Bologna (SBO).

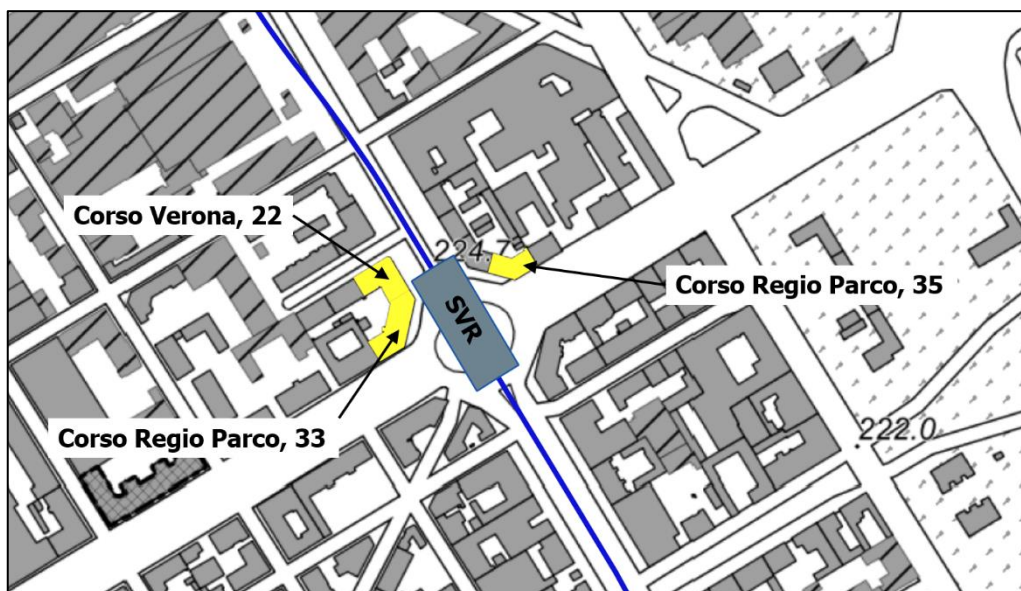


Figura 15. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Verona (SVR).

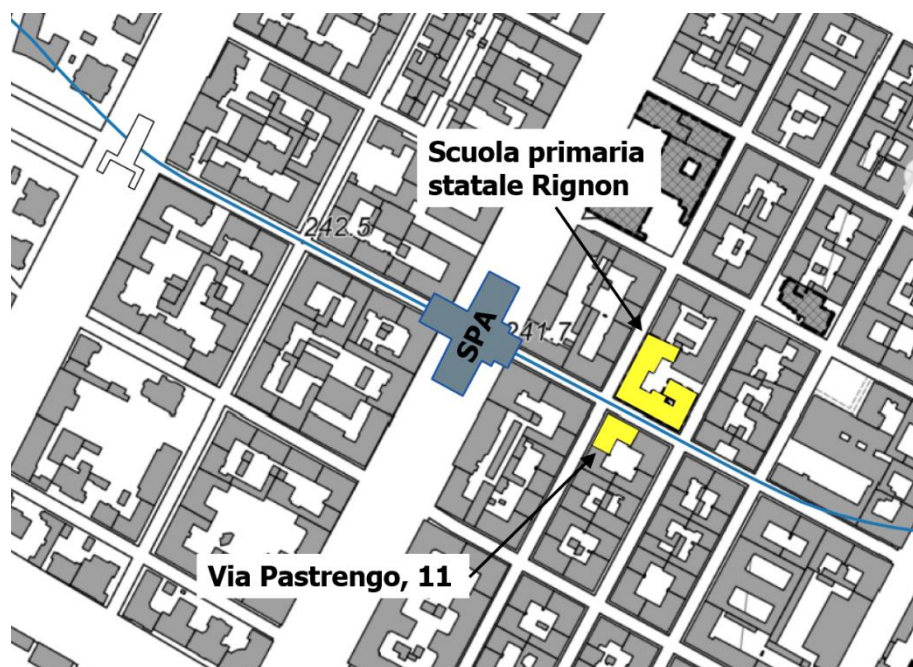



Figura 16. Ubicazione planimetrica dei ricettori selezionati nelle vicinanze della stazione di collegamento impianti di Pastrengo (SPA).

