

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile



Tesi di Laurea Magistrale

**Analisi energetica in regime stazionario e dinamico
di un edificio di interesse storico-culturale soggetto a
riqualificazione del sistema involucro-impianto: caso studio
dell'ex Biblioteca Civica "Nino Colombo" in Beinasco**

Relatore:

Prof. Ing. PhD Carlo Luigi Ostorero

Corelatore:

Ing. Marco Surra

Candidato:

Michela Vincenzi

Anno Accademico 2019/2020

Indice

Introduzione

I. Bruno Zevi tra architettura moderna, Wright e innovazione tecnologica

- 1.1 L'architettura della prima metà del Novecento e l'innovazione tecnologica 5
- 1.2 Bruno Zevi: vita e pensiero critico 12

II. Ex Biblioteca Civica “Nino Colombo”

- 2.1 Cenni storici: la biblioteca comunale di Beinasco nel progetto della rete di biblioteche di Giulio Einaudi 23
- 2.2 Il modello: la Biblioteca Civica “Luigi Einaudi” a Dogliani 26
- 2.3 Il prototipo: la Biblioteca Civica “Nino Colombo” a Beinasco 30
 - 2.3.1 Inquadramento territoriale 30
 - 2.3.2 Il progetto 33

III. Analisi dello stato di fatto, interventi di restauro e proposta di rifunzionalizzazione

- 3.1 Struttura e sistema impiantistico esistente 41
- 3.2 Stato del degrado dell'involucro e dei materiali 44
 - 3.2.1 Ammaloramenti dovuti ad agenti atmosferici e perdita prestazionale dei materiali 45
 - 3.2.2 Ammaloramenti dovuti a problematiche sorte per una scarsa attenzione in fase progettuale ed esecutiva o durante successivi interventi di ristrutturazione 48
 - 3.2.3 Modifiche improprie successive alla costruzione e superfetazioni. 49
 - 3.2.4 Atti vandalici 51
- 3.3 Interventi di recupero 52
 - 3.3.1 Sabbiatura degli elementi metallici recuperabili 54
 - 3.3.2 Risoluzione delle problematiche tecniche legate ad una scarsa

| | |
|--|----|
| attenzione in fase progettuale ed esecutiva e durante successivi interventi di ristrutturazione..... | 55 |
| 3.3.3 Rimozione delle superfetazioni | 55 |
| 3.3.4 Catalogazione dei pannelli metallici..... | 56 |
| 3.4 Progetto di rifunionalizzazione degli spazi interni | 57 |

IV. Riqualificazione dell'involucro e carichi termici in regime stazionario e dinamico

| | |
|--|----|
| 4.1 Software di calcolo e modellazione dell'edificio | 61 |
| 4.2 Riqualificazione energetica dell'involucro edilizio..... | 64 |
| 4.2.1 Riferimenti normativi e metodi di calcolo..... | 64 |
| 4.3 Componenti di involucro opachi | 68 |
| 4.3.1 Parete esterna..... | 68 |
| 4.3.2 Solaio di copertura..... | 71 |
| 4.3.3 Solaio controterra..... | 72 |
| 4.3.4 Solaio interpiano su centrale termica..... | 74 |
| 4.3.5 Sintesi dei componenti di involucro opachi..... | 74 |
| 4.4 Componenti di involucro trasparenti..... | 76 |
| 4.5 Carico termico invernale in regime stazionario | 78 |
| 4.5.1 Dati climatici e di progetto | 78 |
| 4.5.2 Riferimenti normativi e procedura di calcolo | 80 |
| 4.5.3 Perdite per trasmissione Φ_{tr} | 84 |
| 4.5.4 Portate di ventilazione secondo UNI 10339..... | 85 |
| 4.5.5 Perdite per intermittenza Φ_{RH} | 86 |
| 4.5.6 Potenze invernali di progetto..... | 86 |
| 4.6 Carico termico estivo in regime termico periodico stabilizzato sulle 24 ore..... | 88 |
| 4.6.1 Proceduta di calcolo..... | 88 |
| 4.6.2 Dati climatici e condizioni di progetto | 91 |
| 4.6.3 Radiazione solare attraverso i componenti finestrati..... | 91 |
| 4.6.4 Radiazione e trasmissione attraverso i componenti opachi e finestrati | 92 |
| 4.6.5 Carichi interni | 92 |

| | | |
|-------|---|----|
| 4.6.6 | Potenze estive di progetto | 93 |
| 4.7 | Valutazione dei carichi termici in regime dinamico..... | 95 |
| 4.7.1 | Dati climatici orari..... | 95 |
| 4.7.2 | Profili orari | 96 |
| 4.7.3 | Carichi termici ottenuti in regime dinamico..... | 97 |

V. Progettazione degli impianti meccanici

| | | |
|-------|--|-----|
| 5.1 | Considerazioni in merito ai limiti posti dall'edificio in esame e all'approccio progettuale..... | 103 |
| 5.2 | Impianto termico: sistema radiante a pavimento integrato con impianto a tutt'aria | 107 |
| 5.2.1 | Riferimenti normativi e procedura di calcolo..... | 107 |
| 5.2.2 | Dimensionamento sistema radiante a pavimento | 110 |
| 5.2.3 | Dimensionamento impianto a tutt'aria | 116 |
| 5.2.4 | Impianto di climatizzazione estiva | 122 |
| 5.3 | Sottosistema di generazione..... | 123 |
| 5.3.1 | Scenario 1: allaccio alla rete di teleriscaldamento..... | 123 |
| 5.3.2 | Scenario 2: pompa di calore elettrica aria/acqua e impianto fotovoltaico..... | 126 |
| 5.4 | Confronto delle prestazioni energetiche delle due proposte progettuali.. | 134 |
| 5.4.1 | Riferimenti normativi e procedura di calcolo..... | 134 |
| 5.4.2 | Fabbisogno di energia termica utile e prestazioni energetiche..... | 135 |

V. Computo metrico estimativo e analisi economica

| | | |
|-------|--|-----|
| 6.1 | Computo metrico estimativo degli impianti meccanici: Scenario 1 .. | 143 |
| 6.2 | Computo metrico estimativo degli impianti meccanici: Scenario 2... | 147 |
| 6.3 | Analisi economica e confronto tra le due proposte progettuali..... | 151 |
| 6.3.1 | Investimento iniziale..... | 151 |
| 6.3.2 | Incentivi..... | 152 |
| 6.3.3 | Costi di esercizio..... | 155 |
| 6.3.4 | Calcolo del valore attuale netto (VAN) | 155 |

Conclusioni

Bibliografia

Sitografia

Riferimenti normativi

Allegato 1 Tavole dell'analisi dello stato di fatto e dei degradi - Catalogazione dei pannelli di tamponatura e dei rispettivi interventi di recupero

Allegato 2 Tavole di progetto degli impianti fluido-meccanici

Introduzione

I temi del recupero e del restauro e della loro importanza sociale ed economica, in un paese con un patrimonio edilizio storico e di pregio come l'Italia, sono ormai consolidati e noti a tutti, ma se, riguardo al restauro delle architetture più antiche esiste una vasta trattatistica su come intervenire, per quanto riguarda il restauro delle architetture figlie del Movimento Moderno del Novecento, il tema è molto più incerto e complesso.

Il testo *Teoria del restauro* di Cesare Brandi, pubblicato nel 1963 e sintesi del suo lavoro dei precedenti vent'anni all'Istituto Centrale del Restauro a Roma, rimane tutt'oggi una base di partenza per l'individuazione dei metodi con cui interfacciarsi con un edificio storico, ma il concetto di restauro secondo la sua doppia istanza storica ed estetica, ampiamente discusso nel volume, è di difficile applicazione quando si tratta di architettura moderna.

Nella progettazione di interventi di restauro e recupero rientra anche un altro tema all'ordine del giorno, di cui si è parlato e si continua a parlare ancora diffusamente e in molti settori, ossia quello della sostenibilità e dell'importanza dell'efficientamento energetico del patrimonio edilizio esistente.

L'ex Biblioteca "Nino Colombo" a Beinasco, progettata negli anni '60 dall'architetto, accademico e storico dell'architettura Bruno Zevi, rappresenta il connubio tra il problema del restauro del Moderno e la necessità di un adeguamento alle normative in materia di efficientamento attualmente vigenti. L'edificio, attualmente abbandonato, ricopre un'importante valenza storica e culturale: insieme alla biblioteca civica gemella di Dogliani, infatti, la struttura si proponeva, al tempo della sua costruzione, come prototipo per una rete diffusa di piccole biblioteche realizzate nei centri abitati di più modeste dimensioni, per realizzare il progetto, propugnato dall'editore torinese Giulio Einaudi, di diffusione capillare della cultura a tutti i livelli della popolazione. Con la sua struttura completamente prefabbricata, l'edificio rispondeva alle esigenze di economicità e facilità di riproduzione, ma ad oggi rappresenta anche una

dei pochi esempi nell'Italia degli anni Sessanta di utilizzo, in architettura, di tecnologie costruttive prefabbricate in acciaio.

Da una parte la genesi dell'edificio e la sua importanza come testimonianza di una determinata fase storica, dal punto di vista architettonico e culturale, dall'altra le scarsissime prestazioni energetiche della struttura originaria e i vincoli molto restrittivi sulle possibilità di intervento, sia a livello di involucro che di soluzioni impiantistiche, dovuti alla tipologia stessa di struttura e al suo essere inserito tra i beni architettonici vincolati dalla Soprintendenza, lo rendono un caso studio interessante ma al tempo stesso di complessa risoluzione.

Questo pone il problema di come affrontare il progetto di recupero e riqualificazione energetica di un edificio del genere e di quali siano i mezzi possibili e idonei per "salvare" edifici storici e di interesse comune come quello in esame, ma, al tempo stesso, non farli pesare sul bilancio pubblico. Un intervento di recupero non ha infatti senso in sé senza un progetto di rifunzionalizzazione e rivitalizzazione dell'edificio precedentemente abbandonato, poiché un restauro senza una concreta idea di riutilizzo porterebbe inevitabilmente ad un nuovo abbandono.

In un edificio come quello in esame, oltre alla questione di quale nuova destinazione d'uso affidargli, si pone anche il problema legato alle difficoltà, per le condizioni di partenza e per i vincoli progettuali, a raggiungere prestazioni energetiche ottimali. Le spese energetiche legate all'utilizzo stesso dell'edificio in questione, pesando sul bilancio dell'amministrazione pubblica, potrebbe essere ulteriore motivo di abbandono o di scarso utilizzo, rendendo vano il lavoro di restauro. L'obiettivo è allora quello di analizzare, oltre al progetto per la riqualificazione del sistema edificio-impianto accettato dall'amministrazione, una soluzione alternativa che comporterebbe, da un lato, un maggiore investimento iniziale, ma, dall'altro, un migliore impatto economico a lungo termine, puntando alla massima autosufficienza e sostenibilità dell'ex Biblioteca, al fine di incentivarne l'utilizzo.

*I. Bruno Zevi tra architettura
moderna, Wright e innovazione
tecnologica*



1.1 *L'architettura della prima metà del Novecento e l'innovazione tecnologica*

Nel 1932 si tenne, al MoMA (Museum of Modern Art) di New York, la prima Esposizione Internazionale dell'Architettura Moderna, curata da Henry Russel Hitchcock e Philip Johnson, in cui vennero presentate alcune delle opere più importanti costruite negli Stati Uniti nel periodo tra il 1922 e 1932. Nel catalogo, redatto dagli organizzatori, e in cui fu introdotta per la prima volta l'espressione *International Style*, si legge come

*“the modern architect [...] thinks in terms of volume - of space enclosed by planes or surfaces - as opposed to mass and solidity. [...] Two other principle which are both utilitarian and aesthetic may be called regularity and flexibility. [...] In the International Style the conventions of symmetry are abandoned for a method of design which accepts, first, both vertical and horizontal repetition and, second, flexible asymmetry, for both are natural concomitants of modern building.”*¹

A partire dalla rivoluzione industriale della seconda metà dell'Ottocento, la forte spinta data dall'innovazione tecnologica e i radicali cambiamenti sociali, influenzarono profondamente le arti figurative e la progettazione architettonica, che si posero in contrasto rispetto ai canoni del passato, come testimoniano le avanguardie nella pittura e nella scultura, e il Movimento Moderno in architettura, sviluppatosi in Europa negli anni a cavallo della Prima guerra mondiale. Unico tentativo di opporsi a tali cambiamenti fu il movimento Arts and Crafts che, fondato in Inghilterra da William Morris alla fine del XIX secolo, contrastava la produzione industriale, considerandola priva di valore artistico e culturale, e promuovendo, al contrario, una produzione di tipo artigianale nelle arti applicate.

¹ *Catalogo della mostra Modern architecture: international exhibition, New York, Museum of Modern Art, 10 febbraio - 23 marzo 1932, p. 14*

L'architettura del Novecento si caratterizzò per la predilezione delle forme geometriche elementari e per l'assenza di riferimenti agli ordini architettonici classici, ad esclusione delle cosiddette architetture di regime ispirate al monumentalismo, e furono in ciò fortemente debitrice alle possibilità tecniche offerte dall'impiego di materiali nuovi, come calcestruzzo armato, ferro, acciaio e vetro, che consentirono di superare i limiti strutturali degli edifici tradizionali costruiti, fino a quel momento, in pietra, legno e muratura. Nel 1923 Charles Eduard Jeanneret, conosciuto come Le Corbusier, individuò nel suo saggio *Vers une architecture* i cinque punti per una nuova architettura che segnarono un punto di svolta radicale nella progettazione e nel modo di costruire e che lui stesso materializzò nella famosa Ville Savoye a Poissy: pilotis, tetto giardino, pianta libera, finestra a nastro, facciata libera. Nella Germania a cavallo delle due guerre prende invece piede lo stile architettonico della Scuola di Weimar (Bauhaus), i cui edifici scolastici, progettati dal direttore Walter Gropius per la nuova sede di Dessau, e quelli dell'esposizione Weissenhof Siedlung (1926) nei pressi di Stoccarda, divennero modello dello stile da loro propugnato, i cui maggiori esponenti furono lo stesso Gropius e Ludwig Mies van der Rohe. L'architettura del Bauhaus fu improntata a un programma inizialmente di tipo sociale, realizzando un nuovo linguaggio consono all'era industriale in cui ogni riferimento all'architettura tradizionale venne eliminato a favore dell'essenzialità e della funzionalità. Tra gli architetti inseriti nella mostra al MoMA del 1932 compare anche Frank Lloyd Wright, architetto americano, attivo come progettista dalla seconda metà del secolo precedente, e che inaugurò l'architettura novecentesca, nonostante la sua architettura organica, attenta al rapporto tra costruito e natura, non rispecchiasse lo stile puro e semplice, scevro da decorazioni del Movimento Moderno.

L'innovazione tecnologia e lo sviluppo di nuove tecniche costruttive, in particolar modo il cemento armato da una parte, e l'acciaio e vetro dall'altra, furono alla base della possibilità di sperimentare nuovi stili e linguaggi da parte degli architetti e ingegneri a partire dalla seconda metà del XIX secolo, e di realizzare strutture portanti rivoluzionarie rispetto a quelle dei secoli precedenti,

trasformando l'architettura in opera di ingegneria.

Il cemento armato, visto come il materiale del futuro e del progresso, e adatto ad una espressività semplice ed essenziale tipica dell'architettura moderna, ebbe un ruolo centrale non solo nell'attività di famosi architetti e ingegneri, ma anche nello sviluppo ed espansione delle città nel secondo dopoguerra. Gli esempi di architetture realizzate a partire dalla prima metà del Novecento in cemento armato sono innumerevoli, dalla casa di Rue Franklin di Auguste Perret a Parigi (1903), la prima con struttura portante interamente in cemento armato, alla Unité d'Habitation di Le Corbusier a Marsiglia (1952), dal Palazzetto dello Sport di Pier Luigi Nervi a Roma (1956-1958) alle grandi opere infrastrutturali di Riccardo Morandi e Sergio Musmeci.

La rivoluzione industriale diede, però, anche una forte spinta agli studi e sperimentazioni sull'uso del ferro e dell'acciaio in svariati settori. In architettura questi materiali resero possibile la realizzazione di edifici prima inimmaginabili, funzionali e la cui bellezza risiedeva nella struttura stessa e nel suo assemblaggio, come testimoniano esempi famosi, risalenti ancora alla seconda metà del XIX secolo, quali il Crystal Palace di Sir Joseph Paxton costruito in occasione dell'Esposizione Universale di Londra del 1851, la Galerie des Machines e la Torre Eiffel, entrambe realizzate per l'Esposizione di Parigi del 1889. La tecnologia influenzò in poco tempo la progettazione di edifici per tutte le destinazioni: soprattutto oltreoceano, negli Stati Uniti, si affermò, a partire dall'ultimo decennio dell'Ottocento, la tipologia del grattacielo con intelaiatura in acciaio, che nel secolo successivo ebbe un contributo importante anche da parte dell'architetto Mies van der Rohe della scuola del Bauhaus, emigrato in America dalla Germania del regime nazista, con il palazzo all'860 del Lake Shore Drive a Chicago (1951) e il Seagram Building a New York (1958), progettato insieme a Philip Johnson.

Le potenzialità dell'acciaio spinsero, da una parte, gli ingegneri e i progettisti del Ventesimo secolo nella progettazione di strutture sempre più ardite e avanguardiste dal punto di vista strutturale, dall'altra fecero sorgere una

riflessione sulle tecniche di prefabbricazione e sull'uso di tale materiale come potenziale soluzione ad una costruzione rapida ed economica di nuovi edifici, in un periodo storico dominato dalle guerre, in cui il tema della costruzione di edifici bellici era all'ordine del giorno.

Di origini tedesche ma emigrato negli Stati Uniti come tanti altri progettisti europei durante il regime nazista, Konrad Wachsmann esprime entrambi gli aspetti e fu uno dei pionieri della prefabbricazione. All'inizio degli anni '40, sviluppò insieme a Walter Gropius il progetto per il "Packaged House System" (Figura 1.1), sistema che avrebbe permesso la costruzione di una casa in meno

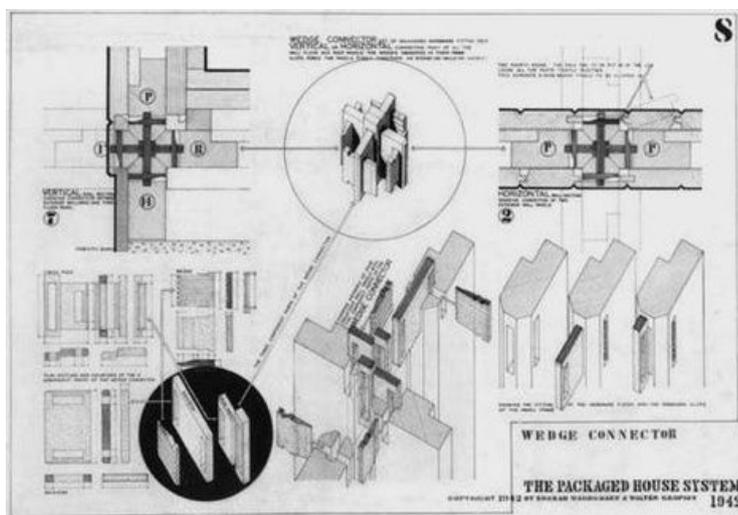


Figura 1.1 – Konrad Wachsmann e Walter Gropius - Disegni per la "Packaged House System", 1942

di nove ore, ma che non fu mai commercializzato. La casa, abbastanza semplice a livello architettonico, era basata sull'uso di pannelli modulari da circa 1 metro ed era costituita generalmente da un unico piano a pianta rettangolare con un tetto a falde poco inclinate e un portico. La particolarità risiedeva però nel fatto di consentire infinite configurazioni che potevano adattarsi alle diverse condizioni del sito di montaggio e al gusto dell'architetto e del proprietario.

Konrad Wachsmann rimane noto anche per la sua ricerca di nuove forme nello spazio e di nuove applicazioni per i suoi moduli base, portando all'estremo le capacità delle strutture tubolari in acciaio, come testimonia il modello dell'hangar mobile per aerei che enfatizza il concetto di struttura al tempo stesso resistente ma "smaterializzata", di cui ne è esempio l'hangar realizzato per l'USAF (United States Air Force) nel 1951 (Figura 1.2).

Alla stregua di Wachsman nella sperimentazione di strutture tubolari, vanno ricordati gli studi e il brevetto, registrato nel 1954, della cupola geodetica del poliedrico Richard Buckminster Fuller. L'enorme cupola progettata per il padiglione americano all'Esposizione internazionale di Montreal del 1967, quasi 80 metri di diametro e 60 metri di altezza, ne divenne ben presto, e lo è tuttora, il principale simbolo.

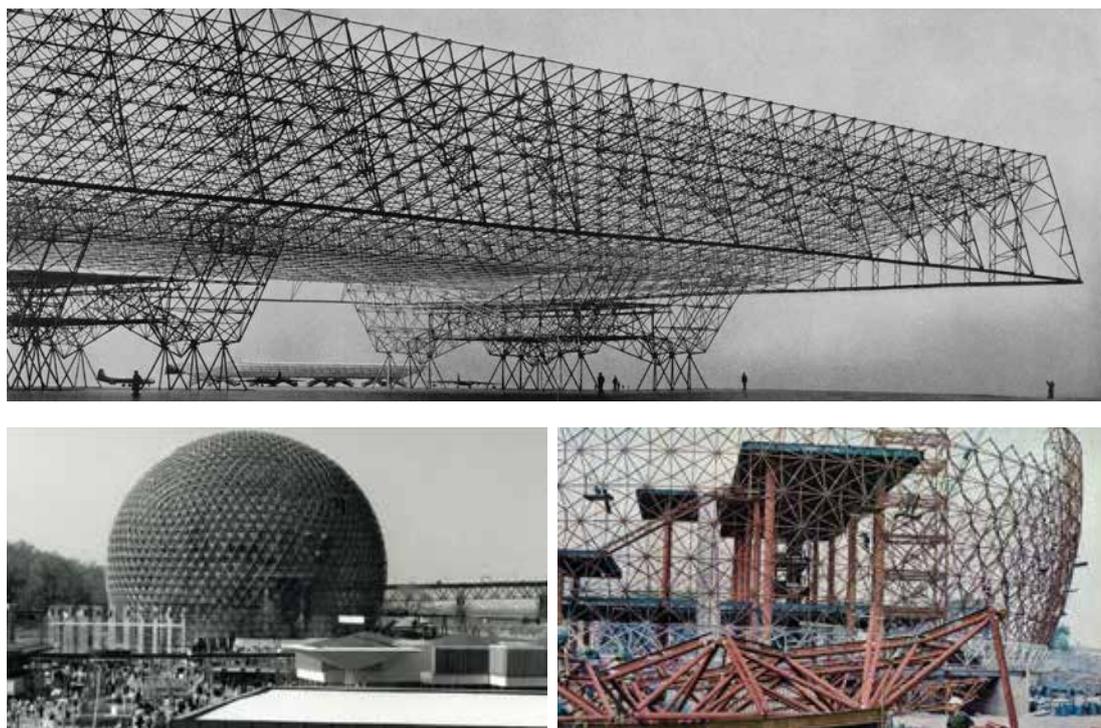


Figura 1.2 – Sopra: Konrad Wachsman - Hangar per aerei della United States Air Force, 1951; sotto: Richard Buckminster Fuller - Cupola geodetica del Padiglione americano all'Expo di Montreal del 1967

In Europa, invece, fu pioniere della fusione tra arte e industria del XX secolo, Jean Prouvé, che rappresenta una figura di fondamentale importanza nella sperimentazione delle tecniche sull'acciaio e sulla lamiera pressopiegata, sia nella sua attività di architetto che di designer, e di strutture prefabbricate caratterizzate da funzionalità e razionalità, accessibili a tutti: edifici e mobili si basano allo stesso modo su strutture assemblate con ingegnosi meccanismi che gli consentono di essere smontati, spostati o modificati. Stimato da Le Corbusier per l'estetica delle sue creazioni, fondò insieme a lui, a Pierre Jeanneret e Charlotte Perriand, l'Union des Artistes Modernes (UAM), un movimento di

artisti che proponevano un'architettura funzionale e priva di decorazioni fini a se stesse.

Tra il 1936 e il 1938 venne costruito a Clichy, quartiere alla periferia di Parigi, la Maison du Peuple (Casa del Popolo) realizzata dagli Ateliers Jean Prouvé insieme agli architetti Eugène Beaudouin e Marcel Lods e all'ingegnere Vladimir Bodiansky (Figura 1.3). L'edificio, commissionato dalla municipalità, doveva contenere, al suo interno, una casa del popolo comprendente gli uffici sindacali, una sala per riunioni e feste e per proiezioni cinematografiche, e un mercato coperto. La consapevolezza della non simultaneità delle funzioni previste è alla base dell'idea innovativa del progetto e della particolarità che caratterizza la struttura: tetto, pavimento e pareti interne sono amovibili, scorrevoli e componibili, permettendo varie configurazioni spaziali e funzionali e rendendo l'ambiente interno estremamente flessibile e adattabile ai possibili utilizzi.



Figura 1.3 – Jean Prouvé - Maison du Peuple a Clichy, 1936-1938, Parigi

L'edificio è realizzato interamente in acciaio, dalla struttura portante, costituita da una serie di portali paralleli in acciaio controventati longitudinalmente, che determinano un impianto a tre navate, al sistema di chiusura e tamponamento, basato sull'uso di pannelli, che scandiscono in modo modulare i prospetti della Maison du Peuple e sottolineano le varie volumetrie e servizi attraverso la diversa finitura, traslucida o opaca. L'edificio esprime la coincidenza tra tecnica e architettura, dalla copertura corrugata a shed, resa mobile da un sistema elettrico, alla balaustra del primo piano che si ripiega su se stessa scomparendo nel pavimento e alla parete della sala cinematografica che scorre su binari posti

a soffitto.

La logica di fabbricazione e di funzionalità espressi già nella Maison du Peuple a Clichy e applicata anche alla sua attività di designer, si manifesta in modo netto nel progetto della Maison Métropole, ideata nel 1948 e vincitrice, nel 1949, di un concorso del Ministero dell'Istruzione francese per l'ideazione di una scuola rurale producibile in massa, con un'aula e con alloggi per insegnanti, ai cui edifici si richiedeva di poter essere montati e smontati facilmente e rapidamente in qualsiasi sito. La conoscenza ed esperienza nella produzione industriale di componenti metallici resero Prouvé un sostenitore della prefabbricazione come soluzione tecnica ed economica al problema sociale della ricostruzione post-bellica; già nel 1939 brevettò un sistema di scheletro metallico combinato a pannelli modulari di facciata, su cui basò la progettazione dell'aula di classe (24x8 m) e dell'alloggio (12x8 m), la Maison Métropole appunto, proposta come tipo abitativo individuale industrializzabile.



Figura 1.4 – Prototipo della Maison Metropole (8x12 m) di Jean Prouvé realizzata per Vantoux e montata sulla pista del Lingotto in occasione della mostra “Una passione per Jean Prouvé. Dal mobile alla casa. La collezione di Lauren e Patrick Seguin” alla Pinacoteca Giovanni e Mirella Agnelli, 6 aprile - 8 settembre 2013

L'Ateliers Jean Prouvé realizzò due prototipi dell'edificio, uno per Bouqueval, nei pressi di Parigi, e uno per Vantoux nella Mosella. La struttura, completamente prefabbricata in acciaio, è costituita da due sostegni centrali che lasciano però completamente libera la disposizione interna. L'involucro esterno di tamponatura è realizzato tramite pannelli modulari con finestre a ghigliottina integrate e una copertura in lastre di alluminio giustapponibili (Figura 1.4).

1.2 *Bruno Zevi: vita e pensiero critico*

Nell'Italia della seconda metà del Novecento, Bruno Zevi rappresentò una figura di rilievo nel campo dell'architettura e dell'urbanistica, in particolar modo nel mondo accademico, ma soprattutto come storico e critico dell'architettura; una figura in cui hanno convissuto attività didattica, impegno civile, ricerca storica e militanza politica.

Di origini romane (Roma, 22 gennaio 1918) e di confessione ebraica, Zevi mostrò già da studente liceale interessi per l'arte e l'architettura, e iniziò nel 1936 gli studi universitari alla Facoltà di Architettura di Roma, negli anni in cui Marcello Piacentini ne era preside e in cui era predominante, in Italia, l'architettura razionalista e l'influenza del classicismo romano. A seguito delle leggi razziali emanate nel 1938 dal regime fascista, Zevi completò la sua formazione prima in Inghilterra, all'Architectural Association School of Architecture di Londra, e dal 1940 negli Stati Uniti, alla School of Architecture della Columbia University a New York e alla Graduate School of Design di Harvard, il cui dipartimento di architettura era guidato in quel periodo da Walter Gropius, dove conseguì il Bachelor nel 1942.