Nella Tabella 5 vengono sintetizzati i risultati dell'individuazione degli ulteriori ricettori attorno alle stazioni Pastrengo, Verona, Bologna, Corelli e Giulio Cesare.

Tabella 5. Sintesi dei risultati relativi all'individuazione degli ulteriori ricettori nelle aree di buffer attorno alle stazioni di collegamento impianti Pastrengo, Verona, Bologna, Corelli e Giulio Cesare.

Stazioni di collegamento impianti	Edifici totali (U. catast.)	Edifici residenziali (U. catast.)	Edifici industriali (U. catast.)	Edifici commerciali (U. catast.)	Edifici strategici (U. catast.)	Note
Pastrengo	71	71	-	-	1	Scuola Primaria Statale "Rignon"
Verona	61	58	3	-	-	-
Bologna	33	31	1	-	1	Istituto d'istruzione Secondaria Superiore - "J.B. Beccari"
Corelli	19	19	-	-	-	-
Giulio Cesare	109	109	-	-	-	-

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

3.3 Stima dei fabbisogni dei ricettori esterni

In questo capitolo viene fornita una stima dei fabbisogni di tutti i ricettori individuati nei precedenti Capitoli 3.1 e 3.2.

La metodologia adottata per questa stima ha previsto dapprima il reperimento di tutti i dati utili presenti in letteratura e disponibili online per definire in particolare i fabbisogni dei ricettori esterni primari. I dati reperiti non sono stati ovviamente esaustivi per condurre un'analisi completa e si è quindi fatto ricorso ad una metodologia di stima integrativa che potesse colmare le lacune derivanti dalla mancanza di misure e calcoli specifici.

Si sottolinea quindi che la metodologia adottata fornisce soltanto una stima di massima dei fabbisogni dei ricettori e che risulta maggiormente affidabile per gli edifici ad uso residenziale classificabili come standard rispetto alle tipologie costruttive più diffuse nei contesti urbani dell'Italia settentrionale. Per altri edifici di altra tipologia, come in particolare per buona parte dei ricettori primari, la metodologia applicata risulta meno accurata ed in genere tende a sottostimare il reale fabbisogno energetico. Quest'ultimo può essere quindi individuato in maniera precisa soltanto attraverso misure e calcoli specifici che tuttavia esulano completamente dagli scopi del presente progetto.


Per quanto concerne il presidio ospedaliero San Giovanni Bosco sono stati reperiti dati storici specifici di consumo energetico (Politecnico di Torino, 2020) mostrati nella Tabella 6 che sono stati utilizzati per confrontare le stime del fabbisogno derivanti dalla metodologia applicata e descritta sopra.

Elemento di estrema utilità ai fini della applicazione della metodologia per il calcolo del fabbisogno energetico è risultato il progetto TABULA per l'Italia (Typology Approach for BUilDing stock energy Assessment, 2009-2012), finanziato dal programma europeo Intelligent Energy Europe, rivolto a creare una struttura armonizzata delle tipologie edilizie residenziali europee. Ogni tipologia nazionale è costituita da un insieme di edifici residenziali modello con tipiche caratteristiche energetiche. Ciascun edificio rappresenta un determinato periodo di costruzione e una specifica dimensione. Gli edifici-tipo possono essere utilizzati in ciascun paese come mezzo per rendere nota la prestazione energetica ed i potenziali di risparmio energetico raggiungibili attraverso azioni di riqualificazione dell'involucro edilizio e degli impianti termici (Corrado et al., 2014). All'interno di uno specifico webtool disponibile al sito <https://webtool.building-typology.eu/#bm> è quindi possibile reperire per ogni tipologia di edificio le informazioni di base riguardanti i fabbisogni annui di energia per il riscaldamento e la generazione di acqua calda sanitaria.

**Tabella 6. Dati storici di consumo energetico relativi al Presidio Ospedaliero San Giovanni Bosco (Politecnico di Torino, 2020)**

periodo	consumo gas naturale (Sm ³)	energia termica (GWh)	temperatura esterna media (°C)
2017 dicembre	206.031	1,68	3,1
2018 gennaio	158.714	1,29	6,5
febbraio	169.291	1,38	4,0
marzo	150.068	1,22	7,9
aprile	85.439	0,70	16,2
maggio	56.769	0,46	18,5
giugno	49.575	0,40	23,7
luglio	42.495	0,35	26,0
agosto	39.529	0,32	25,9
settembre	45.113	0,37	21,7
ottobre	66.971	0,55	15,7
novembre	114.407	0,93	9,7
dicembre	171.436	1,40	4,9
2019 gennaio	192.744	1,57	7,2
febbraio	150.268	1,22	11,4
marzo	114.103	0,93	13,2
aprile	96.793	0,79	15,6
maggio	76.901	0,63	23,7
giugno	61.959	0,51	24,0
luglio	61.973	0,51	25,6
agosto	62.224	0,51	24,7
settembre	66.611	0,54	20,0
ottobre	84.094	0,69	15,8
novembre	120.104	0,98	8,0
fabbisogno annuo medio (12 mesi)		10,66	

Il primo step della metodologia è consistito nel calcolo delle aree di impronta degli edifici e dalla conseguente stima della superficie complessiva combinando l'area di impronta con il numero di piani medi della struttura medesima. Si tratta di un numero medio di piani poiché molte strutture tra quelle considerate presentano porzioni caratterizzate da volumetrie differenti ed è quindi necessario stimare un numero di piani equivalente rappresentativo per l'intera struttura. A partire dal numero di piani equivalenti è stata poi calcolata la superficie complessiva del ricettore. Successivamente a questo step sono stati selezionati i parametri principali contenuti nel database TABULA da prendere in considerazione per stimare il fabbisogno annuo di energia primaria per il riscaldamento e la produzione di acqua calda di ogni ricettore. Tra questi particolare importanza assumono l'individuazione della Zona climatica, la classe di epoca di costruzione e la classe di dimensione edilizia degli edifici. A titolo di esempio nelle Figure 17 e 18 vengono mostrate rispettivamente la classificazione delle zone climatiche italiane da cui si evince che l'area urbana

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

di Torino ricade in Zona climatica media "E" e la matrice delle tipologie edilizie italiane con l'illustrazione degli edifici tipo.