Nel frattempo, lo scoppio della seconda guerra mondiale comportò un attivismo politico del giovane architetto romano, che dagli Stati Uniti partecipò alla propaganda antifascista sia come speaker radiofonico per la National Broadcasting Company (NBC), che partecipando alla redazione dei "Quaderni Italiani" insieme a Franco Venturi, figlio del critico d'arte Lionello Venturi. Anche in questo contesto, Zevi mantenne un punto di vista sull'architettura, introducendo la sezione di "Arte Italiana" nei "Quaderni", in cui legava l'architettura moderna con l'attenzione agli aspetti sociali e alla collaborazione progettuale tra architetti, ingegneri, sociologi, economisti e costruttori. "[...] La battaglia per l'architettura moderna è simile alla lotta per una nuova civilizzazione. In questo senso l'architettura moderna coincide con la battaglia contro il fascismo", è quello che scrive in *An Opinion on Architecture* pubblicato

nel 1941 insieme a un gruppo di studenti della Graduate School of Design di Harvard, creando una diretta correlazione tra politica e arte e l'influenza che l'una ha sull'altra e viceversa. Fin dagli anni giovanili di formazione e militanza antifascista, Zevi “matura una precisa ideologia politica. Al suo interno colloca anche l'architettura e la sua storia, il dibattito culturale e sociale intorno a questi temi e il ruolo dello storico e dell'architetto nella società contemporanea”².

È con questa idea di rapporto tra architettura e politica che Bruno Zevi si avvicinò all'architettura organica dell'architetto americano Frank Lloyd Wright (1867-1959), ai cui occhi appariva come colui che rappresentava il momento di sintesi tra architettura e democrazia da lui auspicato, e che sarebbe rimasto un punto fisso nella sua attività di storico e critico dell'architettura, nelle sue iniziative politiche, teoriche e didattiche e nella sua seppur ridotta attività di progettista. Nel 1945 pubblicò per Einaudi uno dei suoi testi più importanti, *Verso un'architettura organica. Saggio sullo sviluppo del pensiero architettonico negli ultimi cinquant'anni*, richiamando in modo chiaro il titolo dell'importante scritto dell'architetto moderno Le Corbusier *Vers une architecture* (1923), ma aggiungendo il termine “organico” per indicare il superamento di un certo stile architettonico e introducendo per la prima volta in Italia tale aggettivo, con cui oggi comunemente si fa riferimento a Wright. Nonostante lo storico romano non avesse ancora visitato personalmente le opere dell'architetto americano, la seconda parte del libro è in gran parte dedicata alla sua figura e al suo ruolo di spicco, secondo Zevi, nell'architettura moderna americana. Di fondamentale importanza in tale testo, è la distinzione tra forme regolari e forme irregolari, che caratterizza uno degli aspetti più radicati nel pensiero critico di Zevi: quelle regolari che simboleggiano l'oppressione e il controllo, in contrapposizione a quelle irregolari, aperte e “democratiche”, preferite da Wright e da lui stesso.

L'obiettivo di far conoscere anche in Italia l'architettura organica e di promuovere qui una nuova tendenza e un nuovo approccio alla progettazione, si riscontrò non solo attraverso i suoi scritti. Una volta tornato in patria alla fine della guerra, ebbe un ruolo sicuramente determinante nell'istituzione della

2 R. Dulio, *Introduzione a Bruno Zevi*, Editori Laterza, Bari, 2008, prima edizione, p. 128

“Scuola di architettura organica”, alla cui didattica parteciparono figure di spicco del tempo quali Luigi Piccinato, Pier Luigi Nervi, Mario Ridolfi e Aldo Della Rocca, e nella fondazione dell’APAO (Associazione per l’Architettura Organica). La prima si proponeva come alternativa alla Facoltà di architettura di Roma, la seconda al Sindacato nazionale fascista architetti, entrambe risalenti al 1945 ma entrambe attive solo per pochi anni.

Altro punto fondante del suo pensiero critico è l’importanza che assegnò al concetto di spazio nella lettura e nel modo di vivere l’architettura e la città, tanto da scriverne altri due saggi fondamentali nella sua attività divulgativa, *Saper vedere l’architettura. Saggio sull’interpretazione spaziale dell’architettura* nel 1948 e *Saper vedere la città. Ferrara di Biagio Rossetti, la prima città moderna d’Europa* nel 1960.

Il primo rappresenta un percorso incentrato sulla definizione di spazio, sulla sua rappresentazione, sul suo rapporto con le varie epoche storiche, a partire dai greci fino alla prima metà del Novecento, e sulle sue molteplici e contemporanee interpretazioni: politica, filosofica-religiosa, scientifica, economica-sociale, materialistica, tecnica, fisio-psicologica e formalista.

“[...] Lo spazio architettonico non è definibile nei termini delle dimensioni della pittura e della scultura. È un fenomeno che si concreta solo in architettura, e che di questa costituisce perciò il carattere specifico. [...] Se nell’architettura possiamo trovare i contributi delle altre arti, è lo spazio interno, lo spazio che ci circonda e ci include, che dà il la nel giudizio su un edificio [...]. Tutto il resto è importante, o meglio può essere importante, ma è funzione della concezione spaziale. [...] Che lo spazio, il vuoto, sia il protagonista dell’architettura, a pensarci bene, è in fondo anche naturale: perché l’architettura non è solo arte, non è solo immagine di vita storica o di vita vissuta da noi e da altri; è anche e soprattutto l’ambiente, la scena ove la nostra vita si svolge”³.

³ B. Zevi, *Saper vedere l’architettura. Saggio sull’interpretazione spaziale dell’architettura*, Giulio Einaudi Editore, Torino, 1948, Ottava edizione, 1986, pp. 25, 32

Gli stralci del saggio *Saper vedere l'architettura* riportati sopra, sintetizzano l'importanza che la concezione spaziale ricopre all'interno del pensiero critico di Bruno Zevi. Il saggio ha anche un carattere divulgativo con un veloce excursus del rapporto tra spazio interno e architettura nel susseguirsi delle varie epoche storiche.

L'attività divulgativa e lo sforzo nel cercare di creare una maggiore consapevolezza nella critica dell'architettura, troppo assente secondo Zevi in confronto al campo dell'arte, si manifesta sia nei suoi scritti, nei saggi (nel 1950 pubblicò per Einaudi *Storia dell'architettura moderna*) e nelle iniziative editoriali quali le riviste di architettura "Metron" e "A", che nell'attività didattica. Nel 1948 ottenne la cattedra di Storia dell'arte e storia e stili dell'architettura presso l'Istituto Universitario di Architettura di Venezia (IUAV), che mantenne fino al 1963, quando venne chiamato a tenere il corso di Storia dell'architettura alla Facoltà di architettura di Roma. La sua carriera accademica continuò fino al 1985, anno in cui abbandonò definitivamente il mondo universitario.

L'importanza della storia dell'architettura è anche alla base della cosiddetta "critica operativa" di Zevi, ossia il rapporto tra storia e progettazione, e la convinzione che la cultura storica debba essere premessa e stimolo alla progettazione e viceversa: "da un lato la storia è indagata attraverso i quesiti posti dalla pratica dell'architettura, dall'altro le forme e le tipologie desunte dallo studio storico hanno una ricaduta formale evidente nella progettazione"⁴. La ricerca e lo studio delle opere doveva però condurre ad un'astrazione delle forme e degli spazi interni, evitando quindi, durante la progettazione, di incappare in una semplice riproduzione formale.

Una decina di anni dopo la pubblicazione di *Saper vedere l'architettura*, nel 1960 venne pubblicato *Saper vedere la città*, in cui il critico romano ripropone il concetto di spazio, ma portandolo alla scala dell'urbanistica e della città come spazio esterno, ma assimilando la città ad una grande casa: "al soggiorno corrisponde il cuore urbano, nodo degli scambi sociali più intensi e delle attrezzature ricreative; il vano dello studio rimanda alle scuole, alla comunità

4 R. Dulio, *Introduzione a Bruno Zevi*, Editori Laterza, Bari, 2008, prima edizione, p. 95

universitaria, alle istituzioni culturali; la cucina e la dispensa, che Wright non a caso denominava “work space”, si assimilano agli stabilimenti industriali e ai mercati; i corridoi e i disimpegni si traducono in piazze e strade”⁵.

Dopo la Liberazione e la fine della Seconda guerra mondiale, nel 1945, Bruno Zevi iniziò la sua attività per l’United States Information Service (USIS), organo americano che si occupava principalmente di attività di aggiornamento e propaganda, e che diffuse in Italia, tra il 1945 e il 1946, una serie di “Bollettini Tecnici”, fascicoli, suddivisi per tematiche, contenenti vari articoli, ripresi da periodici specialistici americani del tempo. È durante un viaggio negli Stati Uniti, in missione per l’USIS, che Zevi approfondì il tema della prefabbricazione e della costruzione di case economiche americane come spunto per la risoluzione del problema della ricostruzione italiana postbellica. Spunto che non verrà mai davvero preso in considerazione dalle politiche economiche e sociali dell’Italia del dopoguerra, ma che influenzeranno, in parte, la sua attività progettuale.

Zevi è ricordato, fra le figure di spicco della storia del Novecento, soprattutto per il suo ruolo di critico, scrittore e divulgatore, e di accademico. La sua attività di progettista rimase, invece, molto più ridotta rispetto alle sue pubblicazioni, che comprendono sia saggi che articoli su riviste di architettura, e il più delle volte partecipò alla progettazione solo all’interno di un gruppo più vasto di architetti.

Nella sua attività professionale, comprendente quella di consulenza e quella progettuale vera e propria, svoltasi tra il 1939 e il 1999, sono compresi diversi piani urbanistici, quali il Piano regolatore generale del Comune di Perugia (1950 - 1956), il Piano particolareggiato del Comune di Benevento (1978) e del Comune di Firenze (1984 - 1989) e il Piano territoriale paesistico della Regione Lazio (1986 - 1999).

Fra i progetti a più grande scala a cui Zevi prese parte insieme a Lucio e Vincenzo Passarelli, Vincio Delleani, Mario Fiorentino, Riccardo Morandi e Ludovico Quaroni, coi quali costituisce nel 1967 lo Studio Asse, va ricordato lo studio preliminare di fattibilità per il cosiddetto “Asse attrezzato” a Roma, una vasta

⁵ B. Zevi, *Saper vedere la città. Ferrara di Biagio Rossetti, la prima città moderna d’Europa*, Bompiani, Milano, 1960, prima edizione, 2018, p 14

area a Est del centro storico destinata prevalentemente a funzioni direzionali (Figura 1.5 ⁶), che non ebbe però risultati operativi e si concluse nel 1970.

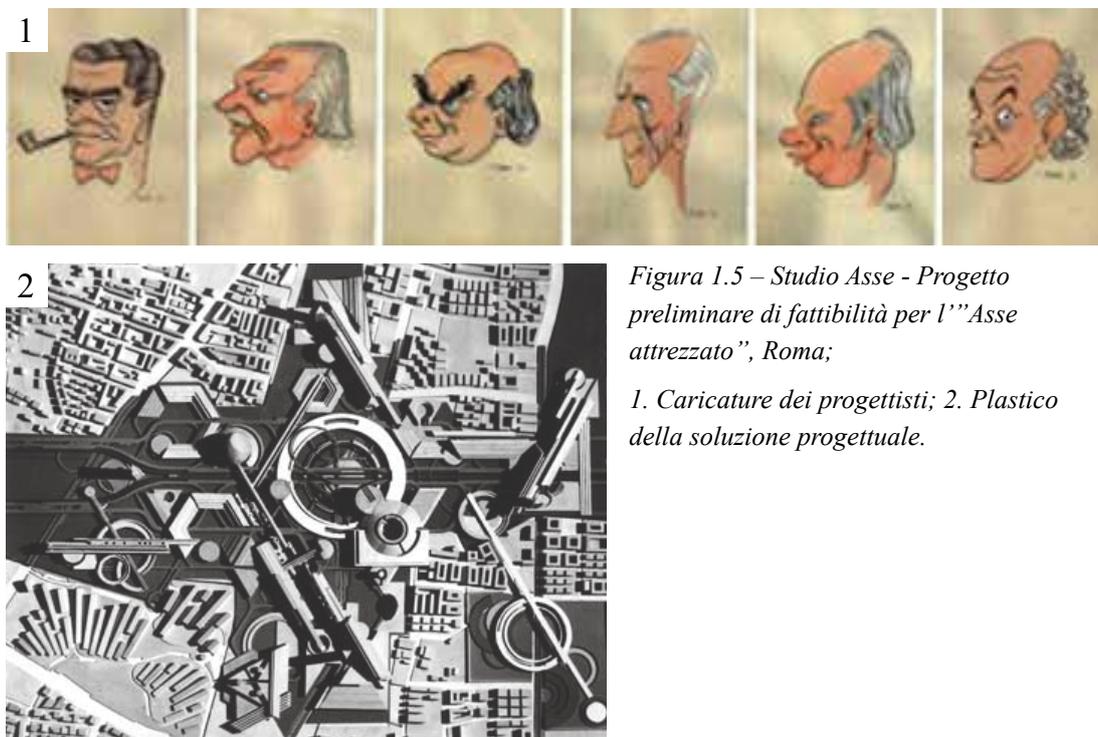


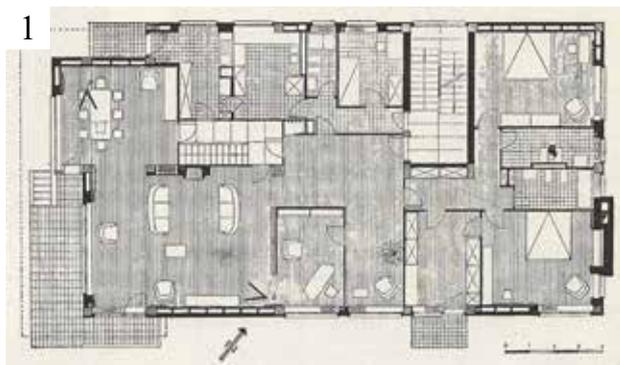
Figura 1.5 – Studio Asse - Progetto preliminare di fattibilità per l'Asse attrezzato", Roma;

1. Caricature dei progettisti; 2. Plastico della soluzione progettuale.

Tra il 1947 e il 1949, invece, partecipò alla progettazione e realizzazione della Palazzina in via Monti Parioli 15 a Roma insieme agli architetti Luigi Piccinato e Silvio Radiconcini, situato in un quartiere residenziale, costituito prevalentemente dalla tipologia edilizia del villino. L'edificio, sviluppato su quattro piani fuori terra, ha la particolarità, rispetto all'edificio circostante, di non ripetere il piano-tipo standardizzato, ma ogni livello, adibito ad alloggio privato, è progettato in modo differente, e viene data particolare importanza alla zona giorno, articolata in un unico spazio suddiviso in "zone d'uso" e con una forte presenza di luce naturale fornita dalle ampie aperture verso l'esterno (Figura 1.6 ⁷).

6 Fonte: sito web dello Studio Passarelli

7 Fonte: portale web Archi DiAP



*Figura 1.6 – Luigi Piccinato, Silvio Radiconcini, Bruno Zevi - Palazzina in via Monti Parioli 15, Roma;
 1. Pianta di uno degli alloggi privati della Palazzina;
 2. Foto degli interni della zona giorno di uno degli alloggi privati; 3. Foto degli esterni.*

Team di architetti e artisti molto più esteso è quello con cui Bruno Zevi collabora per il progetto del Padiglione italiano all'Esposizione Internazionale di Montreal del 1967. Il gruppo di progettazione era composto, infatti, da Giulio Carlo Argan, Michele Guido Franci, Bruno Zevi e lo Studio Passarelli, insieme a Carlo Scarpa, Renzo Ricci, Bruno Munari e Emilio Vedova per la realizzazione degli allestimenti interni. La struttura è costituita da una grande copertura di colore bianco a forma di vela (Figura 1.7 ⁸) al di sopra di un suolo articolato, che contrasta con il bianco della vela per il suo colore scuro dato da una graniglia di cemento e marmo. All'interno, le tre aree espositive progettate da Scarpa, Ricci e Munari, presentano linguaggi architettonici differenti, ma legati da un percorso interno ideato da Emilio Vedova.

Le premesse fatte precedentemente riguardo all'influenza che Frank Lloyd Wright ebbe sul pensiero di Zevi, e la conoscenza approfondita sui sistemi costruttivi della prefabbricazione derivatagli dal viaggio negli Stati Uniti nel 1945 per conto dell'USIS, sembrano esplicitarsi, nella sua attività progettuale, in due esempi molto più modesti per quanto riguarda le dimensioni, e che

⁸ Fonte: sito web dello Studio Passarelli

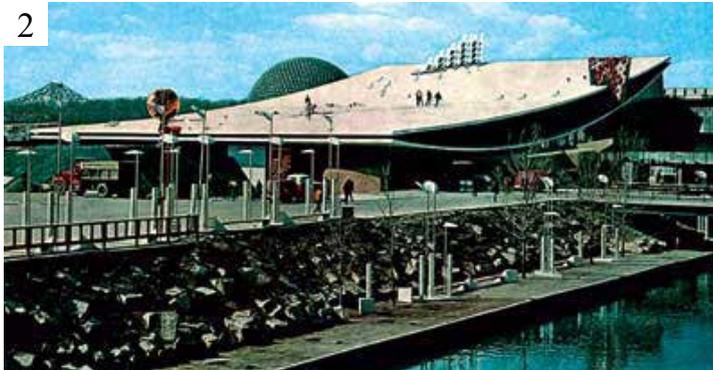


Figura 1.7 – G. C. Argan, M. G. Franci, Studio Passarelli, B. Zevi, C. Scarpa, L. Ricci, B. Munari, E. Vedova - Padiglione italiano all'Expo di Montreal, 1967;

1. Sezione longitudinale del padiglione; 2. Vista del padiglione dal fiume.

verranno descritti in modo più approfondito nei capitoli successivi, ovvero le due biblioteche civiche “Luigi Einaudi” a Dogliani (CN) nel 1963 e “Nino Colombo” a Beinasco (TO) nel 1968, quest’ultima interamente prefabbricata (Figura 1.8). Soprattutto nel caso di Dogliani, sono riscontrabili da una parte la predilezione per le forme irregolari e dinamiche, dall’altra l’attenzione alla progettazione dello spazio interno come fulcro dell’architettura. L’edificio rappresenta sicuramente un buon esempio di riproduzione dell’architettura organica di Wright, citando quasi la Robie House a Chicago dell’architetto americano, ma mostra anche come, nel complesso, non sia stato operato un vero e proprio rinnovamento o riadattamento alla cultura architettonica italiana. Il caso della Biblioteca di Beinasco, invece, nonostante le motivazioni di carattere sociale che portarono alla sua realizzazione, non coglie le sue potenzialità nella sua realizzazione ma presenta criticità sia a livello energetico di involucro, sia



Figura 1.8 – La Biblioteca civica di Dogliani a sinistra, quella di Beinasco a destra

per quanto riguarda gli spazi interni, male illuminati e quindi poco funzionali. I due edifici, realizzati con strutture prefabbricate, quello di Dogliani solo in parte, quello di Beinasco completamente, rappresentano però tentativo di aggiornamento e rinnovamento delle tecniche costruttive, in un periodo in cui, in Italia, l'utilizzo del cemento armato era decisamente prevalente, sia nel campo dell'edilizia che delle grandi opere a firma di Pier Luigi Nervi, Riccardo Morandi e Sergio Musmeci.

II. Ex Biblioteca Civica

“Nino Colombo”



2.1 *Cenni storici: la biblioteca comunale di Beinasco nel progetto della rete di biblioteche di Giulio Einaudi*

Tra gli anni '50 e '60, l'editore Giulio Einaudi perseguì l'ambizioso progetto di portare e diffondere la cultura e la lettura anche nelle classi sociali più umili, tramite la realizzazione, in tutta Italia, di una rete di biblioteche pubbliche di modeste dimensioni, adatte ad inserirsi nei contesti urbani più piccoli e periferici. Il progetto della rete di biblioteche doveva essere, secondo l'idea di Einaudi, "la prima pagina di una voluminosa opera di supporto culturale a future generazioni di italiani"¹.

Il 29 settembre 1963 venne inaugurata nel comune di Dogliani, in provincia di Cuneo, la prima biblioteca modello della "serie" prevista, dedicata al padre dell'editore torinese, Luigi Einaudi. Il progetto architettonico venne affidato allo Studio A/Z Architetti e Ingegneri di Roma, con la consulenza critica di Bruno Zevi. La caratteristica di massima capillarità che la rete di biblioteche si proponeva di avere in tutta Italia e soprattutto nel Mezzogiorno, rendeva necessaria la progettazione di edifici il più funzionali e allo stesso tempo il più economici possibile, e soprattutto di utilizzare materiali e strutture che rendessero facilmente attuabile la loro riproducibilità.

In quegli stessi anni, Beinasco, comune alle porte di Torino, iniziava a risentire del boom economico che investì l'Italia del dopoguerra e di una forte crescita demografica dovuta allo stabilimento Le Fornaci per la produzione di laterizi e soprattutto alle fabbriche della Fiat. Quella di Beinasco era quindi una popolazione con una forte componente migratoria e appartenente in buona parte alla classe operaia, in cui la lettura e i giornali non erano molto diffusi e la scolarità era ancora molto bassa (meno di 500 persone laureate, diplomate o con licenza media su una popolazione di 5.513 persone nel 1963)². In questo contesto, nel 1964, alle elezioni amministrative comunali, le forze di sinistra, poi elette,

¹ cfr. Agus Anna Lisa (a cura di), *Le Biblioteche di Giulio Einaudi*, Fondazione Giulio Einaudi o.n.l.u.s., Torino, 2011

² G. Mongini, C. Oddone, *Municipi e Castellanie. Storia di Beinasco dalle origini ad oggi*, Comune di Beinasco e Umberto Allemandi & C., Torino, 1999, p. 256

presentarono un programma contenente la proposta di apertura della prima biblioteca pubblica del comune e nel 1965 il Consiglio comunale deliberò all'unanimità per la sua realizzazione. Nel settembre dello stesso anno venne inaugurata la prima sede provvisoria della biblioteca nella sala del Consiglio comunale, nel centro storico di Beinasco. La biblioteca venne animata fin dall'inizio da un'intensa attività di dibattiti culturali, quali la rassegna "Incontri con gli autori" a cui presero parte, tra gli altri, importanti scrittori del tempo come Italo Calvino, Giorgio Bassani e Primo Levi. A farsi promotore di tale progetto e delle successive iniziative, fu in particolar modo Bartolomeo Colombo, detto Nino, neo assessore alla Cultura del comune di Beinasco, membro del Comitato direttivo della biblioteca e impiegato presso la casa editrice Einaudi. Nella sua figura si realizzò quindi il punto di incontro tra l'iniziativa della Giunta comunale e il progetto della rete di biblioteche di Giulio Einaudi. La Biblioteca "Luigi Einaudi" di Dogliani venne infatti presa a esempio, inizialmente, per la prima scelta della formazione del patrimonio librario da parte del Comitato direttivo, e, successivamente, come modello architettonico per la costruzione *ex novo* di un edificio adibito a biblioteca. Quando il Consiglio comunale votò a favore per la realizzazione di una nuova sede, infatti, Nino Colombo visitò alcune biblioteche pubbliche per individuare la soluzione migliore e la ritrovò in quella di Dogliani. Il 13 ottobre 1967, il comune appaltò i lavori per la costruzione della nuova sede, progettata anch'essa da Bruno Zevi sulla stessa matrice del modello del cuneese. Il terreno individuato per la sua costruzione era situato leggermente fuori dal centro cittadino, lungo la strada provinciale Torino-Orbassano, vicino al monumento alla Resistenza di Franco



Figura 2.1 – Giulio Einaudi all'inaugurazione della biblioteca comunale di Beinasco

Garelli inaugurato nel 1965. Il 29 settembre 1968 ci fu l'inaugurazione della nuova biblioteca, a cui presero parte, oltre alle autorità comunali e ai cittadini beinaschesi, anche esponenti del mondo culturale italiano e vari editori tra cui lo stesso Giulio Einaudi (Figura 2.1). Nel 1995 la biblioteca venne intitolata a Nino Colombo.

Rispetto al modello di Dogliani, realizzato in parte con materiali tradizionali e non prefabbricati, quali calcestruzzo armato, la biblioteca comunale di Beinasco, realizzata quasi esclusivamente a secco con struttura e tamponamenti prefabbricati in acciaio, rappresentava il primo vero e proprio prototipo della serie, poiché rispettava i tre caratteri fondamentali richiesti: funzionalità, facilità di riproduzione ed economicità.

Il progetto dell'editore Giulio Einaudi di creare una rete di edifici dedicati alla diffusione della cultura e della lettura nei comuni più piccoli e lontani dai centri più grandi di aggregazione del sapere e della cultura, rimase però utopistico e irrealizzato. I due casi di Dogliani e di Beinasco, sono infatti le uniche biblioteche della "serie" mai realizzate.

Mentre il modello di Dogliani non ha mai smesso di funzionare ed è tuttora attivo come biblioteca, il prototipo di Beinasco rimase in attività fino agli anni duemila, quando, a causa dello sviluppo del sistema bibliotecario locale, la necessità di una nuova sede portò alla decisione di spostare la biblioteca comunale presso il palazzo del municipio. Svuotato della sua funzione originaria, e in mancanza di una destinazione d'uso alternativa, l'edificio progettato da Bruno Zevi è completamente abbandonato da oltre dieci anni, portandolo allo stato di degrado e inagibilità in cui versa tutt'oggi. Nel 2019, nonostante sia un edificio costruito meno di settanta anni fa, l'ex Biblioteca "Nino Colombo" è stata inserita, dalla Soprintendenza, tra i beni vincolati ai sensi del D.Lgs. 42/2004.

2.2 Il modello: la Biblioteca Civica “Luigi Einaudi” a Dogliani

Nel settembre del 1963 viene inaugurata a Dogliani, comune del cuneese, la biblioteca progettata da Bruno Zevi che avrebbe dovuto rappresentare il modello della futura rete di biblioteche immaginata da Giulio Einaudi.

La biblioteca, dedicata al padre dell’editore, l’economista e Presidente della Repubblica Luigi Einaudi, è collocata a ridosso dell’argine del torrente Rea, che attraversa l’intero comune, vicino al centro storico della cittadina. L’edificio raccoglie in sé i principali caratteri che avrebbero dovuto avere le biblioteche della rete: un ridotto sviluppo in pianta, adeguato alle dimensioni del comune (4.750 abitanti nel 1961)³, semplicità e funzionalità degli spazi interni.