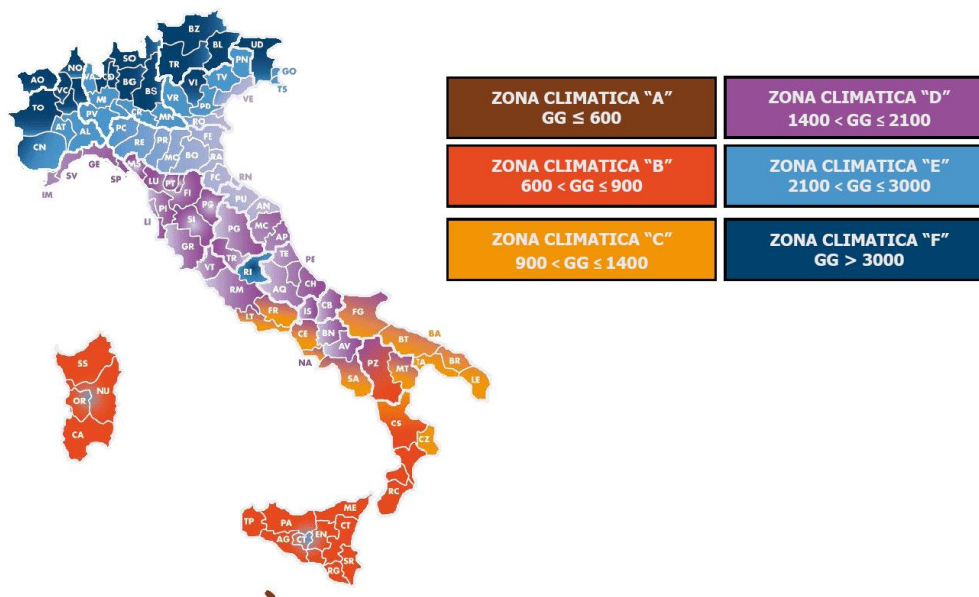


Figura 17. Indicazione delle zone climatiche all'interno del territorio nazionale italiano (Corrado et al., 2014).

A partire da questi dati è quindi possibile individuare il valore annuo di energia primaria al metro quadrato per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria. A titolo cautelativo i valori presi in considerazione in questo lavoro sono quelli relativo allo stato originario dell'edificio senza quindi alcun intervento di riqualificazione energetica della struttura e/o degli impianti di riscaldamento successivi alla costruzione. Il fabbisogno di energia primaria così ottenuto per i differenti edifici ricettori presi in considerazione risulta compreso tra circa 95 e 220 kWh/m².

Combinando il dato precedente con la superficie complessiva precedentemente calcolata ed ipotizzando il funzionamento degli impianti di riscaldamento per 13 ore al giorno e per 180 giorni all'anno è stato possibile ottenere il fabbisogno istantaneo invernale in kW per ogni ricettore. Per la stima del fabbisogno energetico estivo, ovvero il fabbisogno per il raffrescamento, non disponendo di dati precisi all'interno del database TABULA, si è fatto ricorso a dati di letteratura e a dati di archivio disponibili online per la città di Torino. Questi dati evidenziano un fabbisogno istantaneo estivo pari a circa l'80% del fabbisogno invernale.



CLASSE DI DIMENSIONE EDILIZIA


Area climatica media		CASE MONOFAMILIARI	CASE A SCHIERA	EDIFICI MULTIFAMILIARI	BLOCCHI DI APPARTAMENTI
CLASSE DI EPOCA DI COSTRUZIONE	1 Fino al 1900				
	2 1901-1920				
	3 1921-1945				
	4 1946-1960				
	5 1961-1975				
	6 1976-1990				
	7 1991-2005				
	8 Dopo il 2005				

Figura 18. "Matrice della Tipologia Edilizia" italiana (area climatica media "E") con l'illustrazione degli edifici-tipo. Gli archetipi sono illustrati attraverso un volumetrico semplificato (Corrado et al., 2014).

I risultati delle stime dei fabbisogni per tutti i ricettori individuati espressi come potenza termica istantanea (di picco) vengono riassunti nella Tabella 7 nella quale viene riportata anche la classe di copertura dei fabbisogni invernali ed estivi dei ricettori individuati. Le quattro classi riportate esprimono quindi la percentuale di copertura dei fabbisogni secondo il seguente schema:

- Classe "Bassa" per i casi in cui il surplus energetico disponibile copre una porzione compresa tra lo 0 e il 33% del fabbisogno complessivo dei ricettori;
- Classe "Media" per i casi in cui il surplus energetico disponibile copre una porzione maggiore del 33% ed inferiore al 66% del fabbisogno complessivo dei ricettori;
- Classe "Alta" per i casi in cui il surplus energetico disponibile copre una porzione maggiore del 66% ed inferiore al 100% del fabbisogno complessivo dei ricettori;
- Classe "Completa" per i casi in cui il surplus copre completamente il fabbisogno dei ricettori o eccede il fabbisogno medesimo.

Per le condizioni di funzionamento invernale per le dodici stazioni di collegamento impianti si ottengono così cinque situazioni di copertura in classe alta a fronte di sette situazioni con copertura in classe bassa. La situazione migliora sensibilmente per le condizioni di funzionamento estive per le quali si ottiene un completo soddisfacimento delle esigenze termiche per tre stazioni di collegamento impianti, due condizioni di copertura alta, una condizione di copertura media e sei situazioni con copertura dei fabbisogni bassa.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

Si sottolinea in particolare che per l’Ospedale San Giovanni Bosco i risultati ottenuti attraverso la metodologia adottata forniscono dei fabbisogni annui (13.2 GWh) confrontabili con il valore riportato nella Tabella 6 e pari a 10.7 GWh che evidenzia una discreta accuratezza nella stima prodotta.

Nello specifico, la Tabella 7 mostra che per tutti i ricettori primari individuati i surplus energetici provenienti dalle rispettive stazioni di collegamento impianti descritte al Capitolo 3.1 forniscono una porzione dei fabbisogni energetici richiesti. Per l’edificio sede di Infratrasporti.To ubicato in Corso Novara angolo via Bologna, il surplus energetico proveniente dalla stazione di collegamento impianti di Novara risulta sufficiente a soddisfare il fabbisogno energetico estivo (di cui rimane tra l’altro un ulteriore surplus di circa 70 kW) e quasi sufficiente (classe alta) a soddisfare il fabbisogno energetico invernale dell’edificio.

Riguardo ai ricettori secondari è interessante evidenziare le specifiche condizioni della stazione di collegamento impianti di Verona il cui surplus energetico è capace di soddisfare completamente i fabbisogni energetici estivi (con un ulteriore surplus di circa 30 kW) e quasi completamente (classe alta) i fabbisogni invernali di tre edifici residenziali posti nelle sue immediate vicinanze nonché della stazione di Pastrengo il cui surplus energetico risulta in grado di coprire la quasi totalità dei fabbisogni della Scuola primaria statale “Rignon” e di un edificio residenziale.

Un’altra situazione di elevato interesse risulta la stazione di collegamento impianti di Bologna il cui surplus energetico può essere indirizzato per coprire circa il 45% (classe media) del fabbisogno termico invernale e circa il 60% (classe media) del fabbisogno termico estivo dell’Istituto d’istruzione Secondaria Superiore “J.B. Beccari”.

Tabella 7. Tabella riepilogativa della stima dei fabbisogni energetici per i differenti ricettori individuati e confronto con i surplus disponibili ad ogni singola stazione di collegamento impianti.

Stazione di collegamento impianti	Surplus estate [kW]	Surplus inverno [kW]	Ricettore	Stima fabbisogno istantaneo estivo ricettore [kW]	Stima fabbisogno istantaneo invernale ricettore [kW]	Classe di copertura estiva	Classe di copertura invernale
Stazione Giulio Cesare	228	203	Edificio residenziale in Corso Giulio Cesare, 171	320	390	Alta	Media
Stazione San Giovanni Bosco	147	117	Ospedale San Giovanni Bosco	4630	5650	Bassa	Bassa
Stazione Corelli	356	302	Edificio residenziale in Via Gottardo, 231	620	750	Media	Media
Stazione Cimarosa-Tabacchi	438	414	Ex-Manifattura Tabacchi	8150	9950	Bassa	Bassa



Stazione di collegamento impianti	Surplus estate [kW]	Surplus inverno [kW]	Ricettore	Stima fabbisogno istantaneo estivo ricettore [kW]	Stima fabbisogno istantaneo invernale ricettore [kW]	Classe di copertura estiva	Classe di copertura invernale
Stazione Bologna	416	393	Istituto d'istruzione Secondaria Superiore - J.B. Beccari	710	870	Media	Media
Stazione Novara	682	696	Edificio sede Infratrasporti. To S.r.l.	610	790	Completa	Alta
Stazione Verona	503	573	Edificio residenziale in Corso Regio Parco, 33	200	240	Completa	Alta
			Edificio residenziale in Corso Regio Parco, 35	110	130		
			Edificio residenziale in Corso Verona, 22	160	200		
Stazione Mole-Giardini Reali	424	551	Campus Universitario Luigi Einaudi	2520	3070	Bassa	Bassa
Stazione Carlo Alberto	298	512	Cavallerizza Reale	2300	2800	Bassa	Bassa
Stazione Porta Nuova	823	1052	Stazione ferroviario RFI Torino Porta Nuova	5510	6720	Bassa	Bassa
Stazione Pastrengo	305	441	Scuola primaria statale "Rignon"	290	360	Alta	Alta
			Edificio residenziale in via Pastrengo, 11	160	200	Alta	Alta
Stazione Politecnico	301	519	Sede centrale del Politecnico di Torino	9320	11360	Bassa	Bassa