L’edificio si sviluppa su un unico livello per una superficie di circa 100 m² ed è costituito prevalentemente da un unico grande ambiente che può però trasformarsi, in base alle esigenze, in aree più piccole e appartate grazie alla presenza di scaffalature mobili che scorrono lungo guide poste a soffitto. In questo modo, dall’unico ambiente utilizzato per conferenze con una capienza di 80/100 persone, si generano due spazi, uno, rivolto verso le finestre e con

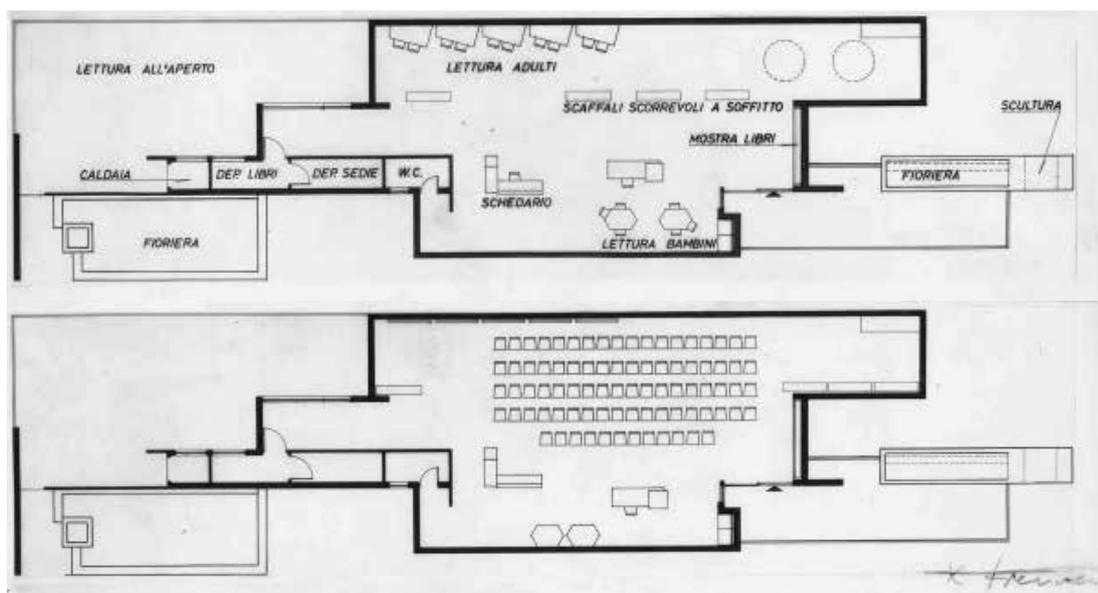


Figura 2.2 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Luigi Einaudi” di Dogliani - piante delle due possibili disposizioni interne

3 ISTAT, X Censimento Generale della Popolazione. 15 ottobre 1961

tavolini richiudibili, destinato a lettura e consultazione, e l'altro destinato ai servizi di biblioteca quali accoglienza, prestito, consultazione dei cataloghi cartacei e zona lettura per ragazzi (Figura 2.2). I locali destinati a servizi igienici, deposito e zona caldaia sono invece collocati nell'ala sinistra della biblioteca in tre ambienti di ridotte dimensioni. Dall'ambiente centrale della biblioteca, in posizione speculare rispetto all'ingresso principale, è possibile accedere direttamente ad una terrazza esterna, in una zona destinata a lettura all'aperto e affacciata direttamente sul torrente Rea.

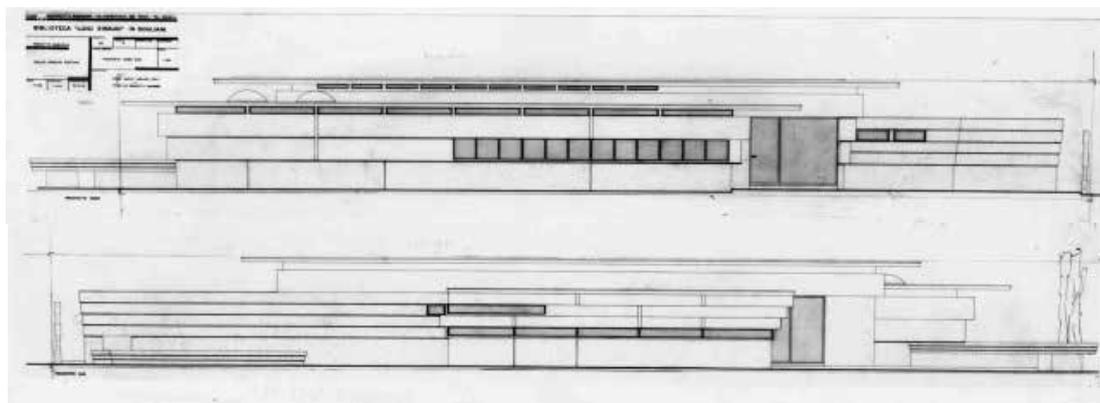


Figura 2.3 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Luigi Einaudi” di Dogliani - prospetti principali

Nonostante la semplicità e il ridotto numero di ambienti interni, la struttura è articolata sia in pianta che in alzato in volumi aggettanti e allungati e due coperture piane e sporgenti rispetto all'edificio sottostante che ne danno un forte carattere dinamico, come si evince osservando i prospetti principali di Figura 2.3. Tali prospetti non rendono appieno però il senso di dinamicità dell'edificio poiché è da privilegiarsi la vista angolare rispetto a quella frontale per poter cogliere la volumetria dell'edificio nel suo complesso. Questo e il rapporto con il paesaggio circostante, sapientemente studiato nella collocazione dell'edificio sulle sponde del torrente Rea e la terrazza/area lettura esterna affacciata direttamente su di esso, rispecchiano appieno il pensiero critico di Zevi e la sua predilezione per l'architetto americano Frank Lloyd Wright e l'architettura organica. L'architetto romano realizza una struttura perfettamente evocatrice dei principi da lui stesso sostenuti nel saggio “Verso un'architettura organica” pubblicato quasi vent'anni prima, nel 1945, riproducendo in modo sicuramente

ben riuscito l'architettura di Wright.

*Figura 2.4 –
Facciata
principale
della Biblioteca
civica Luigi
Einaudi a
Dogliani*



*Figura 2.5 –
Facciata
principale
della Robie
House di Frank
Lloyd Wright a
Chicago*



Particolare attenzione è stata rivolta anche all'arredo interno e al concetto di architettura che si fa arredo. Ne sono un esempio le finestre, rigorosamente a nastro, che, nell'idea del progettista, dovevano svolgere anche il ruolo di scaffali per i libri, in modo che questi fossero visibili anche dall'esterno e svolgessero un ruolo utopistico di richiamo e attrazione per il passante esterno. Nonostante la scelta di posizionare i libri alla luce diretta del sole non fosse affatto favorevole per una buona conservazione del patrimonio librario, ciò è indice di una certa attenzione, in fase progettuale, per alcuni particolari architettonici e di arredo, come dimostrano anche i tavolini trapezoidali ripiegabili, le scaffalature mobili e l'illuminazione esterna. Questa è infatti ricavata tramite gli aggetti dell'involucro in cui sono alloggiati luci a nastro che creano una suggestiva illuminazione notturna della biblioteca.

La struttura rispecchia, in parte, l'intento di conferire un carattere di riproducibilità a tali edifici con l'utilizzo di componenti prefabbricati per la realizzazione di

alcune porzioni della biblioteca. I materiali utilizzati sono infatti calcestruzzo per il basamento ed elementi prefabbricati, sia strutturali per pilastri e copertura, sia di tamponamento. Le pareti esterne, infatti, sono realizzate in parte con pannelli metallici che, grazie alla tinteggiatura esterna di colore rosso acceso, spiccano rispetto al sottostante basamento in cemento armato lasciato ben visibile.



Figura 2.6 – Biblioteca civica Luigi Einaudi, foto dell'archivio della Fondazione Bruno Zevi;

- 1. Vista esterna, ingresso principale;*
- 2. Vista interna, zona lettura e consultazione, scaffalature mobili a soffitto chiuse a separazione degli ambienti interni;*
- 3. Vista esterna, illuminazione notturna della biblioteca;*
- 4. Vista interna, zona servizi biblioteca.*

2.3 *Il prototipo: la Biblioteca Civica “Nino Colombo” a Beinasco*

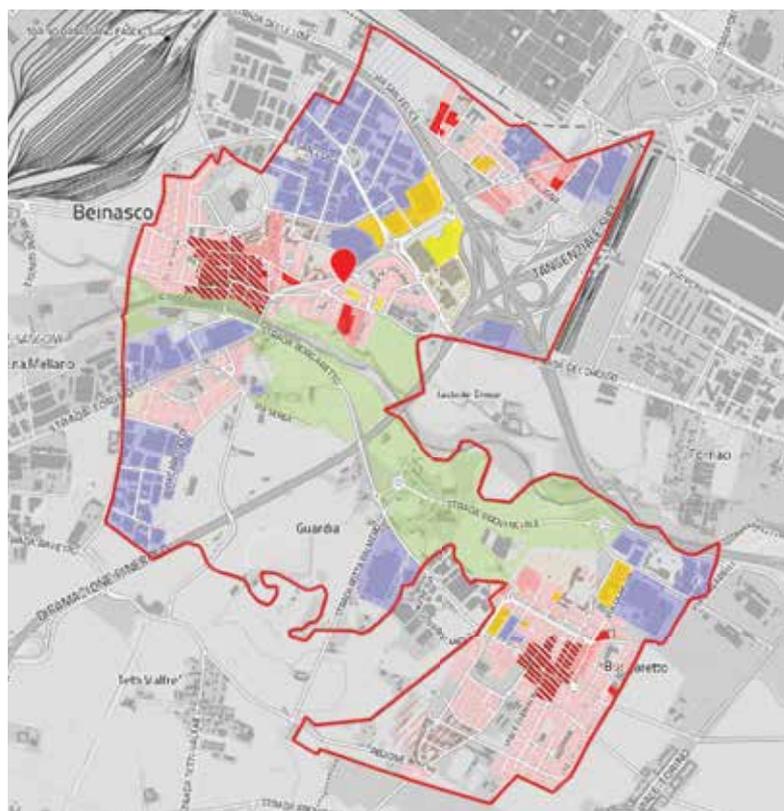
2.3.1 *Inquadramento territoriale*

L'edificio progettato da Bruno Zevi e inaugurato cinque anni dopo il modello di Dogliani, nel settembre del 1968, è situato nel quartiere le Fornaci di Beinasco, comune facente parte della prima cintura di Torino, all'interno di una piccola area verde pubblica.

Il comune, il cui territorio è oggi suddiviso nelle quattro aree di Beinasco, Borgo Melano, Borgaretto e Fornaci, risale all'epoca romana (I sec. a.C.) come colonia per la difesa dell'antica Torino (Augusta Taurinorum). Dopo essere quasi scomparso nel XVII secolo a causa delle distruzioni e saccheggi perpetrati dalle truppe francesi durante la guerra contro la Francia e della peste che colpì anche Torino nel 1630, ebbe una prima crescita demografica tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del Novecento con l'apertura delle fornaci per laterizi che portò una importante componente migratoria alla popolazione. Il vero boom demografico si verificò però nel secondo dopoguerra, quando, investito dal boom economico che coinvolse l'Italia in quegli anni, la popolazione aumentò dai 2.000 abitanti di prima del conflitto ai circa 20.000 del 1996.

L'area in cui sorge l'ex Biblioteca “Nino Colombo” si trova leggermente decentrata rispetto al centro storico, al confine tra un'area residenziale e un'estesa area produttiva e terziaria, come mostrato nello stralcio di mappa di Figura 2.7 in cui sono indicate le principali destinazioni d'uso delle aree⁴ secondo Piano Regolatore vigente del Comune di Beinasco approvato con la D.C.C. n. 8 del 24/02/2010. Dalla figura è facilmente intuibile, osservando la sua estensione, l'importanza, per l'economia di Beinasco, dell'area produttiva e industriale, che occupa quasi interamente il territorio del quartiere le Fornaci, nella zona a nord del comune, e delle aree residenziali sorte principalmente con il boom economico e demografico del secondo dopoguerra. Le due piccole aree indicate come centri

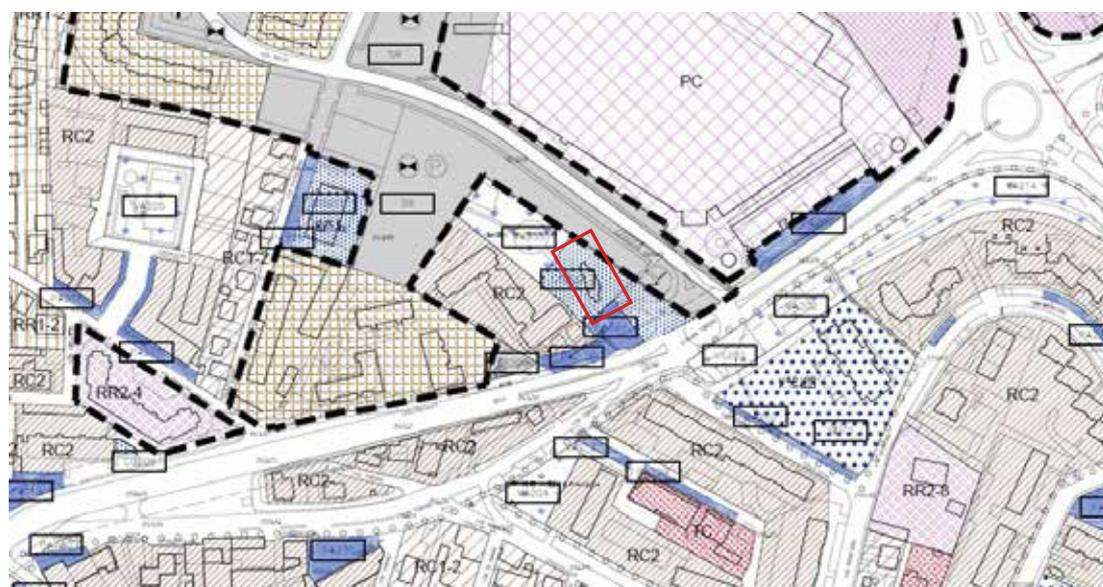
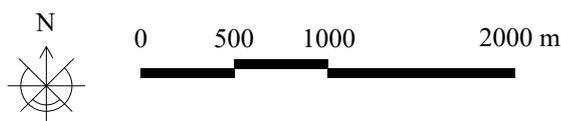
⁴ Fonte: *Geoportale del Piemonte, Mosaicatura PRG - Dato storico*



LEGENDA

-  Ex Biblioteca "Nino Colombo"
-  Confine comunale
-  Centri storici / nuclei minori
-  Aree residenziali
-  Aree produttive
-  Aree terziarie
-  Aree per servizi L. 56/77 art. 22

Figura 2.7 – Stralcio di mappa dal Geoportale del Piemonte, indicante le principali destinazioni d'uso del comune di Beinasco



- | | | | | | |
|---|---|---|---------------------------------------|---|--|
|  | Ex Biblioteca "Nino Colombo" |  | Attrezzature di interesse comune |  | Spazi pubblici a parco, gioco (verde attrezzato) |
|  | Aree residenziali consolidate di recente impianto a prevalente tipologia condominiale |  | Aree produttive esistenti consolidate | | |

Figura 2.8 – Estratto del Piano Regolatore Comunale, fuori scala. Tavola P4.2 - Destinazione aree Beinasco

storici corrispondono, invece, al centro storico principale del comune e a quello del quartiere Borgaretto.

In figura 2.8 è riportato un estratto della Tavola P4.2 del PRG del Comune di Beinasco in cui è indicata con maggior precisione la collocazione della Ex Biblioteca Civica “Nino Colombo”, ricadente, da Piano Regolatore, nella categoria “*Attrezzature di interesse comune*”.

L’edificio è collocato all’interno di un parco pubblico di modeste dimensioni, già previsto al momento della costruzione della biblioteca nel 1967-1968, accanto al Monumento ai caduti dello scultore Franco Garelli inaugurato nel 1965, in occasione del ventennale della Resistenza. Oggi l’area verde in cui è situata la biblioteca si trova circondata, da un lato, dallo stabilimento F.I.S.P.A. e, dall’altro, da aree residenziali di recente impianto, con edifici prevalentemente di tipo condominiale. Questi ultimi, a differenza dello stabilimento già esistente negli anni ‘60, sono stati costruiti, in buona parte, nello stesso periodo o successivamente alla realizzazione della biblioteca di Zevi. Il contesto in cui andava ad inserirsi era quindi diverso rispetto a quello attuale; ad oggi, la netta differenza di altezza tra il condominio di dieci piani adiacente al parco e la biblioteca stessa, e la presenza nel parco pubblico di una vegetazione lasciata crescere senza particolare cura, fanno sì che la struttura si perda quasi alla vista e passi inosservata allo sguardo dei più.

Figura 2.9 – Vista satellitare della Biblioteca Nino Colombo - foto del 31/05/2019



0 25 50 100 m



2.3.2 Il progetto

La biblioteca civica “Nino Colombo”, inaugurata a Beinasco il 29 settembre 1968, riprende in modo chiaro e netto i caratteri funzionali, distributivi e volumetrici della precedente biblioteca di Dogliani ma al tempo stesso ne accentua l’aspetto di riproducibilità, essendo a tutti gli effetti una struttura totalmente prefabbricata, e rappresenta quindi quello che sarebbe dovuto essere il prototipo di biblioteca della rete mai però realizzata.

Figura 2.10 – La Biblioteca civica di Beinasco dopo la sua costruzione nel 1968



Le analogie con il modello di Dogliani sono chiare osservando lo sviluppo in pianta dell’edificio; come il predecessore, anche a Beinasco la biblioteca si sviluppa su un solo livello, articolato in un unico grande ambiente di forma irregolare di circa 120 m² destinato a spazio espositivo, sala lettura, servizi bibliotecari e sala conferenze. Anche qui la presenza di scaffalature scorrevoli per i libri permettono di modificare e adeguare gli spazi interni alle diverse esigenze nella fruizione della biblioteca, rendendola uno spazio polifunzionale. A differenza di Dogliani, però, dove le scaffalature sono rese mobili grazie a guide poste a soffitto, nel caso di Beinasco sono presenti due binari a pavimento che tagliano longitudinalmente l’ambiente per tutta la sua lunghezza, creando in questo modo due spazi contigui. Gli ambienti dedicati a servizi, deposito e locale tecnico per l’impianto di ventilazione sono collocati nell’ala destra dell’edificio e ridotti, come nel caso della biblioteca di Dogliani, ad una metratura minima, seppur più spaziosi rispetto al modello del 1963. La centrale termica è

invece collocata in un apposito locale interrato di 6 m² circa, al di sotto dei suddetti ambienti, a cui si accede tramite scala esterna. Rispetto alla Biblioteca “Luigi Einaudi”, Zevi aumenta la superficie complessiva dell’edificio e migliora a livello compositivo e funzionale la configurazione ad uso sala conferenza.

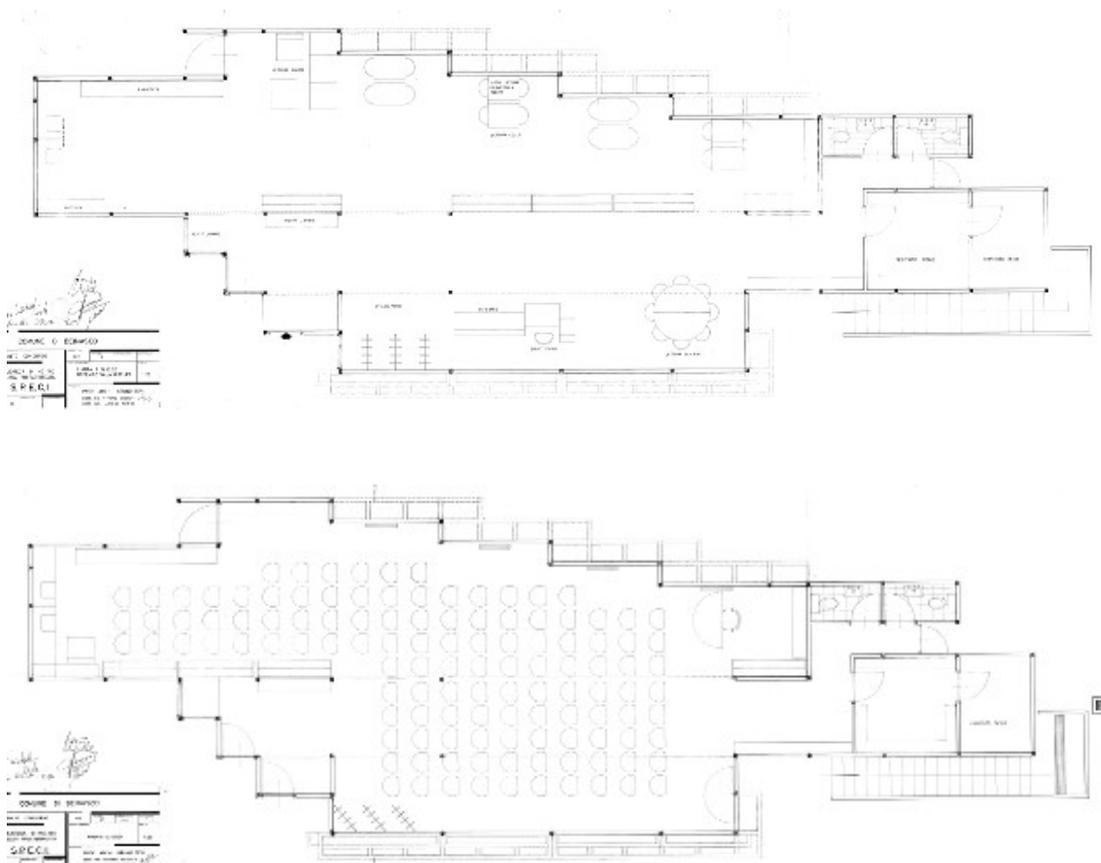


Figura 2.11 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Nino Colombo” di Beinasco - piante delle due possibili disposizioni interne

Oltre ad essere progettata per una capienza di 150 persone, infatti, confrontando le piante dei due edifici è possibile osservare come la disposizione delle sedute a Beinasco sia ruotata di 90 gradi rispetto a Dogliani, creando una vista prospettica con punto focale sulla scena, che attira maggiormente l’attenzione su chi parla. Inoltre, la realizzazione di un ingresso secondario, vicino alla zona servizi, seminascosto dalla presenza di partizioni interne, funge da “quinta” alla sala conferenze, aspetto completamente assente nella Biblioteca “Luigi Einaudi”.

La struttura è collegata con l’esterno tramite quattro aperture di diverse dimensioni poste su altrettante facciate. L’ingresso principale era probabilmente

costituito, all'inizio, dall'apertura di maggior ampiezza posta sul prospetto Nord-Est, come si evince osservando la foto storica di Figura 2.10, in cui si intravede un percorso pedonale di accesso alla biblioteca. Probabilmente a seguito della sistemazione del parco pubblico all'interno del quale è collocato l'edificio, l'ingresso principale è stato sostituito da quello posizionato sul prospetto Sud-Est, come è tutt'oggi visibile. Nonostante la collocazione all'interno di un'area verde, non è stata attrezzata né prevista, in fase progettuale, una vera e propria area esterna per la lettura, come nel caso della terrazza sul torrente Rea della Biblioteca "Luigi Einaudi", che ne rappresentava un aspetto qualificante e di pregio, sintomo, nell'edificio di Beinasco, di una minore cura e attenzione al rapporto paesaggistico.

La funzionalità degli spazi interni e l'attenzione ad un arredo integrato all'architettura è riscontrabile, oltre che nelle diverse configurazioni possibili che può assumere, anche nello studio delle scaffalature per i libri disposte sulle pareti esterne della biblioteca ricavate da rientranze e nicchie dell'involucro stesso dell'edificio. Le nicchie hanno poi una doppia funzione: da una parte, la rientranza interna dell'involucro permette il contenimento dei libri senza togliere spazio all'ambiente, dall'altra, la sporgenza esterna posta ad una altezza di circa un metro si presta all'alloggiamento degli apparecchi luminosi per ottenere un'illuminazione notturna suggestiva come già realizzato per la biblioteca civica di Dogliani. A differenza di quest'ultima, però, per la biblioteca Beinasco non ci sono foto storiche degli interni che immortalano l'edificio com'era durante il suo utilizzo.

L'irregolarità dello sviluppo planimetrico, la presenza di aggetti e volumi che sembrano quasi estrusi dall'involucro esterno della struttura e il sistema di coperture piane danno un forte senso di dinamicità all'intero edificio. La sua forma bassa e allungata, accentuata dalle coperture particolarmente aggettanti rispetto alla sottostante struttura, fa prevalere le linee orizzontali rispetto a quelle verticali date dalla sagomatura dei pannelli di tamponatura.

Nel caso della Biblioteca Civica "Nino Colombo", le coperture vengono

aumentate a tre rispetto alle due della gemella di Dogliani, poste su tre differenti livelli, a 2,70 m, 3,55 m e 4,35 m ⁵, di forme diverse e sfalsate l'una rispetto all'altra. L'ambiente interno è quindi caratterizzato da una irregolarità non solo in pianta ma anche in altezza; in particolare, i locali adibiti a servizi igienici, deposito e locale tecnico hanno tutti altezza pari a 2,70 m, mentre l'ambiente principale è articolato nelle tre altezze sopra indicate.

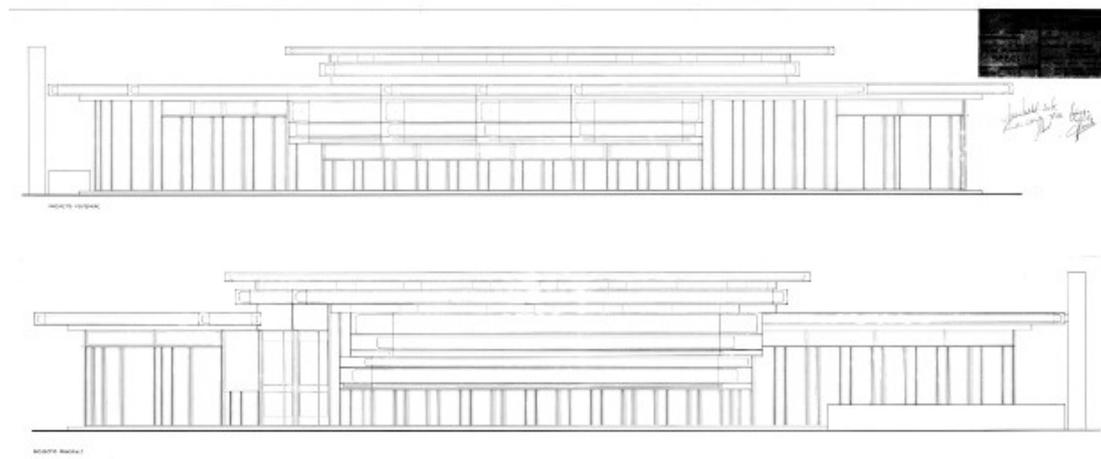


Figura 2.12 – Figura 2.12 - Disegni originali del progetto della Biblioteca “Nino Colombo” di Beinasco - prospetti principali

L'illuminazione naturale è fornita da finestre a nastro di misure differenti posizionate a diverse altezze rispetto al piano di calpestio e dalle aperture che collegano all'esterno, chiuse da porte vetrate; l'area centrale sopraelevata a oltre 4 m, inoltre, capta luce dalle finestre a nastro disposte su tutta la lunghezza di entrambi i lati di maggiore estensione e sono presenti due lucernari a forma di oblò posti sulla copertura di minore altezza, nell'ala sinistra dell'edificio. Nonostante l'elevato numero di componenti finestrati, però, il loro posizionamento, sempre al di sotto delle coperture eccessivamente aggettanti, che doveva favorire una illuminazione di tipo diffuso, fa in realtà sì che l'apporto solare sia estremamente ridotto e che l'ambiente interno risulti piuttosto buio, aspetto sicuramente penalizzante per un edificio adibito ad uso biblioteca; ciò rappresenta infatti uno dei motivi per cui la Biblioteca “Nino Colombo” non risulta essere, a livello funzionale, nel complesso, un esempio di architettura ben riuscito come lo era

⁵ Altezze interne utili riferite all'intradosso della copertura

stato, cinque anni prima, il modello di Dogliani.

Dal punto di vista strutturale e dei materiali utilizzati, la biblioteca comunale di Beinasco esprime però uno sviluppo in termini di tecnologia costruttiva rispetto alla gemella. L'edificio è infatti interamente prefabbricato con struttura e tamponamenti in acciaio, in modo da raggiungere l'obiettivo di facile riproduzione e funzionalità uniti a costi di realizzazione minimi; tale scelta progettuale è anche frutto, probabilmente, dell'attività di studio e informazione sulla prefabbricazione e costruzione di case economiche svolto da Zevi nel 1945 durante un viaggio negli Stati Uniti, quando lavora al coordinamento dei "Bollettini Tecnici" diffusi in Italia dall'Usis (United States Information Service) tra il 1945 e il 1946⁶.

L'uso dell'acciaio e di strutture prefabbricate di cui ne è un esempio la biblioteca, inoltre, rappresentano un qualcosa di inusuale nel contesto storico a cui risale la costruzione dell'edificio. Gli anni '60, soprattutto in Italia, individuano un periodo di grande fiducia nel cemento armato, testimoniato dal massiccio utilizzo di tale materiale nella maggior parte delle opere e delle strutture realizzate in questo periodo e nei successivi decenni, sia da parte di grandi progettisti quali Nervi, Morandi e Musmeci, che in edilizia civile e nei nuovi quartieri dei centri urbani.

Entrambi gli edifici di Dogliani e Beinasco rispecchiano l'influenza che Wright e l'architettura organica ebbero sul pensiero e sulla produzione di Zevi sia nel suo lavoro di storico e critico dell'architettura sia nel suo, seppur ridotto, lavoro di progettista. Rispetto alla Biblioteca "Luigi Einaudi", però, che rappresenta un esempio ben riuscito di architettura e di riproduzione fedele dei caratteri dell'architettura organica di Wright, la "Nino Colombo" di Beinasco presenta delle criticità sia a livello di caratteri architettonici, risultando nel complesso meno proporzionata rispetto al primo modello, sia a livello funzionale; sono stati già descritti, nei paragrafi precedenti, i problemi di illuminazione interna e una minor cura, sia in fase progettuale che in quella esecutiva, dei particolari costruttivi e del rapporto con il contesto.