Complessivamente la destinazione dell'energia prodotta dall'attivazione termica delle stazioni della ML2 può essere sintetizzata nel quadro sinottico della Figura 19 nella quale è indicata per ogni stazione di collegamento impianti la ripartizione tra le stazioni stesse, i ricettori primari e gli ulteriori ricettori individuati e descritti nei capitoli precedenti.

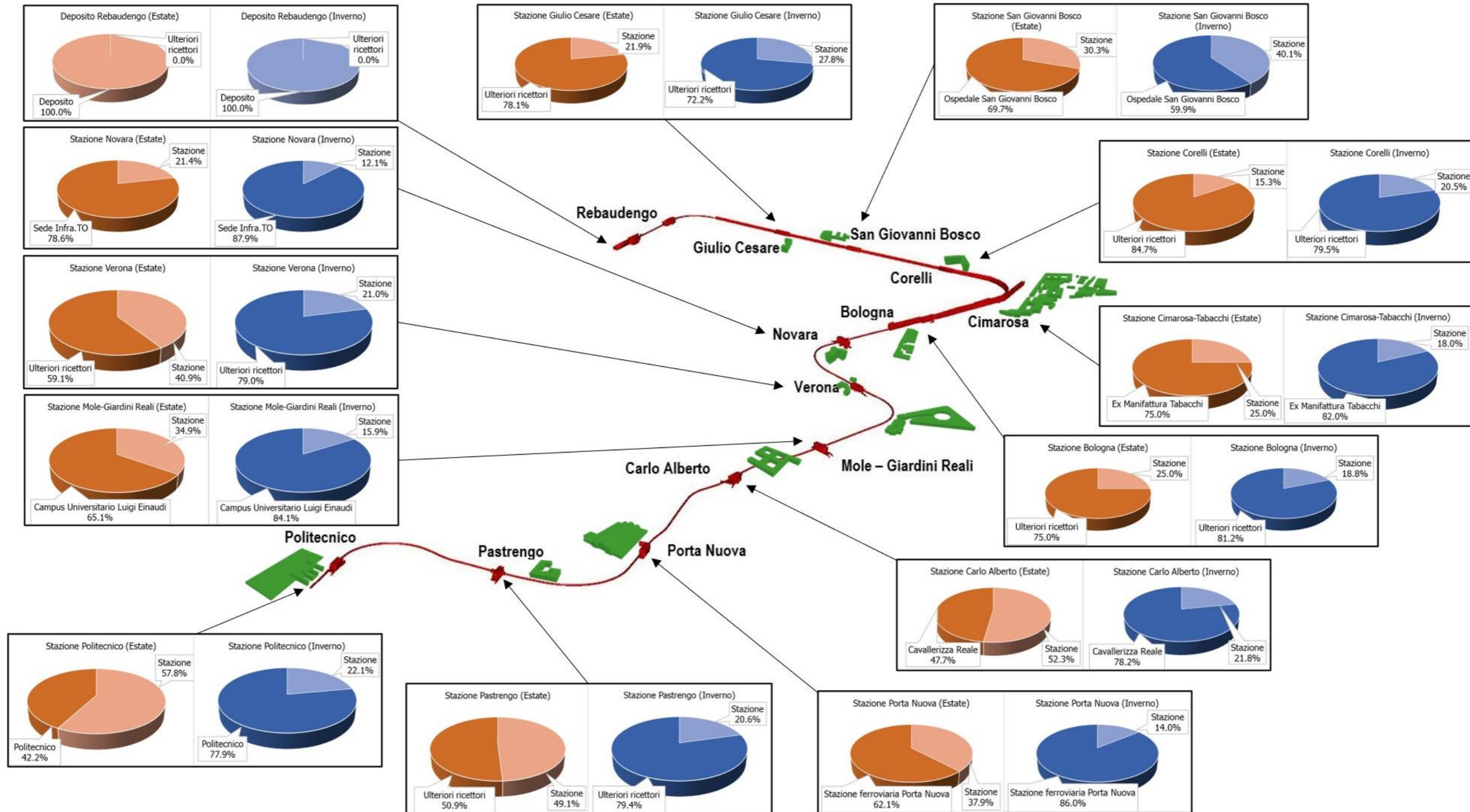



Figura 19. Quadro sinottico riepilogativo di destinazione dell'energia prodotta dall'attivazione termica delle strutture della ML2 con ripartizione tra stazioni, ricettori primari ed ulteriori ricettori.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

4. SINTESI CONCLUSIVA

Nella presente relazione sono stati individuati ed analizzati in dettaglio tutti i ricettori per cui è possibile utilizzare il calore proveniente dall'attivazione termica delle strutture (gallerie di linea e stazioni) facenti parte della ML2.

Sono stati così individuati due differenti scenari di utilizzo dell'energia prodotta, tra loro complementari e potenzialmente integrabili ovvero:


1. Utilizzo per la climatizzazione delle stazioni di linea e per il Deposito-officina Rebaudengo;
2. Utilizzo verso singoli ricettori "esterni" alla ML2 quali edifici pubblici, ospedali, edifici sede di Università, ex-complessi industriali da riconvertire, centri commerciali, (ricettori primari) nonché ulteriori edifici pubblici come le scuole e tutti gli edifici residenziali privati (altri ricettori);

Sulla base delle scelte progettuali specifiche adottate, i 59 impianti di scambio realizzati convergono verso 12 stazioni di linea (su 13 stazioni totali) oltre al Deposito-officina Rebaudengo, definite stazioni di collegamento impianti. In conseguenza di questa architettura complessiva è stata data la priorità