6 R. Dulio, *Introduzione a Bruno Zevi*, Gius. Laterza & Figli, Bari, 2008, pp. 42-46

*III. Analisi dello stato di fatto,
interventi di restauro e proposta
di rifunzionalizzazione*



3.1 *Struttura e sistema impiantistico esistente*

L'edificio progettato da Bruno Zevi alla fine degli anni '60 presenta una struttura completamente prefabbricata costituita da elementi metallici, poggiata su fondazioni continue in calcestruzzo armato.

La struttura portante in acciaio è realizzata mediante pilastri poggianti sui cordoli in c.a. della fondazione e arcarecci in profilati IPE160. Le tre coperture, la cui stratigrafia è rappresentata in Figura 3.1, sono chiuse da lamiere grecate in acciaio zincato e completate con calotte in cemento armato dello spessore di 10 cm e strati sovrapposti di guaina impermeabilizzante. La struttura portante del solaio non è a vista, ma è stata nascosta al di sopra di un controsoffitto costituito da un telaio in acciaio di profili metallici a omega sospeso al solaio di copertura e da interposti elementi modulari traforati in acciaio e verniciati a fuoco. Nell'intercapedine tra il controsoffitto e la lamiera nervata della copertura è posizionato un materassino in lana di roccia di spessore 20 mm che fungeva, secondo progetto originario, da isolamento termico e acustico.

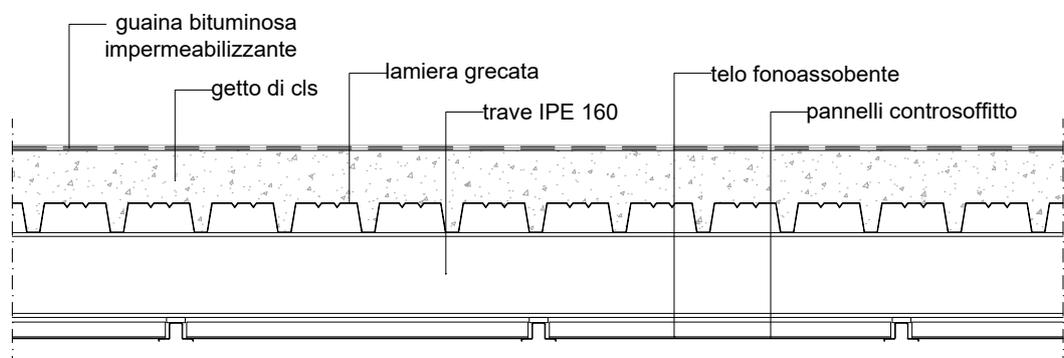


Figura 3.1 – Stratigrafia della copertura allo stato di fatto - Fuori scala

Al controsoffitto, che prosegue in modo continuo dagli ambienti interni agli aggetti esterni, è fissato il sistema di tamponamento realizzato con una doppia pannellatura in acciaio e interposta intercapedine d'aria, rappresentato in Figura 3.2. Entrambi i pannelli, interni ed esterni, sono di tipo sandwich con uno strato isolante interno; quelli interni hanno uno spessore di circa 60 mm con interposto strato isolante di Cadorite e presentano una finitura liscia in acciaio zincato,

mentre quelli esterni, di spessore 25 mm e con isolante in Pavatex, hanno una doppia finitura: la superficie rivolta verso la camera d'aria è piana in acciaio zincato, mentre quella rivolta all'esterno, a vista, è in lamiera d'acciaio profilata verniciata. Le connessioni tra pannelli interni ed esterni sono effettuate a secco con l'aggancio degli elementi a profili metallici orizzontali a forma di C posti all'interno dell'intercapedine d'aria.

All'interno, le tramezzature sono realizzate anch'esse con pannelli prefabbricati di spessore 50 mm e superfici a vista in lamiera di acciaio zincato come quelle dei pannelli interni delle tamponature.

Il solaio controterra non presenta, invece, alcun tipo di isolamento ma la pavimentazione, costituita, ad oggi, da mattonelle in cotto di dimensioni 5x10 cm, è fissata direttamente alla soletta in cemento armato delle fondazioni.

Per quanto riguarda lo stato attuale degli infissi in alluminio, in parte apribili e in parte fissi, sono riscontrabili diverse tipologie; parte di essi, infatti, sono originali, installati al momento della costruzione della biblioteca alla fine degli anni '60, gli altri, invece, sono stati sostituiti durante successivi interventi di ristrutturazione, probabilmente a seguito dell'adeguamento della biblioteca alla normativa antincendio.



Figura 3.2 – Stratigrafia della tamponatura allo stato attuale - Fuori scala

A livello impiantistico, invece, il progetto originario prevedeva un sistema di riscaldamento aeraulico. Dal locale tecnico situato vicino ai servizi igienici, il canale di ventilazione passava all'interno di un cavedio orizzontale posizionato sopra la copertura, e immetteva le portate d'aria attraverso bocchette di ventilazione ancora oggi visibili nel controsoffitto e sulla parete della zona centrale della biblioteca di maggiore altezza. In tal modo, il sistema impiantistico risultava totalmente nascosto ai fruitori della biblioteca. Allo stato attuale, invece, sono presenti anche radiatori in ghisa installati a parete, alcuni dei quali coperti da griglie metalliche, probabilmente risalenti a successive integrazioni impiantistiche. Ad oggi l'impianto di riscaldamento nel suo complesso non è più funzionante né recuperabile.

3.2 *Stato del degrado dell'involucro e dei materiali*

La prima fase progettuale di “conoscenza” del manufatto edilizio si compone a sua volta di due momenti successivi, coincidenti, da un lato, con l’analisi storica e documentale dell’edificio, svolta nel capitolo precedente, e, dall’altro, con il rilievo e la restituzione grafica della struttura allo stato attuale e delle criticità riscontrate.

Il sopralluogo e l’analisi dello stato di fatto della ex Biblioteca Civica “Nino Colombo” a Beinasco sono stati effettuati preliminarmente durante il corso di *Recupero e Conservazione degli edifici* tenuto dal Prof. Carlo Luigi Ostorero del corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile, e hanno permesso di evidenziare le tipologie di degrado che caratterizzano i componenti di involucro e di redigere tavole grafiche che consentano di avere una visione chiara e di insieme delle problematiche da affrontare nella seconda fase progettuale del “restauro”.

La rappresentazione grafica è stata redatta prendendo spunto dal metodo Dalla Costa, assegnando quindi a ciascuna tipologia di degrado riscontrato una precisa simbologia codificata, per individuarne il tipo, le possibili cause che hanno determinato l’ammaloramento e l’intervento necessario al suo risanamento. La simbologia di rappresentazione utilizzata è stata adattata ai materiali costruttivi del caso in esame, ossia principalmente leghe metalliche. In Allegato I sono riportate le tavole con l’analisi dello stato di fatto del degrado e la catalogazione dei pannelli sandwich di tamponamento. Le tavole sono state redatte durante il Corso di Recupero e Conservazione degli edifici in collaborazione con Giulia Bufo, Audrey Di Claudio, Ilenia Muscarella, Alessio Schepisi e Anna Sblano.

I degradi riscontrati dall’osservazione delle facciate e degli ambienti interni possono essere suddivisi in base alle cause, intrinseche ed estrinseche, che li hanno determinati e raggruppati in quattro macrocategorie:

- ammaloramenti dovuti ad agenti atmosferici e alla naturale perdita prestazionale dei materiali;
- ammaloramenti dovuti a problematiche sorte per una scarsa attenzione

in fase progettuale e in fase esecutiva o durante successivi interventi di ristrutturazione;

- modifiche improprie ai componenti di involucro e alla struttura e superfetazioni occorse durante il periodo di utilizzo della biblioteca;
- degni dovuti ad atti vandalici.

3.2.1 Ammaloramenti dovuti ad agenti atmosferici e perdita prestazionale dei materiali

La prima macrocategoria di degrado si riferisce principalmente allo stato di mantenimento dei pannelli sandwich esterni e interni e degli elementi in lamiera nervata che costituisce il controsoffitto. L'esposizione agli agenti atmosferici e la mancanza di manutenzione dovuta al prolungato abbandono della struttura, ha determinato la presenza diffusa di tipologie di degrado, di entità crescente, elencate di seguito:

- *esfoliazione*, consistente nel distacco totale o parziale dello strato superficiale esterno di vernice dei pannelli, dovuto principalmente all'esposizione agli agenti atmosferici e alla naturale perdita di prestazione dei materiali;
- *formazione di ruggine* in corrispondenza delle porzioni di pannello o lamiera già esfoliate. La perdita dello strato superficiale di protezione, dato dalla verniciatura nel caso dei pannelli e zincatura nella lamiera del controsoffitto, rende l'acciaio facilmente ossidabile con conseguente formazione di ruggine;
- *formazione di lacune* nelle porzioni di pannelli sandwich in cui la ruggine ha portato alla completa disgregazione dell'acciaio lasciando a vista i sottostanti strati di isolante e la struttura di supporto dei pannelli stessi.

Di seguito sono riportati gruppi di fotografie, riferiti alle facciate esterne (Figura 3.3), copertura (Figura 3.4) e ambienti interni (Figura 3.5), che riassumono le tipologie di degrado sopra descritte.

Soprattutto dall'osservazione e analisi delle facciate, è possibile riscontrare in modo chiaro gli ammaloramenti elencati precedentemente; la loro formazione è evidente soprattutto in corrispondenza delle zone d'angolo dell'involucro edilizio, nella porzione di pannelli più vicino al suolo, dovuta alla minore protezione agli agenti atmosferici data dagli aggetti della copertura, e nei profili metallici di raccordo con le fondazioni. Caso particolare è quello della foto n. 2 di Figura 3.3 in cui il pannello, nella zona inferiore, è particolarmente rovinato per la formazione di ruggine; ciò è dovuto al fatto che il pluviale, mancando della parte terminale, lascia defluire l'acqua meteorica direttamente sul pannello stesso, accelerandone e amplificandone la disgregazione.



Figura 3.3 – Esempi di degrado dovuti a esfoliazione, ruggine e lacune sui pannelli esterni delle facciate esterne

1. Prospetti Sud-Ovest e Nord-Est; 2. Prospetto Nord-Ovest; 3. Ingresso di servizio; 4. Prospetto Sud-Ovest.

Le tre coperture sfalsate della struttura, la cui stratigrafia è riportata al paragrafo 3.1, presentano problematiche principalmente a livello di controsoffittatura e di impermeabilizzazione. I vari strati di guaina bituminosa impermeabilizzante,

applicati in fase costruttiva e in successivi interventi, quali l'installazione dei pluviali esterni e lavori di ristrutturazione, è rovinata e ormai non più efficace alla tenuta dell'acqua.

Il controsoffitto, sia quello al di sopra degli ambienti interni che quello degli aggetti esterni, è realizzato con pannelli di lamiera nervata in acciaio zincato traforati di dimensioni varie, e, negli ambienti interni, è presente uno strato di isolamento termoacustico realizzato con materassini di lana di roccia. La lamiera, sia in interno che in esterno, presenta tipologie di degrado riconducibili a quelle dei pannelli sandwich esterni quali l'esfoliazione e la formazione di ruggine.



Figura 3.4 – Esempi di degrado della lamiera del controsoffitto interno ed esterno (foto 1 - 3) e della guaina bituminosa della copertura (foto 4 e 5)

All'interno, i pannelli mostrano estese aree in cui lo strato superficiale di vernice è completamente esfoliato ma, al di sotto di esso, i pannelli di acciaio non mostrano ulteriori segni di ammaloramento.

Le scaffalature mobili descritte nel precedente capitolo, che permettevano di riadattare lo spazio interno a seconda delle necessità di uso, sono, allo stato

attuale, in stato fatiscente a causa della mancata manutenzione a seguito dell'abbandono.



*Figura 3.5 –
Esempi di
degrado all'in-
terno*

*1. Esfoliazione
dei pannelli
interni; 2.
Degrado
delle librerie
scorrevoli*

3.2.2 Ammaloramenti dovuti a problematiche sorte per una scarsa attenzione in fase progettuale ed esecutiva o durante successivi interventi di ristrutturazione

Osservando lo stato di degrado delle coperture e dei controsoffitti, è facile notare come la formazione di ruggine sia particolarmente evidente e diffusa in corrispondenza del passaggio dei pluviali attraverso la copertura, di modo che si possa imputare la causa di tali ammaloramenti a perdite di acqua meteorica durante il suo deflusso. Ciò è dovuto probabilmente al raccordo tra pluviali e copertura e all'impermeabilizzazione del nodo non effettuati a regola d'arte.

La difficoltà di smaltimento delle acque piovane visibile dal loro accumulo in copertura, inoltre, è indice di una cattiva realizzazione, durante la fase esecutiva e/o nei successivi interventi di ristrutturazione, delle pendenze per il deflusso dell'acqua stessa.

Altra mancanza in fase progettuale ed esecutiva è individuata dalla foto 3 di Figura 3.6, in cui è possibile notare come, scavando a lato dell'edificio, non risulti presente alcuna opera di drenaggio a lato delle fondazioni superficiali.



Figura 3.6 – Ammaloramenti per cattiva progettazione o esecuzione

3.2.3 Modifiche improprie successive alla costruzione e superfetazioni

La terza macrocategoria di degrado si riferisce alle modifiche realizzate sull'edificio durante il periodo di utilizzo della biblioteca. Probabilmente legate a esigenze date dal suo utilizzo o a problematiche intrinseche alla struttura, tali modifiche appaiono però estranee all'estetica dell'edificio e sono facilmente riconoscibili dal confronto con foto storiche risalenti al periodo di costruzione o ipotizzabili, per quanto riguarda gli ambienti interni di cui non si ha documentazione fotografica, da ragionamenti sui materiali e tecnologie utilizzate, e dal confronto con la gemella di Dogliani.

È possibile riassumerle in tre gruppi:

- sostituzione di parte dei serramenti;
- aggiunta di inferriate a finestre e porte per evitare effrazioni all'interno della biblioteca. Oltre ad inserirsi come qualcosa di diverso ed estraneo alla struttura, tale modifica peggiora il comfort interno poiché agisce come schermatura e riduce ulteriormente i già scarsi apporti solari agli ambienti interni;
- inserimento di un sistema di scolo delle acque meteoriche esterno a vista. Il

sistema di pluviali era stato pensato e realizzato originariamente come nascosto e passante all'interno dell'edificio, in modo da lasciare le facciate libere da elementi esterni. Una progettazione e realizzazione non troppo attenta, unita a una scarsa manutenzione, ha comportato l'inefficienza di tale sistema di smaltimento delle acque piovane, rendendo necessaria l'installazione di pluviali esterni in PVC verniciato, installazione effettuata senza troppo tener conto della resa estetica dell'intervento. Inoltre, osservando la foto 2 di Figura 3.6, nel descrivere i degradi legati a problematiche sorte per la cattiva realizzazione di interventi di ristrutturazione, sono emerse le criticità di realizzazione del nodo pluviale - copertura, di modo che l'intervento di sostituzione dei pluviali non ha comportato problemi esclusivamente a livello estetico ma anche a livello tecnico e prestazionale;

- modifiche alla pavimentazione interna. Sebbene non si abbiano fotografie storiche o altra documentazione che attesti il tipo di pavimentazione prevista in fase progettuale, l'attuale pavimento realizzato con mattonelle 5x10 cm non è presumibilmente quello originale. Inoltre, i binari progettati per permettere il movimento delle scaffalature a separazione dell'ambiente interno, sono stati coperti con lastre di lamiera zincata per evitare l'accumulo di sporcizia;
- modifiche al sistema impiantistico di climatizzazione e di illuminazione. Il progetto originario degli impianti di climatizzazione prevedeva un'installazione non invasiva e nascosta che permettesse di mantenere le pareti libere da terminali e tubazioni; durante successivi interventi, sono stati invece installati radiatori in ghisa a parete, tubazioni per il passaggio di acqua e canaline per l'impianto elettrico a vista senza porre attenzione, come nel caso dell'installazione dei pluviali sopra descritta, alla resa estetica dell'intervento. Anche il sistema di illuminazione, sia in interno che in esterno, mostra apparecchi illuminanti discordanti con lo stile dell'edificio progettato da Bruno Zevi, quali lampade quadrate ad incasso e neon a sospensione.



Figura 3.7 – Esempi di modifiche improprie realizzate durante il periodo di utilizzo della biblioteca

1. Inferriate a porte e finestre e pluviale esterno a vista; 2. Pluviale a vista e sbarra metallica alle finestre a nastro; 3. Pavimentazione con mattonelle 5x10 cm e binari coperti con lamiere; 4. Radiatore con griglia di copertura e cavi elettrici a vista.

3.2.4 Atti vandalici

La struttura, durante il periodo di abbandono, è stata oggetto di ripetuti atti vandalici consistenti principalmente nell'imbrattamento dei pannelli di tamponatura esterni con scritte e graffiti.



Figura 3.8 – Esempi di degrado dovuti ad atti vandalici
1. Prospetto Sud-Ovest e Nord-Est; 2. Prospetto Nord-Ovest.

3.3 *Interventi di recupero*

La prima fase di “conoscenza” del processo progettuale, con il reperimento della documentazione storica, il riconoscimento degli ammaloramenti presenti allo stato attuale e l’individuazione delle cause, permette di procedere con la seconda fase, consistente nella determinazione degli interventi di recupero che meglio si adattano alla situazione in esame.

Procedendo con lo stesso schema logico utilizzato per l’individuazione delle tipologie di degrado, gli interventi di recupero possono essere raggruppati nelle “macrocategorie” elencate di seguito:

- sabbiatura degli elementi metallici recuperabili, esfoliati, arrugginiti o imbrattati con scritte e graffiti, e successivo trattamento antiruggine e riverniciatura;
- sostituzione degli elementi metallici mancanti o non recuperabili perchè eccessivamente danneggiati;
- risoluzione delle problematiche tecniche legate ad una scarsa attenzione in fase progettuale ed esecutiva, nonché durante interventi di ristrutturazione in fase di utilizzo della biblioteca;
- rimozione completa delle superfetazioni e sostituzione con elementi che possano rispecchiare maggiormente le scelte progettuali effettuate da Bruno Zevi negli anni ‘60;
- rimozione completa degli attuali impianti di riscaldamento e ventilazione non più funzionanti e sostituzione con nuovi impianti ad alta efficienza.

In Tabella 3.1 sono riassunti, per ogni tipologia di elemento della struttura, i tipi di degradi riscontrati, le cause e gli interventi di recupero da attuarsi.

Tabella 3.1 – Tipologie di degradi, cause e interventi di recupero per ciascuna tipologia di elemento dell'edificio

| <i>Elemento</i> | <i>Tipologia di degrado</i> | <i>Causa</i> | <i>Intervento di recupero</i> |
|--|---|--|--|
| Pannelli sandwich esterni / profili metallici per controsoffitto | Esfoliazione | Agenti atmosferici e naturale calo prestazionale dei materiali | Sabbiatura e riverniciatura |
| | Ossidazione | Agenti atmosferici e naturale calo prestazionale dei materiali | Sabbiatura, zincatura e riverniciatura |
| | Lacuna | Agenti atmosferici e naturale calo prestazionale dei materiali | Sostituzione con pannelli nuovi di uguale fattura |
| | Graffiti | Atti vandalici | Sabbiatura e riverniciatura |
| | Mancanza di coibentazione | - | Inserimento di strato isolante |
| Pannelli sandwich interni | Esfoliazione | Naturale calo prestazione dei materiali | Sabbiatura |
| Profilo metallico di raccordo con le fondazioni | Ossidazione / lacune | Agenti atmosferici e naturale calo prestazionale dei materiali | Sostituzione |
| Copertura | Infiltrazione d'acqua e mancanza di scolo delle acque piovane | Cattiva realizzazione dell'impermeabilizzazione | Demolizione e rifacimento |
| | Mancanza di coibentazione | - | Inserimento di strato isolante |
| Sistema di drenaggio accanto alle fondazioni | Mancanza di un sistema di drenaggio | - | Scavo e realizzazione di sistema di drenaggio |
| Porte e finestre | Sostituzione dei serramenti originali | Modifiche in fase di utilizzo della biblioteca | Sostituzione |
| | Montaggio di inferriate esterne | | Rimozione |
| Sistema di smaltimento delle acque meteoriche | Installazione di pluviali esterni in PVC | - | Rimozione e rifacimento di un sistema di scolo integrato alla struttura e nascosto |

| <i>Elemento</i> | <i>Tipologia di degrado</i> | <i>Causa</i> | <i>Intervento di recupero</i> |
|---|---|--------------------------|--|
| Solaio controterra | Pavimentazione non originale | - | Demolizione e montaggio di nuova pavimentazione |
| | Mancanza di coibentazione | - | Inserimento di strato isolante |
| Terminali di impianto di climatizzazione e sistema di distribuzione di impianto | Radiatori e tubazioni a vista di installazione successiva | - | Rimozione |
| Sistema di illuminazione | Apparecchi illuminanti di installazione successiva | - | Rimozione |
| Scaffalature mobili | Degrado superficiale | Mancanza di manutenzione | Sabbiatura delle parti metalliche e riverniciatura |

3.3.1 Sabbiatura degli elementi metallici recuperabili

La catalogazione di tutti i pannelli esterni coi le rispettive tipologie di degrado permette, al tempo di stesso, di individuare l'incidenza, sulla totalità dei tamponamenti, dei singoli ammaloramenti, e stabilire, per ogni elemento metallico, l'intervento di recupero da attuarsi. I pannelli esterni e di controsoffittatura ammalorati ma che non necessitano di essere sostituiti integralmente, devono essere tutti puliti con una prima operazione di sabbiatura a bassa pressione, seguita da un trattamento antiruggine (zincatura) negli elementi che presentano corrosione per ossidazione. Tutti i pannelli verranno poi riverniciati con una tinta il più possibile corrispondente al colore originario e da concordarsi con la Soprintendenza.

La sabbiatura a bassa pressione è un processo utilizzato per pulire e rimuovere contaminanti superficiali, rivestimenti fragili sottili o i prodotti della corrosione dalle superfici. La tecnica consiste nell'utilizzare un flusso di aria compressa con mezzi abrasivi per pulire superfici in calcestruzzo e acciaio. La rimozione si

ottiene con l'effetto erosivo del getto che colpisce la superficie ad alta velocità. Il profilo ottenuto dipende dalla durata e dall'esposizione al getto di graniglia e dalla dimensione e dall'efficienza del getto. La sabbiatura è spesso usata per mitigare microfessurazioni causate da altri metodi di preparazione di superficie.

3.3.2 Risoluzione delle problematiche tecniche legate ad una scarsa attenzione in fase progettuale ed esecutiva e durante successivi interventi di ristrutturazione

I degni imputabili ad una cattiva progettazione e realizzazione di particolari costruttivi, descritti precedentemente in questo capitolo, al paragrafo 3.2, e i rispettivi interventi di recupero possono essere riassunti come segue:

- inefficienza del sistema di coperta e di smaltimento delle acque meteoriche con degrado degli strati di guaina impermeabilizzante e conseguenti infiltrazioni d'acqua: si dovrà procedere allo smantellamento della guaina e al rifacimento del sistema di copertura;
- mancanza di drenaggio affianco alle fondazioni: si rende necessaria la realizzazione di uno scavo perimetrale per permettere l'impermeabilizzazione delle fondazioni e la realizzazione di un drenaggio esterno;
- mancanza di coibentazione adeguata dell'edificio: la realizzazione di un sistema di coibentazione verrà trattata in modo più esaustivo nel capitolo successivo.

3.3.3 Rimozione delle superfetazioni

Le modifiche improprie apportate all'edificio durante il periodo di utilizzo, dal sistema di smaltimento delle acque meteoriche a vista agli apparecchi illuminanti e ai terminali dell'impianto termico, saranno integralmente rimossi e sostituiti con elementi maggiormente in linea con le scelte progettuali di Bruno Zevi.

3.3.4 *Catalogazione dei pannelli metallici*

L'elevato numero di pannelli di tamponamento, caratterizzati da molteplici dimensioni, e i diversi tipi di degrado che presentano, rendono conveniente una loro catalogazione. In tal modo è possibile individuare l'incidenza di ogni tipologia di ammaloramento sulla totalità dei pannelli e avere un quadro complessivo degli interventi di recupero.

Ad ogni pannello è stato assegnato un codice univoco del tipo:

P_XX_Y_Z

dove:

P: pannello di tamponamento;

XX: orientamento del prospetto in cui è presente il pannello (SO: prospetto Sud-Ovest; SE: prospetto Sud-Est; NO: prospetto Nord-Ovest; NE: prospetto Nord-Est);

Y: numero progressivo dei pannelli;

Z: lettera progressiva per pannelli distinti ma con uguali dimensioni geometriche.

In Allegato I è riportata l'analisi dello stato del degrado di ognuno dei quattro prospetti e l'elenco completo dei pannelli catalogati, dove, per ciascun elemento, sono state indicate le dimensioni, le tipologie di degrado individuate e gli interventi di recupero necessari.

3.4 *Progetto di rifunzionalizzazione degli spazi interni*

Le fasi di “conoscenza” e “restauro” devono essere necessariamente seguite da quella di “rifunzionalizzazione” dell’edificio in esame e dei suoi spazi interni. Il restauro di un edificio inteso prettamente come recupero e ripristino delle caratteristiche e prestazioni delle sue strutture e materiali non ha, infatti, alcun senso se contemporaneamente non viene previsto un progetto di rifunzionalizzazione per dare nuova vita agli spazi; in caso contrario, l’edificio sarà inevitabilmente destinato ad un nuovo abbandono e decadimento.

Il progetto di rifunzionalizzazione dell’ex Biblioteca Nino Colombo prevede la realizzazione di spazi adibiti a esposizione di mostre temporanee, conferenze e presentazioni.

L’ambiente interno come spazio unico, ma modulabile grazie all’arredo, si presta bene alle diverse esigenze di utilizzo che potrebbero interessare l’edificio una volta terminati i lavori di restauro, e rimarrà pertanto invariato nella distribuzione planimetrica dell’edificio. Invariato rimane, da progetto, anche il locale tecnico posto a piano interrato con accesso dall’esterno, che sarà utilizzato per l’installazione del sistema di generazione dei nuovi impianti. L’unica modifica prevista in pianta consiste nello spostamento dei locali adibiti a servizi igienici dalla posizione originaria all’attuale locale tecnico contenente il vecchio impianto di ventilazione. Nel progetto di Bruno Zevi, i due servizi igienici presenti nella biblioteca occupavano, infatti, due locali, situati vicino l’ingresso secondario, di assai ridotte dimensioni e di difficile fruizione anche per persone normo dotate. L’adeguamento alle normative attuali, soprattutto in materia di barriere architettoniche, rende necessario il trasferimento dei due bagni nell’attuale locale tecnico; in tal modo è possibile mantenere i due servizi ma riuscendo a renderne almeno uno accessibile ai disabili, e creare un antibagno, assente allo stato originario. I due locali attualmente occupati dai servizi igienici saranno invece utilizzati come piccoli depositi.

Per quanto riguarda gli accessi esterni, ad oggi l’ingresso principale dell’ex

biblioteca è posto sul prospetto Sud-Est con accesso pedonale dal marciapiede del controviale di Strada Torino. Come già descritto nel capitolo precedente, dalla documentazione storica è dimostrabile che, nel progetto originario, l'accesso era situato fronte parcheggio di via Danilo Dolci.

*IV. Riqualificazione dell'involucro
e carichi termici in regime stazionario
e dinamico*



4.1 *Software di calcolo e modellazione dell'edificio*

La modellazione dell'ex Biblioteca "Nino Colombo" e i calcoli per la progettazione impiantistica e per la verifica delle prestazioni energetiche, sono stati effettuati utilizzando il modulo EC700 di Edilclima, un software commerciale, sviluppato a partire dalla fine degli anni '70 e oggi largamente utilizzato in ambito professionale per la redazione di ex leggi 10, certificazioni e diagnosi energetiche. Tale software ha, infatti, implementate al suo interno i decreti, nazionali e regionali, di riferimento per il calcolo dei parametri e degli indici di efficienza energetica utili alle verifiche di legge da applicarsi all'edificio oggetto di progettazione, ed è corredato da una serie di archivi di supporto per il calcolo, quali quello dei dati climatici di ciascun comune italiano (secondo UNI 10349:2016), dei materiali edili (UNI 10351, UNI 10355 e UNI EN ISO 10456), dei ponti termici lineari (UNI EN ISO 14683) e di varie tipologie di generatori.

Il software consente di creare un modello 3D dell'edificio in cui i componenti di involucro, quali muri, solai e componenti finestrati, presentano le proprietà fisiche, geometriche e termiche corrispondenti alle strutture reali, caratterizzando le superfici disperdenti e le proprietà termiche dei singoli locali climatizzati o non climatizzati. Al tempo stesso, il programma gestisce anche la modellazione dei sottosistemi impiantistici di qualsiasi tipologia (impianti di riscaldamento, raffrescamento ed acqua calda sanitaria, centralizzati o autonomi, impianti di ventilazione, a tutt'aria o misti) e le loro possibili combinazioni. Il modulo EC700 permette, dunque, il calcolo delle potenze termiche, invernali ed estive, per il dimensionamento degli impianti di riscaldamento e raffrescamento, l'energia utile, invernale ed estiva, per la valutazione delle prestazioni termiche del fabbricato, l'energia primaria per i servizi di cui è dotato l'edificio e i contributi forniti da eventuali impianti a fonti rinnovabili come solare termico e impianto fotovoltaico.

Gli ultimi aggiornamenti del software hanno, inoltre, introdotto il nuovo metodo

di calcolo dinamico orario delle prestazioni energetiche dell'edificio, secondo quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 52016-1:2018, con la possibilità di gestire profili orari di utilizzo dell'edificio e dei singoli servizi, in modo da modellare l'edificio il più realistico possibile anche sotto l'aspetto della sua gestione e ottenere valutazioni riguardo ai suoi fabbisogni energetici più accurate e precise.

La Figura 4.1 e Figura 4.2 mostrano il risultato, rispettivamente in pianta e in 3D, della modellazione della biblioteca di Bruno Zevi tramite l'input grafico del modulo EC700 di Edilclima.

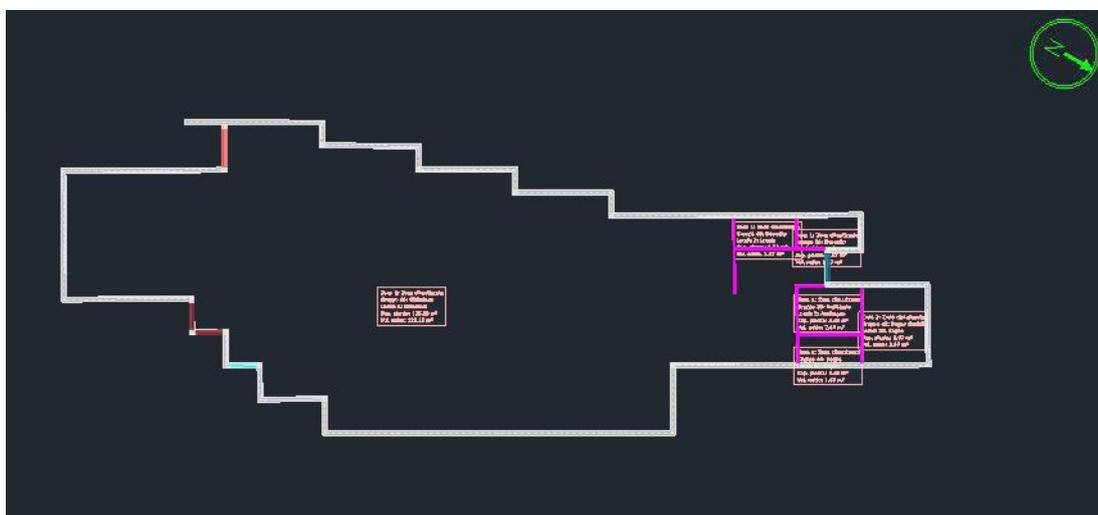


Figura 4.1 – Vista in pianta del modello realizzato con l'input grafico del software Edilclima

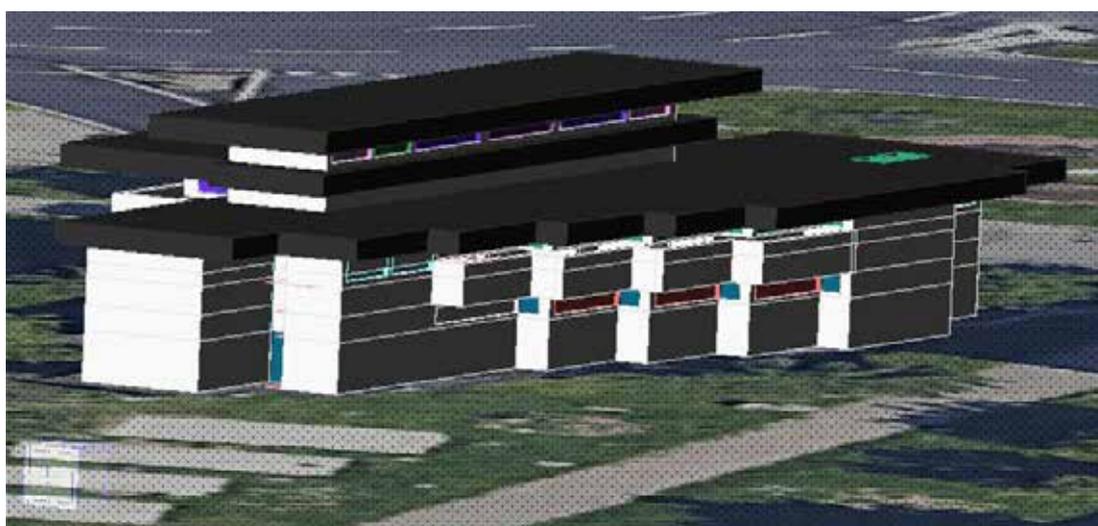


Figura 4.2 – Vista 3D del modello realizzato con l'input grafico del software Edilclima

Quest'ultimo permette, inoltre, di creare e inserire in modo semplice e veloce i locali interni all'edificio, suddividendoli nelle zone termiche che si è stabilito, a priori, di considerare per il caso specifico, come definito dalla UNI/TS 11300-1¹. Dato che, per l'edificio in esame, sarà previsto un unico impianto di climatizzazione e di ventilazione a servizio di tutta la struttura e le temperature interne di progetto per il caso invernale ed estivo non differiscono tra i locali interni, è stata impostata un'unica zona termica che comprende l'ambiente principale, i servizi igienici e i depositi.

In Tabella 4.1 sono elencati i locali modellati nel software di calcolo con le relative dimensioni in pianta, altezze interpiano e volumi.

Tabella 4.1 – Locali dell'edificio

| <i>Locale</i> | <i>Superficie</i> | <i>H interpiano</i> | <i>Volume</i> |
|----------------|------------------------|---------------------|------------------------|
| | <i>[m²]</i> | <i>[m]</i> | <i>[m³]</i> |
| Biblioteca | 125,18 | 2,70 / 3,50 / 4,30 | 372,70 |
| Bagno | 1,43 | 2,70 | 3,80 |
| Bagno disabili | 3,97 | 2,70 | 10,60 |
| Antibagno | 2,45 | 2,70 | 6,50 |
| Deposito 1 | 1,57 | 2,70 | 4,20 |
| Deposito 2 | 1,57 | 2,70 | 4,20 |

Generalmente, l'input grafico viene gestito dal software per piani, realizzandone uno per ciascun livello dell'edificio, e in cui sono modellati i rispettivi locali interni; nel caso in esame, la struttura si sviluppa su un unico piano, ma la sua particolare volumetria caratterizzata da aggetti e sistemi di coperture posti a diverse quote altimetriche, rendono difficoltosa una modellazione aderente alla realtà con l'utilizzo di un solo livello. Si è pertanto optato di realizzare una serie di piani fittizi in modo da gestire gli aggetti e le diverse altezze interne, mantenendo, però, il numero di ambienti e la loro volumetria reale grazie all'uso dei comandi "Unisci a pavimento" e "Unisci a soffitto".

¹ La UNI/TS 11300-1:2014 definisce la zona termica come "parte dell'ambiente climatizzato mantenuto a temperatura (ed eventualmente umidità) uniforme attraverso lo stesso impianto di climatizzazione. In linea generale ogni porzione di edificio, climatizzata ad una determinata temperatura con identiche modalità di regolazione, costituisce una zona termica."

4.2 *Riqualificazione energetica dell'involucro edilizio*

Lo stato di degrado e di abbandono in cui versa da anni l'edificio, unito ai limiti prestazionali propri delle tecnologie costruttive del tempo, ad una scarsa attenzione ai particolari costruttivi in fase progettuale e ad una realizzazione non ottimale da parte dell'impresa esecutrice, rende l'involucro edilizio, allo stato attuale, particolarmente carente dal punto di vista energetico. In tale situazione, pertanto, si rendono indispensabili interventi sui componenti di involucro opachi e trasparenti per ottenere migliori valori di trasmittanza U dei componenti stessi e per limitare i ponti termici.

L'applicazione di tale concetto e la progettazione di soluzioni valide ma al tempo stesso compatibili con l'edificio oggetto di studio, diventa più complicato nel caso in esame, rispetto ad altri casi di riqualificazione energetica di edifici esistenti, per i motivi riassunti di seguito:

- l'edificio, a causa della sua valenza dal punto di vista architettonico e storico, è vincolato come bene culturale ai sensi del D.Lgs. 42/2004; le soluzioni progettuali adottate non devono pertanto essere invasive ma devono permettere di mantenere il più possibile i caratteri formali ed estetici dell'edificio originario;
- la struttura non è realizzata con materiali tradizionali quali calcestruzzo e laterizio ma è interamente di tipo prefabbricato costituita da materiali e elementi metallici.

4.2.1 *Riferimenti normativi e metodi di calcolo*

Il calcolo delle trasmittanze e le verifiche igrometriche sono state effettuate secondo quanto indicato nelle seguenti normative:

- UNI EN ISO 6946:2018 - Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo;
- UNI EN ISO 10077-1:2018 - Prestazione termica di finestre, porte e chiusure

oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo semplificato;

- D.M. 26 giugno 2015 - Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici.

Secondo la UNI EN ISO 6946:2018, la trasmittanza termica dei componenti opachi è data da:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \frac{S_i}{\lambda_i} + \frac{S_n}{\lambda_n} + R_a + R_{se}} \quad (4.1)$$

dove:

R_{si} : resistenza liminare della superficie interna della struttura, [$m^2 K/W$];

S/λ : resistenza termica di uno o più strati di materiale omogeneo, [$m^2 K/W$];

R_a : resistenza termica di eventuali intercapedini, [$m^2 K/W$];

R_{se} : resistenza liminare della superficie esterna della struttura, [$m^2 K/W$];

λ : conduttività termica dei materiali, [W/mK];

s_i : spessore strato i -esimo della parete, [m].

Per quanto riguarda i componenti di involucro vetrati, la trasmittanza termica di una finestra singola, secondo norma UNI EN ISO 10077:2018, è data da:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \psi_g}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (4.2)$$

dove:

U_w è la trasmittanza termica del serramento, [$W/m^2 K$];

A_w è l'area del serramento, [m^2];

A_g è l'area del vetro, [m^2];

U_g è la trasmittanza termica del vetro, [$W/m^2 K$];

A_f è l'area del serramento (telaio), [m^2];

U_f è la trasmittanza termica del telaio, [$W/m^2 K$];

l_g è il perimetro del vetro, [m];

ψ_g è la trasmittanza termica lineare del distanziatore, [W/mK].

I valori di trasmittanza di componenti opachi e vetrati, calcolati secondo i metodi sopra riportati, devono essere confrontati con i valori limite indicati dal Decreto sui Requisiti Minimi. Nello specifico, per la casistica di ristrutturazione importante di primo livello a cui si riferiscono gli interventi sull'ex Biblioteca "Nino Colombo", il decreto indica i seguenti valori dei parametri caratteristici del fabbricato dell'edificio di riferimento². In Tabella 4.2, Tabella 4.3, Tabella 4.4 e Tabella 4.5 è evidenziata in rosso la zona climatica in cui ricade il comune di Beinasco e i rispettivi valori di trasmittanze di riferimento.

Tabella 4.2 – Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, 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 | 0,45 | 0,43 |
| C | 0,38 | 0,34 |
| D | 0,34 | 0,29 |
| E | 0,30 | 0,26 |
| F | 0,28 | 0,24 |

Tabella 4.3 – 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 |

² Tabelle da Appendice A all'Allegato 1 del D.M. 26 giugno 2015: Descrizione dell'edificio di riferimento e parametri di verifica

Tabella 4.4 – 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 |

Tabella 4.5 – 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 |

Tabella 4.6 – Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti

| Zona climatica | U (W/m ² K) | |
|----------------|------------------------|--------------------------|
| | 2015 ⁽¹⁾ | 2019/2021 ⁽²⁾ |
| Tutte le zone | 0,8 | 0,8 |

(1) dal 1 luglio 2015 per tutti gli edifici

(2) dal 1 gennaio 2019 per gli edifici pubblici e a uso pubblico e dal 1 gennaio 2021 per tutti gli altri edifici

4.3 Componenti di involucro opachi

Di seguito sono analizzati i componenti di involucro opachi che separano ambiente interno ed esterno, con la descrizione degli interventi previsti per il miglioramento delle rispettive prestazioni energetiche e il calcolo delle trasmittanze post intervento.

4.3.1 Parete esterna

Le pareti esterne della biblioteca sono realizzate da un pannello sandwich interno, con isolante di Cadorite (PVC), e uno esterno, con isolante in Pavatex (fibra di legno), ancorati ad una struttura metallica costituita da traversi di sezione a C interposti ai due pannelli. Lo stato di deterioramento in cui si trovano i pannelli allo stato attuale e le loro scarse prestazioni isolanti, rende necessaria la realizzazione di una coibentazione. Si prospettano quindi tre modalità di coibentazione: esterna, in intercapedine o interna, mostrate in Figura 4.3.

*Figura 4.3 –
Possibili
soluzioni di posa
dello strato di
coibentazione
delle pareti
esterne*



Come è possibile osservare dai prospetti e dalle foto, i pannelli esterni non hanno una superficie piana, ma si caratterizzano per una “texture” data da elementi verticali in rilievo posti a metà circa della loro superficie e in corrispondenza dei punti di giunzione di due pannelli adiacenti. L’ipotesi di cappotto esterno deve

essere pertanto esclusa a priori poiché annullerebbe completamente l'effetto della texture che contraddistingue l'involucro della biblioteca.

Le soluzioni di coibentazione in intercapedine e in interno vanno incontro alla stessa problematica, ovvero il ridotto spessore di isolante applicabile. Nel primo caso, infatti, si avrebbe a disposizione, per l'inserimento dell'isolante, lo spessore dell'intercapedine d'aria presente tra i due pannelli sandwich interno ed esterno, pari a soli 5 cm. Nel secondo caso di coibentazione interna, invece, utilizzare pannelli isolanti eccessivamente spessi comporterebbe una riduzione della superficie utile della biblioteca. Si è pertanto optato per l'utilizzo di un pannello composto da un isolante nanotecnologico in Aerogel di silice accoppiato ad una membrana traspirante in polipropilene armato con fibra di vetro (conducibilità λ pari a 0,015 W/mK) studiato appositamente per la realizzazione di isolamenti termici a basso spessore.

Per la realizzazione della seconda soluzione prospettata si deve, però, considerare un'ulteriore problematica legata alla fase di esecuzione in cantiere. L'inserimento di pannelli isolanti in intercapedine comporta le seguenti fasi operative: smontaggio dei pannelli sandwich esterni, inserimento dello strato isolante e rimontaggio dei pannelli sandwich esterni. Dato, però, lo stato di deterioramento e fragilità di parte di essi, smontarli e rimontarli senza danneggiarli potrebbe risultare difficoltoso. Inoltre, la presenza della sottostruttura di traversi orizzontali metallici renderebbe lo strato isolante in intercapedine discontinuo, inficiando sulla resa di coibentazione per la formazione di ponti termici lineari. Partendo

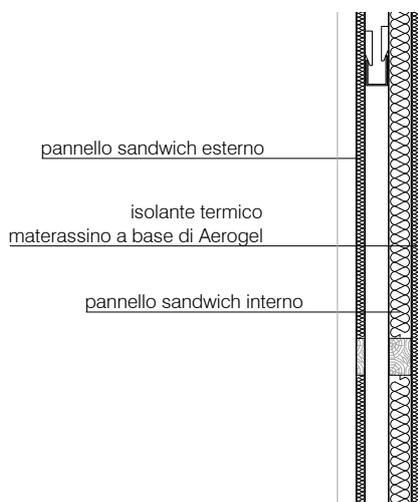


Figura 4.4 – Stratigrafia di progetto della tamponatura - Fuori scala

da tali considerazioni risulta, quindi, da prediligersi la terza soluzione di posa di cappotto interno realizzato con pannelli isolanti super performanti precedentemente descritti e rivestimento metallico per mantenere l'aspetto estetico originario degli ambienti interni, come mostrato dalla stratigrafia progettuale delle tamponature di Figura 4.4.

In Tabella 4.7 sono elencati i materiali, dall'interno verso l'esterno, che compongono la stratigrafia precedentemente descritta con riportate le relative caratteristiche fisiche e termiche.

Tabella 4.7 – Elenco dei materiali, dall'interno all'esterno, della stratigrafia della tamponatura con le relative caratteristiche fisiche e termiche

| <i>Strato</i> | <i>s</i> | λ | <i>R</i> |
|---------------------------------|------------------------------|-----------|----------------------|
| | [mm] | [W/mK] | [m ² K/W] |
| Resistenza superficiale interna | - | - | 0,13 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| Isolante Aerogel | 20 | 0,015 | 1,333 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| P.V.C. espanso rigido in lastre | 60 | 0,039 | 1,538 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| Intercapedine non ventilata | 50 | 0,278 | 0,18 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| Fibra di legno | 20 | 0,039 | 0,513 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| Resistenza superficiale esterna | - | - | 0,04 |
| Trasmittanza <i>U</i> | 0,27 W/m²K | | |

dove:

s: spessore [mm];

λ : conduttività termica [W/mK];

R: resistenza termica [m²K/W].

Il software utilizzato per la modellazione dell'edificio fornisce risultati riguardo al calcolo della trasmittanza. In particolare si è ottenuta una trasmittanza termica *U* pari a 0,27 W/m²K. Come è facile notare, la trasmittanza ottenuta realizzando

un cappotto interno con pannelli isolanti in Aerogel non rispetta i limiti previsti dal Decreto Requisiti Minimi per la zona climatica E sopra riportati ($U_{lim} = 0,22$ W/m²K) ma va ricordato, come riportato nei paragrafi precedenti, che essendo un edificio vincolato può andare in deroga in accordo con il giudizio della Soprintendenza.

4.3.2 Solaio di copertura

Il progetto di recupero della biblioteca prevede, per quanto riguarda le tre coperture, lo smantellamento e il rifacimento degli strati di guaina impermeabilizzante attualmente presenti e la posa di particolari pannelli prefabbricati, studiati per la realizzazione di coperture piane, costituiti da un rivestimento metallico in acciaio zincato e verniciato sul lato a vista e uno strato interno isolante realizzato con schiuma poliuretanic rigida. La tenuta all'acqua del sistema di rivestimento a secco è garantita da un particolare aggancio di due pannelli contigui. La stratigrafia di progetto è riportata, fuori scala, in Figura 4.5.

In Tabella 4.8 sono riportati i materiali della stratigrafia di Figura 4.5 con le relative caratteristiche fisiche e termiche.

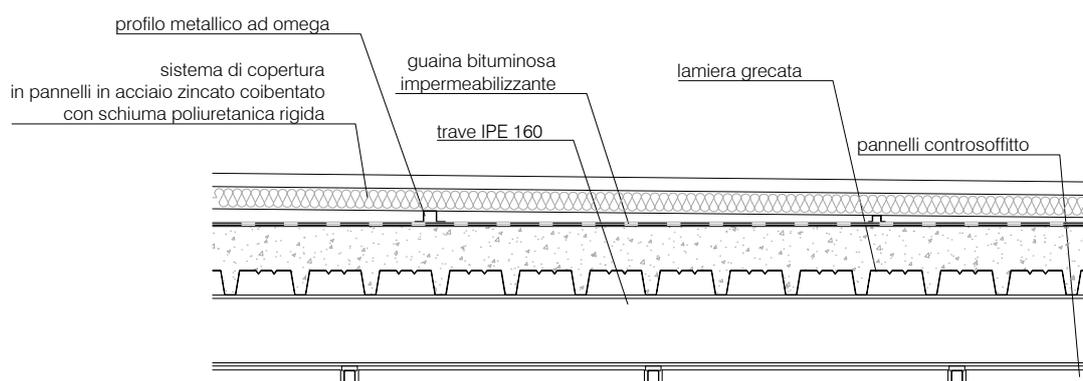


Figura 4.5 – Stratigrafia del solaio di copertura - Fuori scala

Tabella 4.8 – Elenco dei materiali, dall'interno all'esterno, della stratigrafia della copertura con le relative caratteristiche fisiche e termiche

| <i>Strato</i> | <i>s</i> | λ | <i>R</i> |
|---|------------------------------|-----------|----------------------|
| | [mm] | [W/mK] | [m ² K/W] |
| Resistenza superficiale esterna | - | - | 0,04 |
| Pannelli prefabbricati | 50 | 0,023 | 2,174 |
| Intercapedine non ventilata | 20 | 0,125 | 0,16 |
| Membrana bituminosa | 10 | 0,17 | 0,059 |
| Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete | 100 | 1,49 | 0,067 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| Intercapedine non ventilata | 220 | 1,375 | 0,16 |
| Pannello in lana di roccia | 40 | 0,035 | 1,143 |
| Acciaio | 1 | 52 | 0 |
| Resistenza superficiale interna | - | - | 0,10 |
| <i>Trasmittanza U</i> | <i>0,26 W/m²K</i> | | |

4.3.3 Solaio controterra

Il progetto prevede la realizzazione di un impianto di riscaldamento a pannelli radianti, di cui si tratterà in modo più approfondito nei prossimi paragrafi. In Figura 4.6 è riportata la stratigrafia fuori scala del solaio controterra.

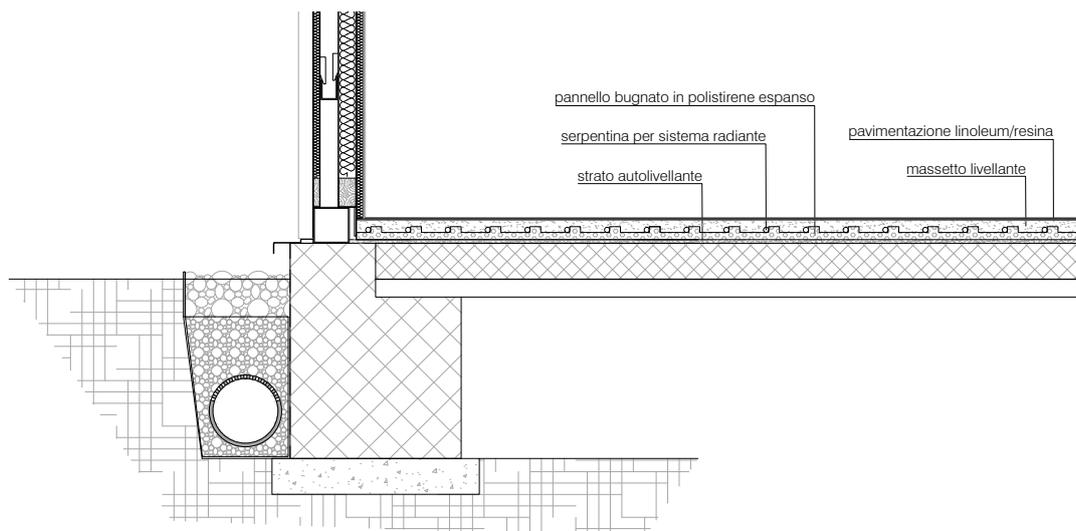


Figura 4.6 – Stratigrafia del solaio controterra - Fuori scala

Tabella 4.9 – Elenco dei materiali, dall'alto verso il basso, della stratigrafia del solaio controterra con le relative caratteristiche fisiche e termiche

| <i>Strato</i> | <i>s</i> | λ | <i>R</i> |
|---|------------------------------|-----------|----------------------|
| | [mm] | [W/mK] | [m ² K/W] |
| Resistenza superficiale interna | - | - | 0,17 |
| Linoleum | 5 | 0,17 | 0,029 |
| Massetto livellante | 15 | 1,40 | 0,011 |
| Pannello bugnato in polistirene espanso | 30 | 0,035 | 0,857 |
| Autolivellante | 10 | 1,40 | 0,007 |
| Freno al vapore | 1 | 0,33 | 0,003 |
| Cls armato | 100 | 1,49 | 0,067 |
| Intercapedine non ventilata | 450 | 1,895 | 0,238 |
| Magrone | 50 | 0,70 | 0,071 |
| Resistenza superficiale esterna | - | - | 0,04 |
| Trasmittanza <i>U</i> | 0,39 W/m²K | | |

4.3.4 Solaio interpiano su centrale termica

In Figura 4.7 è riportata la stratigrafia fuori scala del solaio su centrale termica, quest'ultimo corrispondente alla solaio del nuovo blocco servizi previsto dal progetto architettonico.

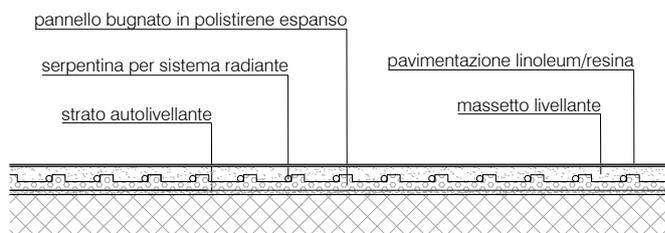


Figura 4.7 – Stratigrafia del solaio interpiano su centrale termica - Fuori scala

Tabella 4.10 – Elenco dei materiali, dall'alto verso il basso, della stratigrafia del solaio su centrale termica con le relative caratteristiche fisiche e termiche

| <i>Strato</i> | <i>s</i> | λ | <i>R</i> |
|---|------------------------------|-----------|----------------------|
| | [mm] | [W/mK] | [m ² K/W] |
| Resistenza superficiale interna | - | - | 0,17 |
| Linoleum | 5 | 0,17 | 0,029 |
| Massetto livellante | 15 | 1,40 | 0,011 |
| Pannello bugnato in polistirene espanso | 30 | 0,035 | 0,857 |
| Autolivellante | 10 | 1,40 | 0,007 |
| Cls armato | 100 | 2,50 | 0,04 |
| Resistenza superficiale esterna | - | - | 0,04 |
| Trasmittanza <i>U</i> | 0,78 W/m²K | | |

4.3.5 Sintesi dei componenti di involucro opachi

In Tabella 4.11 sono elencati i componenti opachi che costituiscono l'involucro dell'edificio, con i rispettivi spessori e superfici disperdenti e con i valori di trasmittanza *U* allo stato attuale e dopo gli interventi di recupero previsti, descritti e calcolati nello specifico nei paragrafi successivi.

Tabella 4.11 – Componenti opachi dell'involucro edilizio

| Componente opaco | Superficie disperdente | Pre intervento | | Post intervento | |
|-------------------------------------|------------------------|----------------|----------------------|-----------------|----------------------|
| | | Spessore | Trasmittanza U | Spessore | Trasmittanza U |
| | [m ²] | [cm] | [W/m ² K] | [cm] | [W/m ² K] |
| Parete esterna di tamponatura | 242 | 13 | 0,42 | 15 | 0,27 |
| Solaio di copertura | 150 | 35 | 1,00 | 44 | 0,26 |
| Solaio controterra | 141 | 61 | 0,59 | 66 | 0,39 |
| Solaio interpiano su locale tecnico | 15 | 11 | 2,58 | 16 | 0,78 |

Confrontando i valori di trasmittanza della situazione attuale e di quella successiva agli interventi previsti, è facile notare un netto miglioramento: per tutti i componenti opachi che costituiscono l'involucro dell'edificio, infatti, con l'aumento dello spessore delle stratigrafie di pochi centimetri, è possibile ridurre notevolmente i valori di trasmittanza. Allo stesso tempo, però, le scarsissime prestazioni di involucro allo stato di fatto, e i limiti posti alle soluzioni progettuali da vincoli di tipo architettonico e dal fatto che l'edificio stesso è vincolato, fanno sì che, confrontando le trasmittanze ottenute nello scenario post intervento con i limiti di legge oggi vigenti secondo il Decreto Requisiti Minimi, quasi nessuno dei componenti analizzati rispetta i suddetti limiti.