nell'utilizzo del calore scambiato per la climatizzazione invernale ed estiva delle medesime stazioni di linea. L'analisi relativa ai fabbisogni di queste ultime ha evidenziato, ad eccezione del Deposito-officina Rebaudengo, un completo soddisfacimento di questi fabbisogni energetici sia in inverno sia in estate che determinano la presenza di surplus termici di buona consistenza.

Per un utilizzo efficiente di questi surplus termici tra tutti i ricettori "esterni", in ordine di priorità sono stati presi in considerazione sia gli edifici attualmente utilizzati e di particolare interesse e funzione sociale e sia edifici parzialmente o completamente in disuso che potranno essere oggetto nel futuro prossimo di una trasformazione rispetto alla loro destinazione d'uso originale. Sono stati quindi evidenziati otto ricettori primari (Presidio Ospedaliero San Giovanni Bosco, Ex Manifattura Tabacchi, Edificio sede di Infratrasporti.To srl, Campus Luigi Einaudi dell'Università degli Studi di Torino, Cavallerizza Reale, Centro Commerciale "La Rinascente", Stazione ferroviaria di Porta Nuova e Sede centrale del Politecnico di Torino) secondo un criterio di prossimità ad una o più stazioni di collegamento impianti e ne è stato stimato, in maniera semplificata, il relativo fabbisogno termico invernale ed estivo.


Secondariamente, sono stati considerati tutti gli edifici di tipo residenziale, commerciale, industriale e "strategici" presenti nell'intorno delle stazioni di collegamento impianti ove l'analisi precedente non aveva evidenziato la presenza di ricettori primari (stazioni di Pastrengo, Verona, Bologna, Corelli e Giulio Cesare). Anche in questo caso si è data priorità agli edifici "strategici" pubblici e/o di particolare interesse per la comunità ed in particolare alle scuole.