4.4 Componenti di involucro trasparenti

Nonostante le sue ridotte dimensioni, l'edificio presenta venti tipologie di componenti finestrati di diverse dimensioni. Allo stato attuale, come già descritto nel Capitolo 3, i serramenti sono solo in parte quelli originali, mentre gli altri sono stati sostituiti in successivi interventi. Il progetto di recupero prevede la rimozione e sostituzione dei soli serramenti non originali con componenti che si avvicinino maggiormente all'aspetto estetico di quelli montati al momento della costruzione, caratterizzati da telai molto più sottili che permettono, inoltre, maggiore illuminazione all'interno.

In Tabella 4.12 sono elencati i componenti trasparenti che costituiscono l'involucro dell'edificio con le relative caratteristiche geometriche e termiche. La lettera S alla fine del nome del componente indica i serramenti da sostituire secondo progetto.

Tabella 4.12 – Componenti trasparenti dell'involucro edilizio

| Descrizione | H | L | A_{gf} | L_{gf} | U_g | U_w |
|---------------------------|------|------|-------------------|----------|----------------------|----------------------|
| | [cm] | [cm] | [m ²] | [m] | [W/m ² K] | [W/m ² K] |
| Finestra 164x44 - S | 44 | 164 | 0,52 | 3,75 | 1,35 | 1,30 |
| Finestra 334x34 - S | 34 | 334 | 0,77 | 6,95 | 1,35 | 1,30 |
| Finestra 254x34 - S | 34 | 254 | 0,58 | 5,35 | 1,35 | 1,29 |
| Finestra 44x34 - S | 34 | 44 | 0,08 | 1,15 | 1,35 | 1,25 |
| Finestra 42x12 | 12 | 42 | 0,03 | 0,92 | 2,38 | 2,12 |
| Finestra 165x12 | 12 | 165 | 0,13 | 3,38 | 2,38 | 2,17 |
| Finestra 125x12 | 12 | 125 | 0,10 | 2,58 | 2,38 | 2,16 |
| Finestra 72x36 | 36 | 72 | 0,22 | 2,00 | 2,38 | 2,28 |
| Finestra 125x36 | 36 | 125 | 0,39 | 3,06 | 2,38 | 2,30 |
| Finestra 162x36 | 36 | 162 | 0,51 | 3,80 | 2,38 | 2,30 |
| Finestra 74x164 - S | 164 | 74 | 0,81 | 4,03 | 1,35 | 1,24 |
| Finestra 74x190 - S | 190 | 74 | 1,15 | 4,87 | 1,35 | 1,32 |
| Portafinestra 74x265 - S | 215 | 74 | 1,09 | 6,71 | 1,35 | 1,17 |
| Porta 162x290 - S | 213 | 162 | 3,15 | 14,15 | 1,35 | 1,23 |
| Portafinestra 109x266 - S | 215 | 109 | 1,90 | 8,13 | 1,35 | 1,22 |
| Portafinestra 80x266 - S | 215 | 80 | 1,23 | 6,97 | 1,35 | 1,18 |
| Finestra 160x24 | 24 | 160 | 0,31 | 3,52 | 2,38 | 2,27 |

| <i>Descrizione</i> | <i>H</i> | <i>L</i> | <i>A_{gf}</i> | <i>L_{gf}</i> | <i>U_g</i> | <i>U_w</i> |
|--------------------|----------|----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | [cm] | [cm] | [m ²] | [m] | [W/m ² K] | [W/m ² K] |
| Finestra 146x24 | 24 | 146 | 0,28 | 3,24 | 2,38 | 2,27 |
| Finestra 260x24 | 24 | 260 | 0,51 | 5,52 | 2,38 | 2,27 |
| Finestra 255x24 | 24 | 255 | 0,50 | 5,42 | 2,38 | 2,27 |

4.5 *Carico termico invernale in regime stazionario*

L'analisi preliminare dello stato di fatto ha permesso di evidenziare le criticità dal punto di vista energetico a livello di involucro. Inoltre, allo stato attuale, il sistema impiantistico originario installato al momento della costruzione della biblioteca non è utilizzabile né recuperabile. Gli interventi per l'efficientamento energetico della struttura riguardano, quindi, sia i componenti di involucro che gli impianti.

4.5.1 *Dati climatici e di progetto*

I dati climatici necessari alla valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio e delle verifiche di legge, sono stati ricavati seguendo quanto indicato dalla norma UNI 10349 del 2016, parti 1, 2, e 3:

- UNI 10349-1:2016 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell'edificio e metodi per ripartire l'irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l'irradianza solare su di una superficie inclinata;
- UNI/TR 10349-2:2016 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto;
- UNI 10349-3:2016 - Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici.

In particolare, la norma UNI 10349 fornisce i prospetti con i valori climatici riferiti ai singoli capoluoghi di provincia e indica i criteri per calcolare i medesimi valori corretti riferiti a tutte le altre località del territorio italiano non comprese nei prospetti.

Il comune di Beinasco, posto ad una altitudine s.l.m. pari a 265 m, ricade nella zona climatica E e ha Torino come località di riferimento per la correzione dei

valori dei dati climatici. Di seguito sono riportati i dati, utilizzati per il calcolo delle prestazioni energetiche, riferiti a temperature esterne di progetto e medie mensili, irradiazione solare media mensile e caratteristiche del vento.

Dati invernali:

- Temperatura esterna di progetto: $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperature esterne medie mensili:

Tabella 4.13 – Temperature esterne medie mensili

| | <i>u.m.</i> | <i>Gen</i> | <i>Feb</i> | <i>Mar</i> | <i>Apr</i> | <i>Mag</i> | <i>Giu</i> | <i>Lug</i> | <i>Ago</i> | <i>Set</i> | <i>Ott</i> | <i>Nov</i> | <i>Dic</i> |
|-------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Temperatura | $^{\circ}\text{C}$ | 1,1 | 3,0 | 8,2 | 11,8 | 17,9 | 22,0 | 23,5 | 22,5 | 19,0 | 12,2 | 6,7 | 2,5 |

Irradiazione solare media mensile:

Tabella 4.14 – Irradiazione solare media mensile

| <i>Esposizione</i> | <i>u.m.</i> | <i>Gen</i> | <i>Feb</i> | <i>Mar</i> | <i>Apr</i> | <i>Mag</i> | <i>Giu</i> | <i>Lug</i> | <i>Ago</i> | <i>Set</i> | <i>Ott</i> | <i>Nov</i> | <i>Dic</i> |
|--------------------|------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Nord | MJ/m^2 | 1,7 | 2,7 | 3,6 | 5,1 | 7,8 | 9,7 | 9,6 | 6,9 | 4,5 | 3,0 | 1,9 | 1,4 |
| Nord-Est | MJ/m^2 | 1,8 | 3,3 | 5,3 | 7,9 | 10,5 | 12,5 | 13,0 | 10,3 | 6,9 | 4,0 | 2,1 | 1,5 |
| Est | MJ/m^2 | 3,7 | 5,8 | 8,5 | 11,1 | 12,9 | 14,7 | 15,6 | 13,6 | 10,3 | 6,7 | 3,6 | 3,2 |
| Sud-Est | MJ/m^2 | 6,3 | 8,5 | 10,6 | 11,7 | 12,0 | 12,8 | 13,9 | 13,5 | 11,9 | 9,0 | 5,6 | 5,8 |
| Sud | MJ/m^2 | 8,0 | 10,1 | 11,2 | 10,5 | 9,9 | 10,1 | 11,0 | 11,5 | 11,6 | 10,2 | 6,9 | 7,5 |
| Sud-Ovest | MJ/m^2 | 6,3 | 8,5 | 10,6 | 11,7 | 12,0 | 12,8 | 13,9 | 13,5 | 11,9 | 9,0 | 5,6 | 5,8 |
| Ovest | MJ/m^2 | 3,7 | 5,8 | 8,5 | 11,1 | 12,9 | 14,7 | 15,6 | 13,6 | 10,3 | 6,7 | 3,6 | 3,2 |
| Nord-Ovest | MJ/m^2 | 1,8 | 3,3 | 5,3 | 7,9 | 10,5 | 12,5 | 13,0 | 10,3 | 6,9 | 4,0 | 2,1 | 1,5 |
| Orizz. Diffusa | MJ/m^2 | 2,4 | 3,8 | 4,9 | 6,1 | 8,3 | 9,1 | 8,8 | 7,6 | 6,0 | 4,3 | 2,8 | 2,0 |
| Orizz. Diretta | MJ/m^2 | 2,2 | 3,9 | 6,8 | 9,9 | 11,4 | 13,7 | 15,2 | 12,6 | 8,6 | 4,7 | 2,0 | 1,9 |

- Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: $278\text{ W}/\text{m}^2$

Caratteristiche del vento:

- Regione di vento: A
- Direzione prevalente: Nord-Est
- Distanza dal mare: $> 40\text{ km}$
- Velocità media del vento: $1,4\text{ m/s}$
- Velocità massima del vento: $2,8\text{ m/s}$

4.5.2 Riferimenti normativi e procedura di calcolo

Il carico termico invernale dell'edificio, ossia il flusso di energia che occorre immettere in uno spazio confinato per mantenere al suo interno le desiderate condizioni ambientali, e necessario per il successivo dimensionamento dell'impianto di riscaldamento, è stato calcolato secondo la norma UNI EN 12931 con l'utilizzo del software Edilclima EC700.

Le ipotesi di base su cui si basa il calcolo sono:

- calcolo in regime termico stazionario, trascurando gli effetti dinamici di accumulo termico e di inerzia dell'edificio;
- assunzione di valori di progetto per le condizioni termoigrometriche dell'aria esterna ed interna, ossia valori desunti da condizioni ambientali relative al caso statisticamente più sfavorevole;
- assunzione di portate d'aria di ventilazione;
- trascurare gli apporti gratuiti dati dai carichi solari ed endogeni.

I valori di progetto dell'aria esterna ed interna sono indicati di seguito:

Tabella 4.15 – Valori di progetto dell'aria esterna

| Località | Alt. s.l.m. | Zona | GG | θ_e [°C] |
|----------|-------------|------|------|-----------------|
| Beinasco | 265 | E | 2591 | -8,1 |

Per le condizioni interne, in accordo con la destinazione d'uso prevista, si è considerata una temperatura interna θ_i pari a 20 °C per tutti i locali eccettuati i bagni per i quali è stata considerata una temperatura di set-point di 24 °C.

Dalle ipotesi elencate sopra, si definisce il carico termico di progetto Φ_p [W] come somma del flusso termico massimo disperso per trasmissione attraverso i componenti di involucro Φ_T [W], del flusso termico massimo perso per ventilazione Φ_V [W], e della potenza aggiuntiva necessaria in caso ripresa dell'impianto per funzionamento intermittente o attenuazione notturna Φ_{RH} [W]:

$$\Phi_{HL} = \Sigma \Phi_{T,i} + \Sigma \Phi_{V,i} + \Sigma \Phi_{RH,i} \quad (4.3)$$

La perdita per trasmissione Φ_T è data generalmente dalla somma di più contributi,

quali il flusso termico con l'ambiente esterno, con locali e/o edifici limitrofi non riscaldati o riscaldati a temperature diverse, e con il terreno. Nel caso in esame, considerando i contributi effettivamente presenti, si ottiene:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ij} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (4.4)$$

dove:

$H_{T,ie}$: coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato ed ambiente esterno [W/K];

$H_{T,iue}$: coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato ed ambienti adiacenti non riscaldati [W/K];

$H_{T,ij}$: coefficiente di perdita per trasmissione fra ambienti riscaldati a diverse temperature [W/K];

$H_{T,ig}$: coefficiente di perdita per trasmissione fra ambiente riscaldato e terreno [W/K];

θ_i : è la temperatura interna di progetto;

θ_e : è la temperatura esterna di progetto per il caso invernale.

I coefficienti di trasmissione $H_{T,ie}$, $H_{T,iue}$ e $H_{T,ij}$ dipendono dalla tipologia e dalle caratteristiche degli elementi di involucro e dai ponti termici lineari che separano l'ambiente riscaldato rispettivamente dall'esterno e dagli ambienti non riscaldati; il coefficiente $H_{T,ig}$, invece, dipende da vari fattori quali la superficie e il perimetro di contatto tra solaio e terreno, la profondità del piano interrato e le proprietà termofisiche del terreno. Sono calcolati come segue:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \quad (4.5)$$

dove:

A_k : area della k-sima superficie tra ambiente riscaldato e ambiente esterno [m²];

U_k : trasmittanza termica della k-sima superficie [W/m²K];

Ψ_l : trasmittanza termica lineare del l-simo ponte termico [W/mK];

l_l : lunghezza del l-simo ponte termico [m];

e_k, e_l : fattori correttivi per l'esposizione [-];

n : numero di superfici disperdenti;

m: numero di ponti termici lineari.

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot e_k \cdot b_u + \sum_l \psi_l \cdot l_l \cdot e_l \cdot b_u \quad (4.6)$$

La relazione si differenzia dalla precedente per il fattore di riduzione della temperatura b_u , il cui valore è stato assunto pari a 0,8, valore tabellare per il tipo di vano “cantine con finestre/serramenti esterni” indicato dalla procedura semplificata dell’allegato nazionale alla norma UNI EN 12831.

$$H_{T,ie} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k} \right) \cdot G_W \quad (4.7)$$

dove:

f_{g1} : coefficiente correttivo che tiene conto dell’effetto della variazione annuale della temperatura dell’aria esterna;

f_{g2} : fattore di riduzione della temperatura;

$U_{equiv,k}$: trasmittanza termica equivalente della k-esima superficie dell’ambiente riscaldato a contatto con il terreno;

n: numero di superfici dell’edificio a contatto con il terreno;

G_W : fattore di correzione per tener conto dell’influenza della falda acquifera.

La norma UNI EN 12831 indica le procedure per determinare i fattori correttivi sopra elencati, le quali sono implementate e automaticamente applicate dal software Edilclima durante il calcolo.

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad (4.8)$$

Il flusso termico disperso per ventilazione, Φ_a , è pari alla differenza fra i flussi di entalpia entranti e uscenti connessi con le portate di aria di ventilazione e infiltrazione, ovvero:

$$H_{V,i} = q_i \cdot \rho \cdot c_p \quad (4.9)$$

in cui:

$H_{v,i} = H_{v,e} + H_{v,L}$: coefficiente di perdita per ventilazione [W/K];

$H_{v,e}$: coefficiente di perdita per ventilazione con l'ambiente esterno [W/K];

$H_{v,L}$: coefficiente di perdita per ventilazione con ambienti limitrofi non riscaldati o riscaldati a temperatura diversa da θ_i [W/K].

Il progetto per l'integrazione impiantistica nell'edificio in esame, di cui si tratterà nei capitoli successivi, prevede anche la realizzazione di un impianto a tutt'aria per il servizio di riscaldamento invernale e di ricambio d'aria con recuperatore di calore. Pertanto, essendo previsto un sistema di preriscaldamento dell'aria immessa, è possibile porre il coefficiente $H_{v,e}$ pari a 0 e calcolare esclusivamente $H_{v,L}$, considerando l'aria esterna preriscaldata come aria scambiata con un ambiente limitrofo fittizio, tramite la formula:

$$q_i = q_{inf,i} + q_{su,i} \cdot f_{v,i} \quad (4.10)$$

dove:

q : portata di aria esterna di ventilazione preriscaldata immessa negli ambienti [m³/h];

ρ_{int} : densità dell'aria [kg/m³];

c_p : capacità termica massica dell'aria [J/(kgK)];

$f_{v,j}$: fattore di riduzione del salto termico [-], funzione della temperatura dell'aria immessa, più alta grazie al recuperatore.

Il carico termico aggiuntivo sull'ambiente necessario al ripristino della temperatura di progetto in caso di attenuazione notturna della temperatura interna, può essere determinato mediante il metodo semplificato con la relazione:

$$\Phi_{RH} = A \cdot f_{RH} \quad (4.11)$$

dove:

A : superficie in pianta dell'ambiente riscaldato [m²];

f_{RH} : fattore di correzione (valori tabulati forniti dalla norma UNI 12831) [-].

4.5.3 Perdite per trasmissione Φ_{tr}

In Tabella 4.16 sono riassunte le perdite per trasmissione riferite, rispettivamente, ai componenti di involucro opachi e trasparenti, calcolate tramite il software Edilclima secondo la procedura definita dalla norma UNI 12831 descritta nei paragrafi precedenti, e l'incidenza percentuale dei singoli componenti sulle dispersioni totali dell'edificio.

Tabella 4.16 – Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti opachi e trasparenti

| Componente opaco | U | θ_e | S_{Tot} | Φ_{tr} | $\% \Phi_{Tot}$ |
|--------------------------|------------|---------------|-----------|-------------|-----------------|
| | $[W/m^2K]$ | $[^{\circ}C]$ | $[m^2]$ | $[W]$ | $[\%]$ |
| Parete esterna | 0,26 | -8,1 | 268 | 2228 | 28,6 |
| Solaio controterra | 0,38 | -8,1 | 143 | 1547 | 19,8 |
| Copertura | 0,26 | -8,1 | 152 | 1102 | 14,1 |
| Totale | | | | 4877 | 59,9 |
| Componente trasparente | U | θ_e | S_{Tot} | Φ_{tr} | $\% \Phi_{Tot}$ |
| | $[W/m^2K]$ | $[^{\circ}C]$ | $[m^2]$ | $[W]$ | $[\%]$ |
| Finestra 164x44 - S | 1,34 | -8,1 | 8,64 | 379,0 | 4,7 |
| Finestra 334x34 -S | 1,34 | -8,1 | 1,14 | 45,0 | 0,6 |
| Finestra 254x34 -S | 1,33 | -8,1 | 2,58 | 101,0 | 1,2 |
| Finestra 44x34 -S | 1,28 | -8,1 | 0,60 | 25,0 | 0,3 |
| Finestra 42x12 | 2,23 | -8,1 | 0,20 | 14,0 | 0,2 |
| Finestra 165x12 | 2,29 | -8,1 | 0,40 | 27,0 | 0,3 |
| Finestra 125x12 | 2,29 | -8,1 | 0,90 | 61,0 | 0,7 |
| Finestra 72x36 | 2,44 | -8,1 | 0,26 | 21,0 | 0,3 |
| Finestra 125x36 | 2,46 | -8,1 | 3,15 | 261,0 | 3,2 |
| Finestra 162x36 | 2,47 | -8,1 | 0,58 | 48,0 | 0,6 |
| Finestra 74x164 -S | 1,27 | -8,1 | 2,42 | 100,0 | 1,2 |
| Finestra 74x190 -S | 1,37 | -8,1 | 1,41 | 60,0 | 0,7 |
| Portafinestra 74x265 -S | 1,21 | -8,1 | 1,96 | 80,0 | 1,0 |
| Porta 162x290 -S | 1,27 | -8,1 | 4,70 | 201,0 | 2,5 |
| Portafinestra 109x266 -S | 1,25 | -8,1 | 2,90 | 112,0 | 1,4 |
| Portafinestra 80x266 -S | 1,22 | -8,1 | 2,13 | 84,0 | 1,0 |
| Finestra 160x24 | 2,42 | -8,1 | 1,52 | 116,0 | 1,4 |
| Finestra 146x24 | 2,42 | -8,1 | 0,70 | 54,0 | 0,7 |
| Finestra 260x24 | 2,43 | -8,1 | 2,48 | 190,0 | 2,3 |
| Finestra 255x24 | 2,43 | -8,1 | 1,22 | 94,0 | 1,2 |
| Totale | | | | 2124 | 26,1 |

4.5.4 Portate di ventilazione secondo UNI 10339

Le portate di ventilazione q da immettere tramite un sistema di ventilazione meccanica con recuperatore di calore sono state determinate con riferimento all'approccio prescrittivo indicato dalla norma UNI 10339 in materia di *Impianti aeraulici a fini di benessere*. Il metodo introdotto dalla norma è di tipo tabellare e suggerisce valori di portata per i ricambi d'aria in funzione della destinazione d'uso, dell'indice di affollamento n_s e della superficie in pianta del locale; si basa essenzialmente sull'assunzione di valori medi rappresentativi della portata di inquinante prodotta in ambiente e di valori di concentrazione di fondo dell'inquinante nell'aria esterna. Basandosi pertanto su configurazioni medie tipiche, il metodo risulta affidabile quando la maggior parte delle fonti inquinanti sono rappresentate dagli stessi occupanti.

L'impianto di ventilazione meccanica è stato dimensionato per avere una immissione ed estrazione bilanciata nell'intero edificio; le portate di aria ricavate con il calcolo indicato dalla norma UNI 10339 si riferiscono alle portate da immettere e/o estrarre per garantire all'interno dell'edificio un rinnovo di aria conforme con i limiti di concentrazione di inquinante ammessi. L'impianto ad aria è stato progettato, però, anche per fungere da integrazione al sistema radiante per il riscaldamento in regime invernale, per il cui dimensionamento si rimanda ai paragrafi successivi; pertanto le portate di aria di rinnovo minime ottenute secondo norma, sono state incrementate per adempiere alla duplice funzione di mantenimento della qualità dell'aria interna e di riscaldamento degli ambienti; in particolare si è previsto di immettere nell'ambiente centrale della biblioteca una portata di aria preriscaldata pari a 2000 m³/h, che verrà estratta dall'ambiente centrale, mentre dai servizi igienici è stata prevista un'estrazione forzata dai bagni. Il preriscaldamento dell'aria immessa dall'esterno è attuato attraverso un recuperatore di calore statico ad alta efficienza di rendimento η pari a 0,80 e da una batteria di riscaldamento dell'unità di trattamento aria (UTA).

Il passaggio dell'aria immessa dall'esterno e dell'aria in estrazione dagli ambienti interni attraverso il recuperatore statico permette di ridurre il salto

termico dell'aria immessa nella batteria di riscaldamento dell'UTA, ottenendo una temperatura calcolata dalla seguente relazione:

$$\theta_{su} = \theta_e + \varepsilon \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (4.12)$$

Si ottiene pertanto una temperatura θ pari a 14,4 °C.

In Tabella 4.17 sono elencate, per ciascun locale dell'edificio, rispettivamente le portate di aria esterna per persona di immissione Q_{op} e di estrazione Q_{os} indicate dalla norma UNI 10339 e le portate d'aria di progetto.

Tabella 4.17 – Portate minime di ricambi d'aria secondo UNI 10339

| Locale | Area | Volume | n_s | $n_{persone}$ | Q_{op} | Q_{os} | $q_{ve,0}$ |
|----------------|-------------------|-------------------|-------|---------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------|
| | [m ²] | [m ³] | [-] | [-] | [m ³ /s pers] | [m ³ /s m ²] | [m ³ /h] |
| Biblioteca | 125,18 | 372,70 | 0,30 | 38 | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | - | 752,40 |
| Antibagno | 2,45 | 6,50 | - | - | estrazione | | - |
| Bagno | 1,43 | 3,80 | - | - | estrazione | | - |
| Bagno disabili | 3,97 | 10,60 | - | - | Estrazione | | - |
| Deposito 1 | 1,57 | 4,20 | 0,30 | 1 | - | $1,5 \cdot 10^{-3}$ | 8,48 |
| Deposito 2 | 1,57 | 4,20 | 0,30 | 1 | - | $1,5 \cdot 10^{-3}$ | 8,48 |
| Totale | | | | | | | 769,36 |

4.5.5 Perdite per intermittenza Φ_{RH}

Le perdite per intermittenza Φ_{rh} sono state determinate in base al fattore di ripresa f_{RH} indicato nella tabella riportata dalla norma UNI 12831 in funzione del calo di temperatura interna prevista, della massa dell'edificio e della durata del periodo di ripresa. In particolare si è posto f_{RH} pari a 11 W/m².

4.5.6 Potenze invernali di progetto

In Tabella 4.18 si riportano i risultati di potenza invernale persa per trasmissione, per ventilazione e quella totale per ciascun locale dell'edificio.

Tabella 4.18 – Potenze invernali per trasmissione, ventilazione e totali

| Descrizione | θ_i | Φ_{tr} | Φ_{ve} | Φ_{rh} | Φ_{hl} |
|----------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| | [°C] | [W] | [W] | [W] | [W] |
| Biblioteca | 20,0 | 7180 | 1444 | 1377 | 10001 |
| Antibagno | 24,0 | 102 | 86 | 21 | 209 |
| Bagno | 24,0 | 184 | 81 | 19 | 284 |
| Bagno disabili | 24,0 | 328 | 196 | 47 | 571 |
| Deposito 1 | 20,0 | 218 | 16 | 17 | 251 |
| Deposito 2 | 20,0 | 127 | 16 | 17 | 160 |
| Totale | | 8139 | 1839 | 1498 | 11476 |

La Figura 4.8 mostra la quota parte di potenza dovuta a perdite per trasmissione (71%), per ventilazione (16%) e per intermittenza (13%). Si specifica, però, che essendo presente un sistema di ventilazione con riscaldamento dell'aria, le perdite per ventilazione calcolate non sono a carico dell'ambiente ma a carico dell'impianto ad aria.

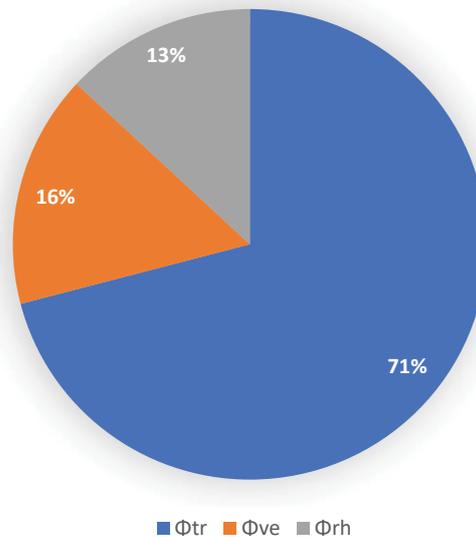


Figura 4.8 – Ripartizione dei carichi termici invernali di progetto

4.6 *Carico termico estivo in regime termico periodico stabilizzato sulle 24 ore*

Come nel caso invernale, il calcolo del carico termico estivo prevede la determinazione di un valore di picco nell'ipotesi di mantenere costante la temperatura interna a un valore di set-point, considerando condizioni al contorno conservative. La principale differenza rispetto al caso invernale è l'impossibilità di utilizzare le stesse ipotesi semplificative che permettono il calcolo in regime stazionario. Nel caso estivo vanno infatti fatte le seguenti considerazioni:

- la temperatura dell'aria esterna è fortemente variabile nell'arco delle 24 ore: generalmente in regime estivo si alternano momenti in cui la temperatura esterna è più alta rispetto a quella interna di set-point, a momenti in cui è più bassa; questo comporta l'impossibilità di considerare un valore costante di differenza media di temperatura fra ambiente interno ed esterno come nel caso invernale;
- i carichi solari e i carichi endogeni gravano sul carico termico estivo e non possono essere trascurati nel bilancio energetico;
- la radiazione solare e i carichi endogeni presentano notevoli fluttuazioni temporali e, specie gli ultimi, variano in maniera stocastica; non possono essere quindi trascurati gli effetti di accumulo termico e l'inerzia dell'edificio dal momento che i contributi di natura radiativa incidono sul bilancio energetico con uno sfasamento temporale dopo essere stati in parte trasformati in flusso termico per convezione scambiato tra aria ambiente e superfici interne.

4.6.1 *Proceduta di calcolo*

Il calcolo del carico termico estivo di progetto si basa quindi sulla soluzione dell'equazione di conservazione dell'energia nell'ipotesi:

- di regime termico di tipo periodico stabilizzato sulle 24 ore;
- di assumere, per le condizioni termoigrometriche dell'aria esterna e interna,

opportuni profili temporali di progetto;

- di tenere conto delle portate di aria di ventilazione/infiltrazione;
- di considerare l'effetto dei carichi solari ed endogeni.

L'equazione di conservazione dell'energia si riduce al bilancio dei carichi per trasmissione, per ventilazione e dei carichi endogeni. Di tali contributi, sono positivi i flussi entranti nell'ambiente e negativi quelli uscenti dall'ambiente. In particolare nel regime estivo i flussi risultano sostanzialmente positivi per una larga frazione del periodo di analisi. Alcuni contributi, come i termini dovuti a trasmissione e a ventilazione, possono assumere valori sia positivi sia negativi, mentre altri, come i carichi endogeni, assumono sempre valori positivi o, al più, nulli.

Sulla base della causa che li genera, si distinguono:

- il guadagno termico per trasmissione attraverso i componenti di involucro;
- il guadagno termico per ventilazione e/o infiltrazione;
- il guadagno termico di origine solare attraverso le superfici trasparenti;
- il guadagno termico endogeno o interno.

Poiché la procedura di calcolo prevede l'analisi di un regime transitorio, la soluzione del bilancio termico è rappresentata da una funzione del tempo e non più, come nel regime invernale, da un singolo valore. Il carico termico di progetto è individuato quindi come il massimo valore assunto dalla funzione Φ_p [W] nelle 24 ore considerate.

Il calcolo del carico termico estivo è stato effettuato tramite il modulo EC706 del software Edilclima che determina la potenza estiva massima tramite il metodo Carrier-Pizzetti, in un giorno definito per ogni mese.

Il metodo si basa sulla scomposizione, per gli elementi opachi, degli effetti conduttivi e radiativi. In particolare per tenere conto degli effetti conduttivi, le differenze di temperatura utilizzate in regime invernale vanno sostituite con la differenza di temperatura equivalente, cioè la "differenza di temperatura fittizia tra aria

esterna e aria interna che, in assenza di scambio per irraggiamento, provocherebbe attraverso le strutture dell'edificio lo stesso flusso di calore determinato, in realtà, dall'insieme della radiazione solare, degli scambi per irraggiamento con il cielo e con l'ambiente esterno, e degli scambi per convezione con l'aria esterna". La temperatura equivalente tiene dunque conto:

- dell'inerzia delle masse;
- del giorno, mese e ora di calcolo;
- dell'esposizione di ogni elemento;
- della latitudine;
- del fattore di assorbimento (in funzione del colore delle superfici).

Il valore di T_{eq} da utilizzare, in funzione dell'esposizione e della massa frontale, per ciascuna ora del giorno è fornito in apposite tabelle disponibili in letteratura, e viene determinato direttamente dal software di calcolo utilizzato in funzione dei dati di input inseriti in fase di modellazione dell'edificio.

Per tener conto dell'accumulo del calore radiante nelle strutture, si utilizza il fattore di accumulo termico, che è un coefficiente di riduzione che considera il comportamento delle masse e deve essere applicato ai carichi termici interni istantanei. Come nel caso delle differenze di temperatura equivalenti, i valori da utilizzare, reperibili in letteratura, sono implementati nel modulo EC706.

Secondo il metodo Carrier-Pizzetti, il carico termico estivo sul sistema di condizionamento risulta dalla somma della trasmissione attraverso le superfici opache e trasparenti, dalla componente radiativa del carico solare, dalla ventilazione e dalle sorgenti interne.

I risultati di calcolo esportabili dal software sono riferiti a sei fasce orarie dalle 8 alle 18, per tutti i mesi pertinenti o per il solo "mese di picco" della località in esame.

4.6.2 Dati climatici e condizioni di progetto

Per quanto riguarda le condizioni esterne di progetto in regime estivo, si considerano i seguenti valori climatici riferiti al comune di Beinasco:

- Temperatura esterna bulbo asciutto: 31,0 °C
- Temperatura esterna bulbo umido: 22,7 °C
- Umidità relativa: 50,0 %
- Escursione termica giornaliera: 11 °C

Nella Tabella 4.19 sono riportate le condizioni di progetto esterne ed interne riferite alle ore 16 nel mese di Luglio:

Tabella 4.19 – Condizioni di progetto estive

| | <i>T b.s.</i> | <i>T b.u.</i> | <i>U.R.</i> |
|---------|---------------|---------------|-------------|
| | [°C] | [°C] | [%] |
| Esterne | 31,0 | 22,7 | 50,0 |
| Interne | 26,0 | 17,8 | 50,0 |

4.6.3 Radiazione solare attraverso i componenti finestrati

La radiazione solare incidente sulle superfici [W/m²] e i fattori di ombreggiamento per gli elementi architettonici e gli edifici adiacenti, che concorrono alla determinazione del fattore di riduzione e del fattore di accumulo, sono stati calcolati automaticamente dal software Ediclimate in funzione della località, dell'orientamento dell'edificio e della modellazione degli elementi che creano ombra.

Per quanto riguarda invece le caratteristiche del vetro e dei sistemi di oscuramento, anche questi influenti per il calcolo dei due fattori suddetti, sono stati considerati i seguenti valori:

- fattore di trasmissione solare g : 0,90;
- fattore tendaggi cf : 1,00 (nessuna tipologia di tendaggio presente);

- assenza di schermi interni;
- presenza di telaio metallico;
- peso della struttura: 150,00 kg/m² (struttura leggera);
- ore di funzionamento dell'impianto: 12 ore.

4.6.4 Radiazione e trasmissione attraverso i componenti opachi e finestrati

Per quanto riguarda i componenti opachi, la differenza di temperatura equivalente è stata determinata automaticamente dal software di calcolo considerando il peso dei vari componenti di involucro, l'esposizione, l'ora del giorno e la latitudine dell'edificio e considerando i seguenti coefficienti di assorbimento assegnati alle strutture:

- 0,3 (colore chiaro) per i componenti opachi di chiusura verticale;
- 0,6 (colore medio) per la copertura.

4.6.5 Carichi interni

Sono stati considerati i carichi interni dovuti alle seguenti fonti:

- Persone:

| Tipo di attività | Calore sensibile | Calore latente | n. di persone |
|-------------------|------------------|----------------|------------------------|
| | [W] | [W] | [pers/m ²] |
| Seduto, in riposo | 64 | 46 | 0,25 |

- Illuminazione artificiale e apparecchiature elettriche

| Carico interno | Carico unitario | Carico totale |
|----------------------------|---------------------|---------------|
| | [W/m ²] | [W] |
| Illuminazione | 15 | |
| Apparecchiature elettriche | - | 200 |

Per i carichi termici interni è stata ipotizzata la seguente distribuzione oraria di utilizzo:

| Ora | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 |
|--------------------------------------|----|-----|----|----|-----|----|
| Persone/m ² [%] | 10 | 100 | 50 | 80 | 100 | 10 |
| Potenza elettrica/m ² [%] | 10 | 100 | 50 | 80 | 100 | 10 |

4.6.6 Potenze estive di progetto

In Tabella 4.20 sono riassunti i risultati del calcolo dei carichi termici estivi secondo il metodo Carrier-Pizzetti per le fasce orarie comprese tra le 8 e le 18 del mese di Luglio, risultante il mese di picco della stagione estiva.

Tabella 4.20 – Andamento dei carichi termici nelle fasce orarie nel mese di Luglio

| Ora | Q_{Irr} | Q_{Tr} | Q_v | Q_c | $Q_{gl,sen}$ | $Q_{gl,lat}$ | Q_{gl} |
|-----|-----------|----------|-------|-------|--------------|--------------|----------|
| | [W] | [W] | [W] | [W] | [W] | [W] | [W] |
| 8 | 3158 | 133 | 2168 | 207 | 2586 | 3080 | 5665 |
| 10 | 2867 | 158 | 2852 | 2068 | 4612 | 3333 | 7945 |
| 12 | 2738 | 408 | 3999 | 1034 | 4758 | 3422 | 8180 |
| 14 | 2726 | 1088 | 4604 | 1654 | 6676 | 3397 | 10072 |
| 16 | 2431 | 1621 | 4604 | 2068 | 7240 | 3483 | 10723 |
| 18 | 1473 | 1710 | 4002 | 207 | 4535 | 2856 | 7391 |

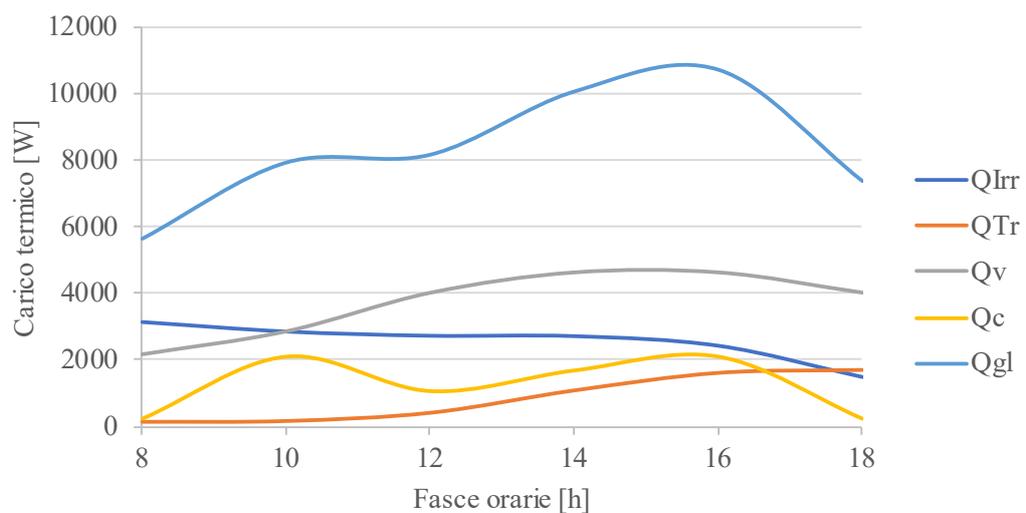


Figura 4.9 – Andamento tra le ore 8 e le ore 18 dei singoli contributi e del carico termico estivo totale

Dai dati sopra riportati risulta che l'ora di massimo carico dell'edificio corrisponde alle 16. In Tabella 4.21 sono riportati i dettagli dei carichi termici, suddivisi per locale che contribuiscono al carico totale di progetto.

Tabella 4.21 – Carichi termici estivi di picco dell'edificio alle ore 16 nel mese di Luglio

| Descrizione | Q_{Irr} | Q_{Tr} | Q_v | Q_c | $Q_{gl,sen}$ | $Q_{gl,lat}$ | Q_{gl} |
|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| | [W] | [W] | [W] | [W] | [W] | [W] | [W] |
| Biblioteca | 2214 | 1382 | 3752 | 3722 | 7863 | 3207 | 11070 |
| Antibagno | 0 | 20 | 193 | 15 | 100 | 128 | 228 |
| Bagno disabili | 20 | 107 | 437 | 15 | 289 | 290 | 579 |
| Bagno | 19 | 22 | 181 | 15 | 116 | 120 | 236 |
| Deposito 1 | 92 | 55 | 20 | 10 | 164 | 13 | 177 |
| Deposito 2 | 85 | 36 | 20 | 15 | 143 | 13 | 157 |
| TOTALE | 2430 | 1622 | 4603 | 3792 | 8675 | 3771 | 12447 |

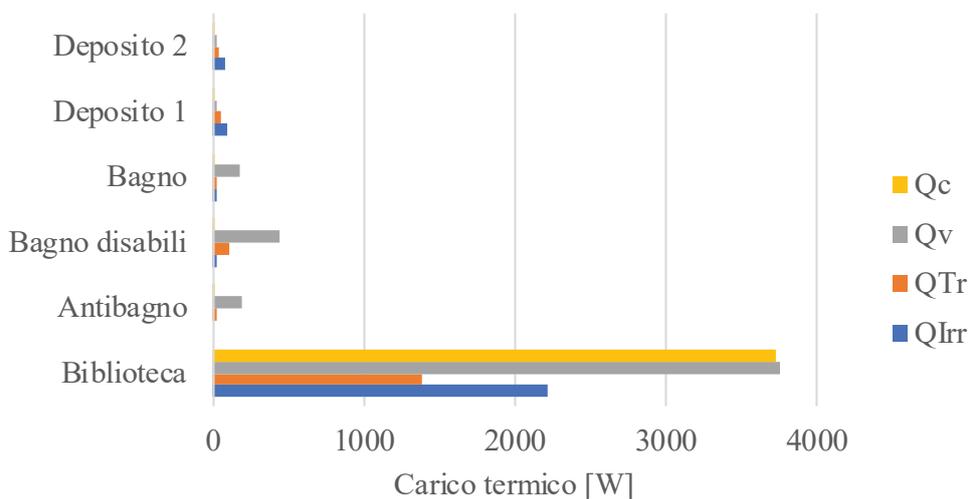


Figura 4.10 – Contributi del carico termico di picco suddivisi per locali

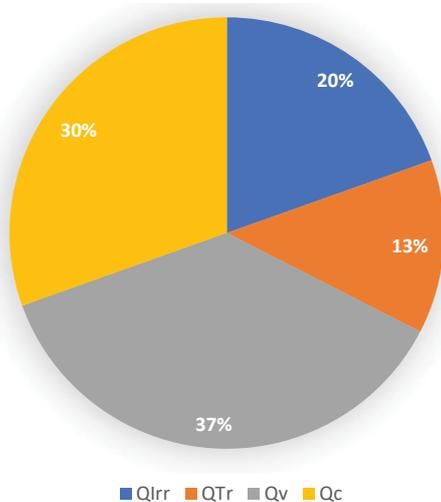


Figura 4.11 – Ripartizione percentuale del carico termico estivo di picco

4.7 *Valutazione dei carichi termici in regime dinamico*

Il software di calcolo utilizzato permette di svolgere simulazioni dell'edificio in regime dinamico secondo quanto indicato dalla norma UNI EN ISO 52016-1:2018, sviluppando il calcolo dei carichi termici a intervalli orari in tutti i giorni dell'anno.

La modellazione dell'edificio e dei componenti di involucro rimane invariata, all'interno del software Edilclima, rispetto al calcolo in regime stazionario, ad eccezione dei dati climatici di input e dei profili orari di utilizzo dell'edificio, superflui in regime stazionario.

4.7.1 *Dati climatici orari*

Trattandosi di un calcolo dinamico, i dati climatici utilizzati per il regime stazionario non sono più sufficienti, ma si necessita di valori orari. Il software permette di utilizzare dati orari di un anno climatico tipo della provincia di Torino calcolati secondo UNI EN ISO 15927-4 e consistono in 12 mesi caratteristici della località, definiti da un archivio di dati meteorologici realmente rilevati per un periodo temporale maggiore a 10 anni. Tali dati si riferiscono ai valori di:

- temperatura [$^{\circ}\text{C}$];
- irradianza solare globale sul piano orizzontale [W/m^2];
- irradianza solare diretta sul piano orizzontale [W/m^2];
- irradianza solare diffusa sul piano orizzontale [W/m^2];
- pressione di vapore [Pa];
- umidità relativa [%];
- velocità del vento [m/s].

In Figura 4.12 sono rappresentati i valori massimi, minimi e medi della temperatura dell'aria esterna nell'anno climatico tipo della provincia di Torino.

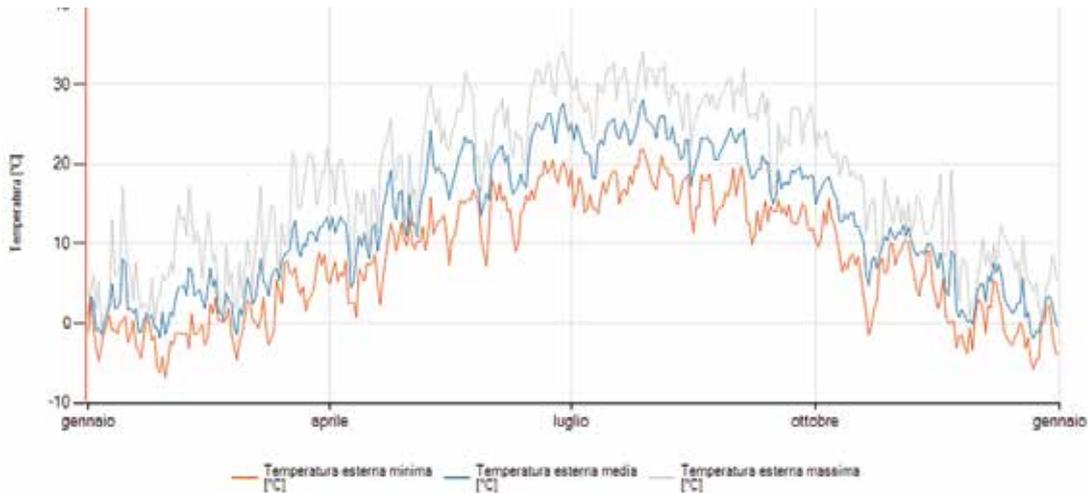


Figura 4.12 – Andamento orario della temperatura dell’aria esterna utilizzato nel calcolo dinamico

4.7.2 Profili orari

Il software ha permesso di realizzare profili orari di utilizzo dell’edificio, in particolare per quanto riguarda:

- *Chiusure oscuranti e tendaggi:* l’edificio in esame non presenta alcun tipo di chiusura oscurante o tendaggi, pertanto sono stati considerati “aperti” per tutte le ore del giorno e per ogni esposizione;
- *Profili orari di utilizzo:* sono stati ipotizzati tre diversi profili orari di utilizzo e occupazione rispettivamente per l’ambiente centrale dell’edificio, i locali adibiti a servizi igienici e quelli adibiti a deposito. In particolare si è ipotizzato l’utilizzo dell’edificio dal lunedì al sabato dalle 8.00 alle 19.00 con picchi di occupazione durante la mattinata e il pomeriggio. L’utilizzo dell’impianto è stato invece considerato come funzionante in modo continuativo con attenuazione notturna e nei periodi di non utilizzo dell’edificio. Si specifica però che tali profili orari sono semplici ipotesi, in quanto non si conosce con certezza la futura modalità di utilizzo dell’edificio.

4.7.3 Carichi termici ottenuti in regime dinamico

La simulazione oraria con il modulo EC700 del software Edilclima permette di ottenere risultati essenzialmente riguardo alla temperatura operativa interna, al fabbisogno energetico per riscaldamento e raffrescamento e al carico termico orario e massimo mensile per riscaldamento e raffrescamento richiesto all'impianto.

In Tabella 4.22 e Figura 4.13 si riportano i risultati dei carichi termici ottenuti con la simulazione dinamica, tenuto conto dei profili orari di utilizzo ipotizzati. Il grafico riporta le potenze mensili massime necessarie in inverno e in estate per mantenere le condizioni interne volute.

Tabella 4.22 – Potenze massime mensili richieste all'impianto

| | $P_{H,max}$ RISCALDAMENTO | | $P_{C,max}$ RAFFRESCAMENTO | |
|----------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | [W] | | [W] | |
| gennaio | 13045 | 07/01/2020 - Ore 08 | - | - |
| febbraio | 12773 | 28/02/2020 - Ore 08 | - | - |
| marzo | 12093 | 04/03/2020 - Ore 08 | - | - |
| aprile | 5104 | 03/04/2020 - Ore 08 | - | - |
| maggio | - | - | 4268 | 25/05/2020 - Ore 15 |
| giugno | - | - | 6172 | 22/06/2020 - Ore 12 |
| luglio | - | - | 5253 | 27/07/2020 - Ore 15 |
| agosto | - | - | 6738 | 03/08/2020 - Ore 12 |
| settembre | - | - | 2948 | 12/09/2020 - Ore 16 |
| ottobre | 5668 | 22/10/2020 - Ore 08 | - | - |
| novembre | 12444 | 30/11/2020 - Ore 08 | - | - |
| dicembre | 13584 | 21/12/2020 - Ore 08 | - | - |
| MASSIMO | 13584 | 21/12/2020 - Ore 08 | 6738 | 03/08/2020 - Ore 12 |

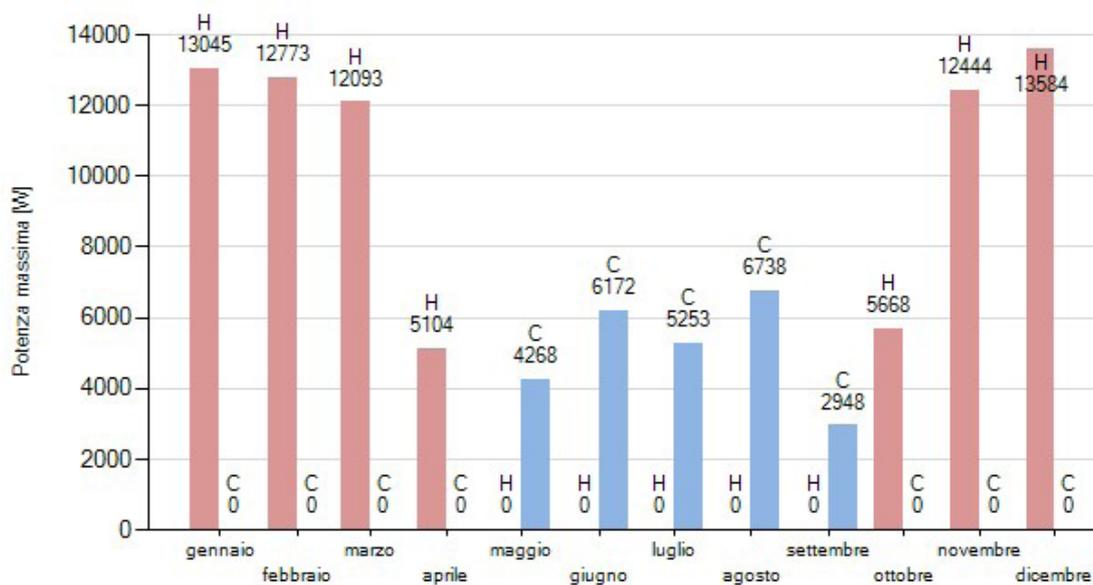


Figura 4.13 – Potenza massima [W] richiesta all’impianto ogni mese dell’anno

In Tabella 4.23 si riportano invece i risultati delle temperature interne operative medie mensili e i fabbisogni energetici richiesti mese per mese all’impianto. In Figura 4.14, Figura 4.15 e Figura 4.16 sono riportati i dettagli orari di tre mesi rappresentativi delle stagioni di riscaldamento e raffrescamento, rispettivamente Gennaio, Ottobre e Luglio.

Tabella 4.23 – Temperature operative interne e fabbisogno energetico mensile

| Mese | TEMPERATURE | | | | FABBISOGNI | |
|---------------|----------------|------------------|-------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| | θ_{est} | $\theta_{int,a}$ | $\theta_{int,op}$ | $\theta_{int,r,mn}$ | $Q_{H,sys,out}$ | $Q_{C,sys,out}$ |
| | [°C] | [°C] | [°C] | [°C] | [kWh] | [kWh] |
| gennaio | 4,7 | 18,8 | 18,4 | 18 | 772 | 0 |
| febbraio | 5,4 | 19 | 18,6 | 18,2 | 607 | 0 |
| marzo | 10,4 | 20,6 | 20,2 | 19,9 | 249 | 0 |
| aprile | 15,7 | 22,2 | 21,9 | 21,6 | 45 | 0 |
| maggio | 18,9 | 23,7 | 23,5 | 23,2 | 0 | 101 |
| giugno | 24,3 | 25,2 | 25 | 24,8 | 0 | 587 |
| luglio | 25,8 | 25,4 | 25,2 | 25 | 0 | 783 |
| agosto | 25,9 | 25,6 | 25,4 | 25,2 | 0 | 767 |
| settembre | 20,4 | 24,3 | 24,1 | 23,8 | 0 | 101 |
| ottobre | 15,8 | 22,1 | 21,9 | 21,6 | 54 | 0 |
| novembre | 9,2 | 20 | 19,7 | 19,3 | 303 | 0 |
| dicembre | 4 | 18,8 | 18,4 | 17,9 | 807 | 0 |
| TOTALI | - | - | - | - | 2838 | 2339 |

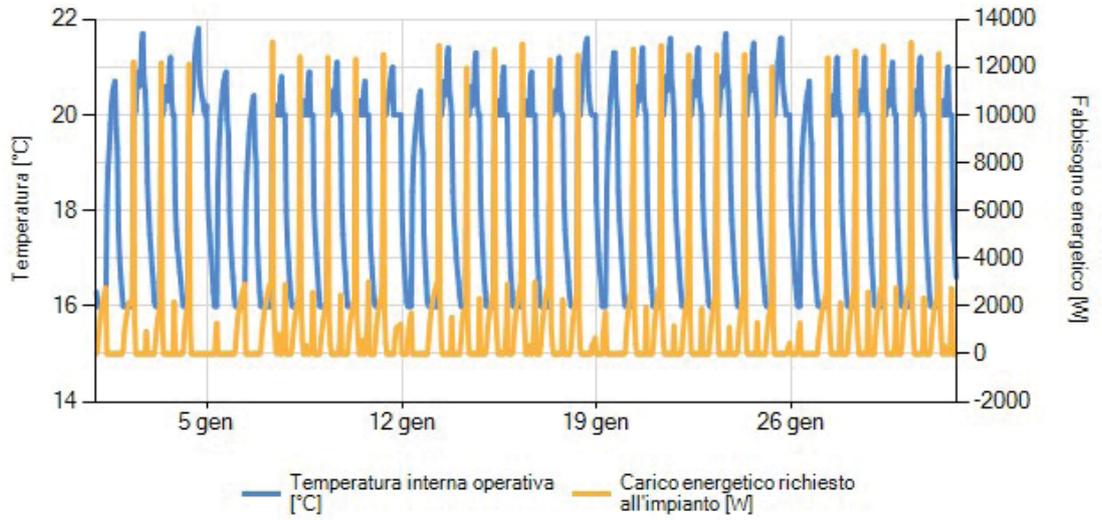


Figura 4.14 – Temperatura interna operativa e fabbisogno energetico nel mese di Gennaio

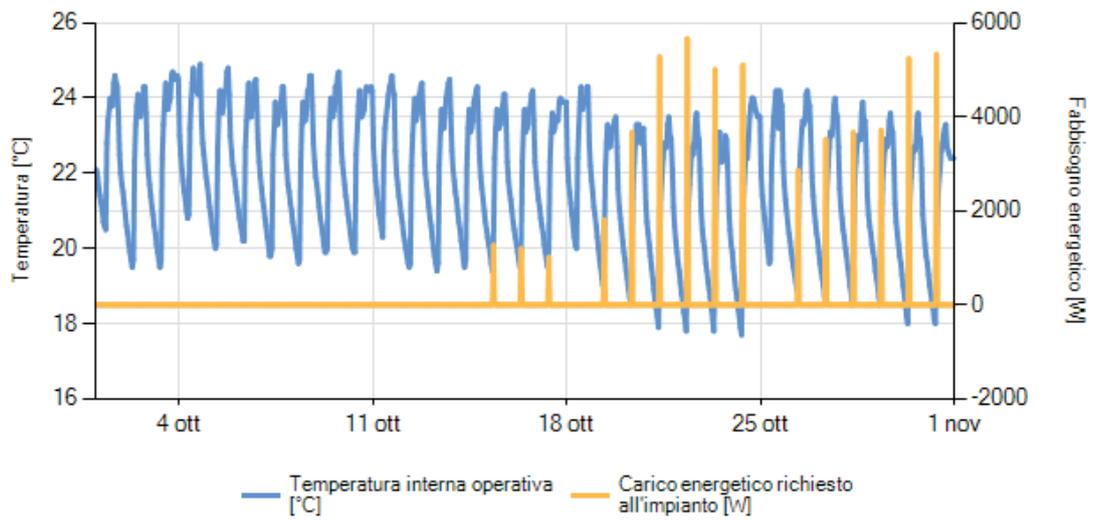


Figura 4.15 – Temperatura interna operativa e fabbisogno energetico nel mese di Ottobre

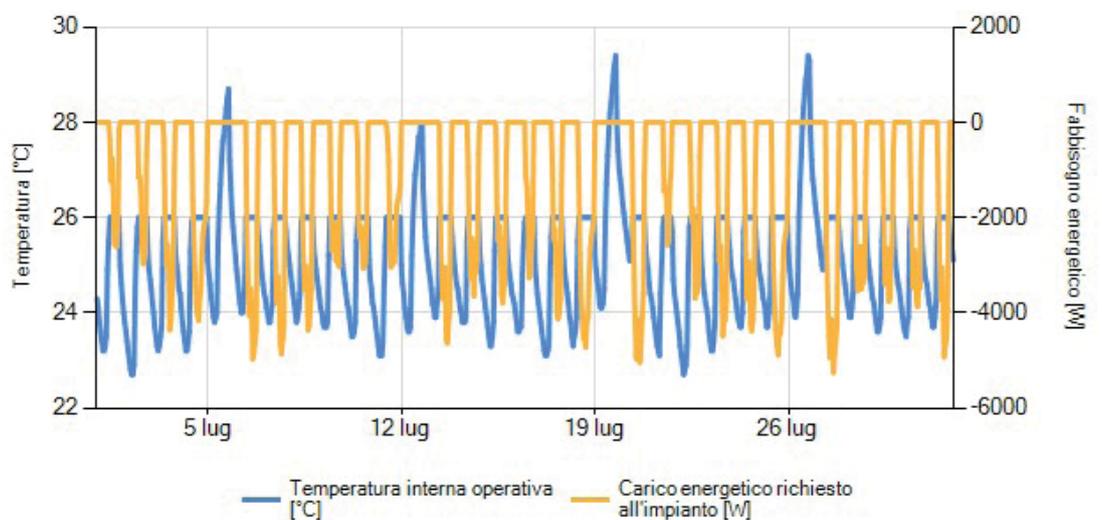


Figura 4.16 – Temperatura interna operativa e fabbisogno energetico nel mese di Luglio

*V. Progettazione degli
impianti meccanici*



5.1 *Considerazioni in merito ai limiti posti dall'edificio in esame e all'approccio progettuale*

L'edificio, allo stato attuale, risulta completamente abbandonato, e il sistema impiantistico non riutilizzabile. L'intenzione della pubblica amministrazione di recuperare tale edificio e dargli nuova vita comporta, quindi, la necessità di progettare nuovi impianti fluido-meccanici.