I risultati del bilancio tra surplus disponibile e fabbisogni termici ha evidenziato che gli impianti geotermici derivanti dall'attivazione delle strutture della Linea 2, oltre al completo soddisfacimento dei fabbisogni energetici delle stazioni di linea sono in grado di coprire in media tra circa il 5 ed il

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

20% dei fabbisogni termici dei ricettori primari. Tra questi esiste tuttavia l'eccezione dell'edificio sede di Infratrasporti.To per il quale il surplus energetico proveniente dalla stazione di collegamento impianti di Novara risulta pressoché sufficiente a soddisfare il fabbisogno energetico estivo (classe completa) e quasi sufficiente (classe alta) a soddisfare il fabbisogno energetico invernale dell'edificio

Riguardo agli ulteriori ricettori, ovvero gli edifici ad uso abitativo e gli istituti scolastici selezionati nell'intorno delle stazioni Giulio Cesare, Corelli, Bologna, Verona e Pastrengo, l'analisi condotta ha evidenziato una condizione di copertura dei fabbisogni maggiormente favorevole. In questi casi i surplus energetici sono in grado di soddisfare nella maggior parte dei casi una percentuale superiore al 60% dei fabbisogni complessivi invernali ed al 70% dei fabbisogni estivi con un soddisfacimento pressoché totale per buona parte degli edifici ad uso abitativo selezionati. In questo senso i risultati dell'analisi svolta, seppur basata su stime e quindi da ritenersi non del tutto esaustiva, evidenziano una concreta possibilità di utilizzo del calore a bassa temperatura derivante dall'attivazione termica delle strutture della Linea 2 anche per il supporto alla climatizzazione di edifici posti nelle vicinanze delle stazioni.

 CITTA' DI TORINO	Metropolitana di Torino – Linea 2 - Tratta: Politecnico – Rebaudengo
Geotermia – Individuazione dei ricettori per lo sfruttamento del calore estratto	MTL2T1A0DGTRCOMR004-0-1.DOCX

5. BIBLIOGRAFIA

- Casals M., Gangoells M., Forcada N., Macarulla M., Giretti A., 2014. A breakdown of energy consumption in an underground station. *Energy and Buildings* 78, pp. 89–97. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.04.020>.
- Corrado, V., Ballarini, I., Paolo S., 2014. Building Typology Brochure – Italy - Fascicolo sulla Tipologia Edilizia Italiana Nuova edizione. Politecnico di Torino – Dipartimento Energia Gruppo di Ricerca TEBE. ISBN: 978-88-8202-065-1, 131 pp.
- Leung P. C. M. & Lee E. W. M., 2013. Estimation of electrical power consumption in subway station design by intelligent approach. *Applied Energy* 101, pp. 634–43. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.07.017>.
- Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J.E., Hvelplund F., et al., 2014. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy* 68: pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>.
- Martins V., Moreno T., Mendes L., Eleftheriadis K., Diapouli E., Alves C. A., Duarte M., de Miguel E., Capdevila, M., Querol X., Minguillón M. C., 2016. Factors controlling air quality in different European subway systems. *Environmental Research* 146, pp. 35–46. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.007>.
- Politecnico di Torino, 2020. Studio dell'integrazione della galleria energetica (calore a bassa temperatura) nei sistemi di teleriscaldamento. Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica. Rapporto N.:1902IREN_RL, 89 pp.
- Politecnico di Torino, 2022. scenari applicativi per lo sfruttamento della risorsa geotermica in relazione al tracciato della nuova tratta funzionale della ML2. Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Edile e Geotecnica. Rapporto N.: 2303ML2_RL01.0, 33 pp.
- RATP (2019). Did you know? The heating on metro line 14 is drawn from the ground. Risorsa online disponibile al sito: <https://www.ratp.fr/en/discover/coulisses/daily-life/did-you-know-heating-metro-line-14-drawn-ground>.
- TABULA webtool (2017). Risorsa online disponibile al sito: <https://webtool.building-typology.eu/#bm>.
- Wang Y, Li X., 2017. Unorganized ventilation in subway stations with platform screen doors. *Building and Environment* 125, pp.556–64. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.009>.