La realizzazione di un progetto per l'integrazione impiantistica nel processo di recupero e rifunzionalizzazione di un edificio esistente risulta avere sicuramente un grado di difficoltà maggiore dovuto a vincoli imprescindibili, presenti in qualsiasi progetto di recupero o specifici del caso in esame, di cui si deve necessariamente tener conto. Si tratta di vincoli di varia natura, da quelli normativi a quelli architettonici, finanche a quelli di natura economica.

Restaurare un edificio storico, più o meno antico, e dargli nuova vita implica quasi sempre avere a che fare con una struttura progettata e realizzata in periodi in cui i requisiti normativi richiesti erano diversi o del tutto assenti, e nella maggior parte dei casi riuscire a far convergere l'adeguamento ai limiti di legge attuali con il mantenimento e la conservazione del bene, anche a livello estetico, non è sempre un obiettivo scontato o facile da raggiungere.

L'ex Biblioteca "Nino Colombo" a Beinasco, in quanto esempio dell'architettura moderna del Novecento, realizzata però con una particolare struttura, totalmente prefabbricata in acciaio, determina l'insorgere di alcuni vincoli architettonici legati allo spazio disponibile per l'alloggiamento di nuovi impianti, elencati di seguito:

- le tamponature esterne realizzate con pannelli sandwich, ampiamente descritte nei paragrafi precedenti, rendono impossibili soluzioni per la distribuzione degli impianti legate alla realizzazione di scassi per l'alloggiamento delle tubazioni;
- l'utilizzo di terminali di impianto tradizionali quali radiatori a parete, come quelli presenti allo stato attuale ma installati in interventi successivi alla

costruzione dell'edificio, riducono la superficie utile interna e stonano con l'aspetto estetico degli ambienti interni;

- vincolo legato agli spessori del solaio di calpestio: l'attuale pavimentazione è fissata direttamente alla soletta di cemento armato e l'altezza delle soglie di ingresso consentono uno spessore del solaio per la distribuzione degli impianti estremamente ridotto;
- il rispetto delle norme inerenti all'abbattimento delle barriere architettoniche ha reso necessario prevedere nuovi servizi igienici all'interno dell'attuale locale tecnico in cui era installato il vecchio impianto di ventilazione; ciò comporta una riduzione dello spazio disponibile per l'installazione dei nuovi impianti;
- lo sviluppo planimetrico dell'edificio su un unico livello e conseguentemente la ridotta altezza dell'edificio rende impossibile l'eventuale installazione di sistemi di generazione dell'impianto in copertura.

Non da ultimo il limite economico di budget a disposizione per le spese di realizzazione imposto dal Comune di Beinasco inficia sulla scelta della soluzione impiantistica attuabile.

Nei paragrafi seguenti sono trattate nel dettaglio due proposte di integrazione impiantistica sviluppate per l'ex Biblioteca: la prima proposta, che rappresenta il progetto esecutivo accettato dall'amministrazione, è strettamente legata al budget a disposizione per i costi di realizzazione dell'intervento, il secondo scenario, invece, prevede sostanzialmente una diversa soluzione per quanto riguarda il sottosistema di generazione, puntando ad una maggiore efficienza energetica e prestazioni dell'edificio nel suo complesso.

Partendo dalle premesse fatte finora, il progetto per l'integrazione impiantistica, sviluppato in collaborazione con lo studio di progettazione termotecnica dell'Ing. Marco Surra, prevede un impianto di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento di ridotto spessore con integrazione invernale tramite un impianto a tutt'aria (unità di trattamento aria). In tal modo l'impianto sarà in grado di svolgere le funzioni di controllo delle condizioni termiche ambientali invernali

e di rinnovo dell'aria ambiente in ragione dei valori minimi prescritti dalla norma UNI 10339 con controllo della qualità dell'aria introdotta mediante filtrazione dell'aria immessa. Uno schema semplificato della tipologia di impianto considerato è rappresentato in Figura 5.1.

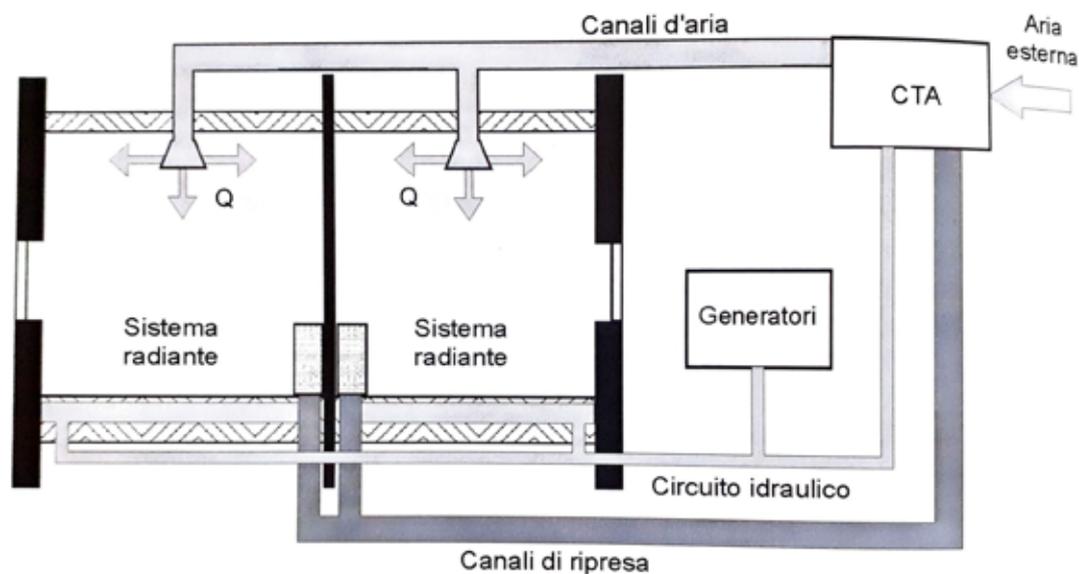


Figura 5.1 – Schema esemplificativo della tipologia di impianto per il riscaldamento

Sarà possibile la regolazione della temperatura ambiente mediante centralina di regolazione climatica agente sulla temperatura dell'acqua nel circuito pannelli radianti.

Per quanto riguarda l'impianto per il raffrescamento estivo è stata prevista attualmente, su richiesta dell'amministrazione pubblica, esclusivamente una predisposizione tramite impianto a tutt'aria, utilizzando l'unità di trattamento aria installata per le portate di ricambio aria e per l'integrazione al sistema radiante di riscaldamento.

A livello di sottosistema di generazione sono stati analizzati due possibili scenari:

- *Scenario 1:* allacciamento alla rete di teleriscaldamento esistente. La produzione del fluido termovettore invernale (acqua calda 60-50 °C) avverrà tramite scambiatore di calore a piastre collegato alla rete di teleriscaldamento posto nella centrale termica collocata nel locale interrato con accesso dall'esterno del fabbricato. Il fluido termovettore sarà distribuito, a partire

dal collettore di centrale, mediante una rete di distribuzione costituita da due circuiti passanti in verticale dal locale tecnico interrato verso le due utenze previste: UTA e collettori a parete dell'impianto radiante.

- *Scenario 2*: installazione di pompa di calore elettrica aria/acqua ad alta efficienza e impianto fotovoltaico per la produzione in sito di energia elettrica.

5.2 Impianto termico: sistema radiante a pavimento integrato con impianto a tutt'aria

Il sistema di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento è, oggi, una tipologia di impianto largamente diffusa soprattutto per la climatizzazione invernale, in ambito residenziale e non residenziale, poiché presenta diversi vantaggi sia dal punto di vista architettonico (nessun ingombro dei terminali di impianto sulle pareti) sia da quello energetico ed impiantistico (bassa temperatura di mandata, maggiore uniformità delle temperature superficiali e quindi maggior comfort termico percepito).

I sistemi radianti, a pavimento, soffitto o parete, scambiano calore con le persone e con l'ambiente per irraggiamento e per convezione. In particolare lo scambio per irraggiamento avviene tra la superficie "attiva", ossia la superficie del sistema radiante, e le superfici "inattive", ossia le altre pareti dell'ambiente, mentre lo scambio per convezione avviene tra superficie "attiva" e aria interna; questo comporta che lo scambio termico per irraggiamento influisce esclusivamente sulla temperatura delle pareti, ma quello per convezione influisce sulla temperatura dell'aria e indirettamente anche su quella delle pareti, poiché l'aria scambia poi calore con quest'ultime per convezione.

Il progetto di integrazione impiantistica per l'edificio in esame prevede l'utilizzo di un sistema di pannelli radianti a basso spessore e bassa inerzia termica costituito da un pannello bugnato per l'alloggiamento dei tubi in polistirene espanso con grafite, con conducibilità termica pari a 0,032 W/mK e spessore 3 cm, e un massetto livellante di spessore 1,5 cm, rappresentato nella stratigrafia di Figura 4.6.

5.2.1 Riferimenti normativi e procedura di calcolo

Il dimensionamento dei sistemi radianti fa riferimento alla norma UNI EN 1264-3:2009 *Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento*

integrati nelle strutture - Parte 3: Dimensionamento, che fornisce la seguente relazione per determinare la potenza specifica verso l'alto emessa, per unità di superficie q_u da un impianto a pavimento:

$$q_u = 8,92 \cdot (\theta_F - \theta_i)^{1,1} \quad (5.1)$$

Da cui risulta che q_u è funzione della differenza di temperatura della superficie del pavimento θ_F e dell'aria ambiente θ_i . Pertanto la potenza utile emessa verso l'alto Q_u attraverso una superficie di area A è desumibile da:

$$Q_u = q_u \cdot A \quad (5.2)$$

La resa dell'impianto radiante a pavimento è direttamente proporzionale alla temperatura che la superficie "attiva" riesce a raggiungere. La normativa europea impone però un limite di temperatura superficiale per pavimenti radianti nel caso invernale pari a 29 °C, che comporta una potenza massima emessa di circa 100 W/m².

L'impianto di riscaldamento radiante emette una quota parte di potenza termica verso il basso Q_b , la cui potenza specifica q_b [W/m²] si calcola come:

$$q_B = q_u \left(\frac{R_{\lambda a}}{R_{\lambda b}} + \frac{\theta_i - \theta_s}{q_u \cdot R_{\lambda b}} \right) \quad (5.3)$$

dove:

$R_{\lambda a}$: resistenza termica degli strati al di sopra del circuito dell'impianto;

$R_{\lambda b}$: resistenza termica degli strati al di sotto del circuito dell'impianto;

θ_i : temperatura dell'ambiente riscaldato;

θ_s : temperatura dell'ambiente sottostante;

La potenza complessiva Q_T [W] che deve essere trasferita dal fluido termovettore (acqua calda) per ottenere la potenza utile verso l'alto Q_u è data pertanto dalla somma delle due quote indicate sopra:

$$Q_T = Q_u + Q_B \quad (5.4)$$

Il salto termico dell'impianto $\Delta\theta_{MR}$ [K] è la differenza di temperatura tra l'acqua di mandata all'impianto radiante θ_M e quella di ritorno θ_R :

$$\Delta\theta_{MR} = \theta_M - \theta_R \quad (5.5)$$

La portata d'acqua [kg/h] da fornire al circuito è in relazione con la potenza totale Q_T e il salto termico $\Delta\theta_{MR}$ tra mandata e ritorno impianto tramite la relazione:

$$\dot{m} = \frac{Q_T}{(\Delta\theta_{MR} \cdot c)} \quad (5.6)$$

dove $c = 1,1627$ Wh/kgK è la capacità termica dell'acqua.

I diagrammi di resa dell'impianto di riscaldamento a pavimento riportano la relazione tra potenza specifica utile q_u , sovratemperatura media $\Delta\theta_H$ e passo di posa dei tubi dell'impianto. In particolare la potenza specifica utile aumenta al ridursi del passo di posa e all'aumentare della sovratemperatura. Nell'insieme delle curve caratteristiche, la curva limite fornisce la relazione tra il salto termico medio fra le temperature dell'aria e dell'acqua e l'emissione aerica per caduta di temperatura limite ($\Delta\theta_{MR} = 0$). In base a questa relazione la temperatura ammissibile massima della superficie del pavimento raggiunge il valore limite di temperatura superficiale, considerata accettabile dal punto di vista fisiologico, di 29 °C per le zone occupate e 35 °C per le zone periferiche.

La sovratemperatura media dell'acqua dell'impianto $\Delta\theta_H$ [K], rispetto alla temperatura dell'aria dell'ambiente, consente di mettere in relazione la potenza specifica emessa con le temperature di mandata θ_M e di ritorno θ_R dell'impianto, ovvero il salto termico $\Delta\theta_{MR}$ tramite la relazione:

$$\Delta\theta_H = \frac{\Delta\theta_{MR}}{\ln\left(\frac{\theta_M - \theta_i}{\theta_M - \Delta\theta_{MR} - \theta_i}\right)} \quad (5.7)$$

5.2.2 Dimensionamento sistema radiante a pavimento

Per effettuare il dimensionamento del sistema si elencano alcuni limiti di funzionamento legati ad aspetti normativi:

- limite di temperatura superficiale per pavimenti radianti nel caso invernale pari a 29 °C;
- limite di lunghezza della tubazione per circuito in modo da rispettare il limite di perdita di carico massima di un circuito pari a 2.500 DaPa, per poter utilizzare circolatori standard.

Le caratteristiche architettoniche dell'edificio pongono un altro vincolo alla posa dei pannelli radianti: va infatti considerato che la superficie dell'ambiente centrale occupata dai binari per le scaffalature mobili non può essere utilizzata per la posa delle serpentine, riducendo quindi la superficie radiante disponibile, da circa 125 m² a 110 m².

Per lasciare le pareti esterne dell'edificio libere da elementi impiantistici, i collettori dei pannelli radianti sono stati collocati sulle pareti della biblioteca adiacenti ai servizi igienici e ai locali adibiti a deposito.

In Tabella 5.1 sono riportate le potenze richieste dai singoli locali e il rispettivo flusso areico q necessario per sopperire al carico termico richiesto per il dimensionamento del sistema radiante; si specifica che, rispetto alle potenze riportate in Tabella 4.18, sono state escluse le perdite per trasmissione attraverso il solaio, che è stato considerato, ai fini del calcolo, come struttura non disperdente in quanto superficie attiva del sistema. Inoltre, essendo previsto un sistema a tutt'aria integrativo ai pannelli radianti, le perdite per ventilazione calcolate nel capitolo precedente, vengono considerate a carico dell'unità di trattamento aria, e non conteggiate in questa fase. Per quanto riguarda i due locali adibiti a deposito, date le ridotte dimensioni, e non essendo prevista alcuna occupazione da parte di persone, si è scelto di escluderli dal sistema radiante a pavimento, ma saranno scaldati esclusivamente tramite aria.

Tabella 5.1 – Potenze invernali di progetto richieste per il dimensionamento del sistema radiante a pavimento

| | θ_i | Area | Φ_p | q |
|-------------------------|---------------|---------|----------|-----------|
| | $[^{\circ}C]$ | $[m^2]$ | $[W]$ | $[W/m^2]$ |
| Biblioteca | 20,0 | 110,00 | 7200 | 65 |
| Blocco servizi igienici | 24,0 | 7,50 | 610 | 81 |

Il dimensionamento è stato effettuato utilizzando le schede e il manuale tecnico di un sistema radiante a basso spessore presente sul mercato, a loro volta redatti sulla base della norma di riferimento UNI EN 1264-3:2009 *Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture - Parte 3: Dimensionamento*.

Il dimensionamento dei sistemi radianti viene effettuato sempre a partire dal locale più sfavorito da cui si determinerà la resa necessaria che dovrà avere l'impianto radiante e la temperatura di mandata del fluido termovettore. Nel caso in esame si parte dunque dal dimensionamento del sistema nell'ambiente centrale della biblioteca.

L'installazione dei collettori in posizione non centrale per motivi architettonici, unita alla necessità di non superare una determinata lunghezza dei circuiti per mantenere le perdite di pressione entro certi valori, ha portato alla scelta di un passo di posa di 12 cm, tra i tre valori di interesse suggeriti dalle schede tecniche pari a 8, 12 e 16 cm, per limitare l'incidenza di tubazioni a metro quadro. Gli altri valori di input sono:

- resistenza termica del rivestimento $R_{\lambda,B}$ (linoleum): 0,03 m²K/W;
- spessore del massetto sopra il pannello S_U : 15 mm.

In Tabella 5.2 sono riportati i valori di K_H in caso di passo 12 cm, in funzione dello spessore del massetto sopra il pannello S_U e della resistenza termica del rivestimento $R_{\lambda,B}$, che definiscono le curve caratteristiche dell'impianto, rappresentate in Figura 5.2. Queste riportano la relazione tra potenza specifica utile q_u e differenza tra temperatura media dell'acqua e dell'ambiente $\Delta\theta_H$ in funzione del passo di posa.

Tabella 5.2 – Relazione tra $s_{0,1}$ e $R_{\lambda,B}$ per la determinazione di K_H

| $R_{\lambda,B}$ | K_H , Spacing 12 cm K_H , Passo 12 cm | | | | | | | | | | |
|-----------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Su | | | | | | | | | | |
| 0.01 | 5.696 | 5.678 | 5.658 | 5.638 | 5.618 | 5.598 | 5.577 | 5.557 | 5.535 | 5.514 | 5.493 |
| 0.02 | 5.233 | 5.231 | 5.227 | 5.221 | 5.213 | 5.204 | 5.193 | 5.182 | 5.169 | 5.156 | 5.142 |
| 0.03 | 4.889 | 4.895 | 4.898 | 4.898 | 4.896 | 4.892 | 4.886 | 4.879 | 4.871 | 4.862 | 4.851 |
| 0.04 | 4.605 | 4.615 | 4.622 | 4.625 | 4.627 | 4.626 | 4.623 | 4.618 | 4.613 | 4.606 | 4.598 |
| 0.05 | 4.360 | 4.373 | 4.382 | 4.387 | 4.391 | 4.391 | 4.391 | 4.388 | 4.384 | 4.378 | 4.372 |
| 0.06 | 4.145 | 4.159 | 4.169 | 4.176 | 4.180 | 4.182 | 4.182 | 4.181 | 4.178 | 4.174 | 4.169 |
| 0.07 | 3.952 | 3.967 | 3.978 | 3.985 | 3.990 | 3.993 | 3.994 | 3.994 | 3.992 | 3.989 | 3.985 |
| 0.08 | 3.778 | 3.793 | 3.804 | 3.812 | 3.818 | 3.822 | 3.823 | 3.823 | 3.822 | 3.820 | 3.816 |
| 0.09 | 3.620 | 3.635 | 3.647 | 3.655 | 3.661 | 3.665 | 3.667 | 3.668 | 3.667 | 3.665 | 3.662 |
| 0.10 | 3.476 | 3.491 | 3.502 | 3.510 | 3.516 | 3.521 | 3.523 | 3.524 | 3.524 | 3.523 | 3.520 |
| 0.11 | 3.343 | 3.357 | 3.369 | 3.377 | 3.383 | 3.388 | 3.391 | 3.392 | 3.392 | 3.391 | 3.389 |
| 0.12 | 3.220 | 3.234 | 3.246 | 3.254 | 3.260 | 3.265 | 3.268 | 3.269 | 3.269 | 3.269 | 3.268 |
| 0.13 | 3.106 | 3.120 | 3.131 | 3.139 | 3.146 | 3.151 | 3.154 | 3.155 | 3.156 | 3.155 | 3.154 |
| 0.14 | 3.000 | 3.014 | 3.025 | 3.033 | 3.039 | 3.044 | 3.047 | 3.049 | 3.050 | 3.050 | 3.049 |
| 0.15 | 2.901 | 2.915 | 2.926 | 2.934 | 2.940 | 2.945 | 2.948 | 2.950 | 2.951 | 2.951 | 2.950 |

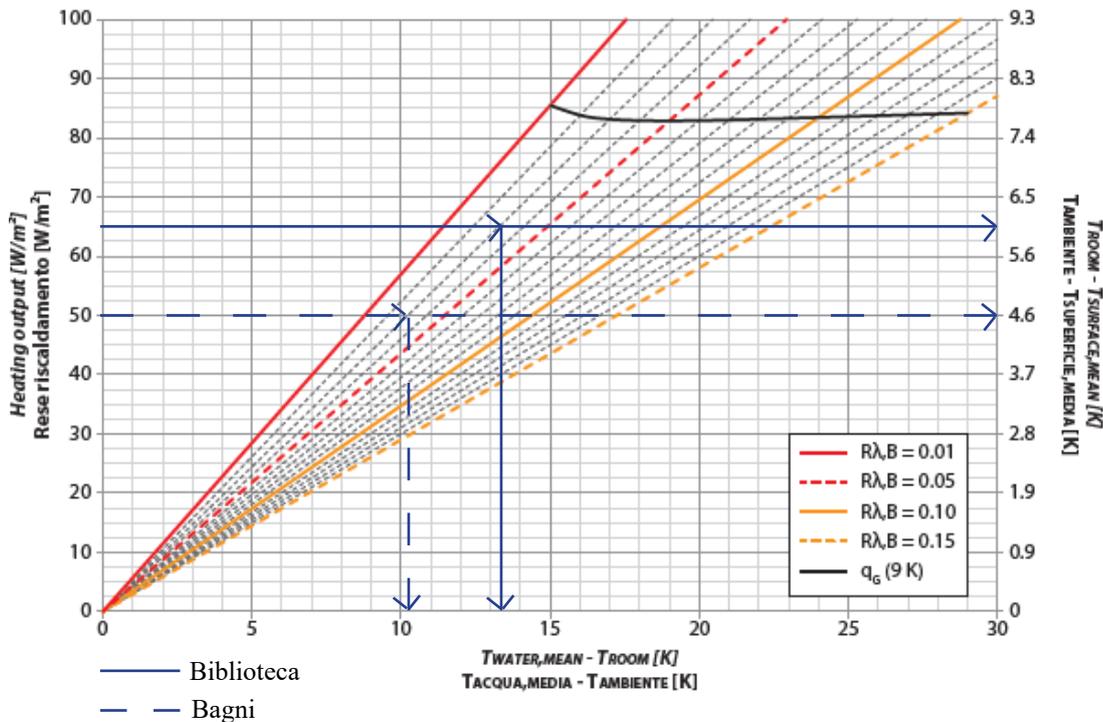


Figura 5.2 – Curve caratteristiche dell'impianto di riscaldamento per passo 12 cm

Di seguito viene riportata la tabella riassuntiva con i principali dati di calcolo per dimensionare l'impianto radiante a pavimento. Il calcolo, come già detto, è stato effettuato inizialmente per il locale più sfavorito, ossia l'ambiente centrale della biblioteca; successivamente, a partire dalla temperatura di mandata dell'impianto, che rimane la stessa per tutti i circuiti, si calcolano tutti gli altri locali. La temperatura di mandata è stata determinata considerando il valore

massimo di salto termico del fluido termovettore del locale più sfavorito ΔT secondo norma UNI EN 1264, compreso tra 2 e 5 K.

Tabella 5.3 – Dimensionamento del sistema radiante per i locali serviti dall'impianto

| Nome | u.m. | Locale | | |
|--|------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| | | Biblioteca | Bagni | |
| <i>Dati locale</i> | | | | |
| Temperatura ambiente | θ_i | °C | 20,0 | 24,0 |
| Temperatura terreno/locale sottostante | θ_s | °C | 8,0 | 15,0 |
| Superfici e totale disponibile | A_T | m ² | 110,0 | 7,50 |
| Potenza richiesta | Q | W | 7200 | 610 |
| <i>Dati rese impianto</i> | | | | |
| Potenza specifica utile fornita | q_u | W/m ² | 65 | 50 |
| Potenza totale fornita | Q_T | W | 7150 | 375 |
| Resistenza termica del rivestimento | $R_{\lambda,b}$ | m ² K/W | 0,03 | 0,03 |
| Coefficiente di trasmissione in riscaldamento | K_H | - | 4,892 | 4,892 |
| Differenza tra temperatura media dell'acqua e temperatura ambiente | $\Delta\theta_H$ | K | 13,3 | 10,2 |
| Temperatura media acqua | θ_F | °C | 33,3 | 34,2 |
| Differenza tra temperatura superficiale media e temperatura ambiente | | K | 6,05 | 4,60 |
| Temperatura media superficiale | θ_s | °C | 26,1 | 28,6 |
| Salto termico $2 < \Delta T < 5$ K | ΔT | K | 5,0 | 3,1 |
| Temperatura di mandata | θ_M | °C | 35,8 | 35,8 |
| Resistenza del pannello isolante | R_D | m ² K/W | 1,05 | 1,05 |
| Resistenza del solaio | U^{-1} | m ² K/W | 0,07 | 0,07 |
| Resistenza dietro il pannello | R_U | m ² K/W | 1,12 | 1,12 |
| Resistenza davanti al pannello | $R_{O,H}$ | m ² K/W | 0,13 | 0,13 |
| Potenza specifica verso il basso | q_B | W/m ² | 18 | 22 |
| Perdita di calore | p% | % | 28% | 28% |
| Potenza specifica effettiva | q_{tot} | W/m ² | 83 | 64 |
| <i>Dati circuito più sfavorito</i> | | | | |
| Passo delle tubazioni | T_i | m | 0,12 | 0,12 |
| Incidenza tubazione con passo 12 | I | m/m ² | 8,3 | 8,3 |
| Distanza collettore-locale | L_C | m | 0 | 0 |
| Lunghezza tubazione | L_p | m | 913 | 62 |
| Lunghezza massima consentita | L_{max} | m | 60 | 60 |
| N. circuiti | n | - | 16 | 3 |

| Nome | u.m. | Locale | | |
|--|------------------------|--------------------|-------------|-----------|
| | | Biblioteca | Bagni | |
| <i>Dati portate impianto e perdite</i> | | | | |
| Portata a metro quadro | G | l/h m ² | 14,3 | 11,0 |
| Portata totale | G_{tot} | l/h | 1578 | 82 |
| Portata per circuito | G _{circuito} | l/h | 99 | 27 |
| Perdita lineare | Δp | DaPa/m | 35,8 | 3,8 |
| Perdita totale circuito | p | DaPa | 2147 | 230 |

In Figura 5.3 è rappresentata la disposizione del sistema radiante a pavimento, con il posizionamento dei due collettori e la distribuzione dei circuiti.



Figura 5.3 – Posizione dei collettori e distribuzione dei circuiti dell'impianto radiante a pavimento

5.2.3 Dimensionamento impianto a tutt'aria

L'integrazione al sistema radiante a pavimento per sopperire ai carichi termici invernali di progetto avverrà con l'immissione di aria preriscaldata tramite UTA.

L'unità di trattamento aria sarà collocata nella nicchia ricavata al di sotto della copertura in corrispondenza del volume centrale di maggiore altezza, e opportunamente schermata per nascondere la vista dall'ambiente interno. La scelta della collocazione è stata dettata dal fatto che il locale adibito originariamente come vano tecnico per l'impianto di ventilazione è stato riadattato in fase di progettazione architettonica per i servizi igienici, e l'altezza ridotta dell'edificio impedisce l'installazione dell'UTA in copertura per motivi estetici.

L'impianto di aria della sala centrale della biblioteca sarà distribuito a partire dalla UTA tramite canalizzazioni del tipo rettangolare in lastre di poliuretano rivestite su entrambe le facce di lamierino di alluminio, passanti nell'esistente canale esterno, adiacente al volume centrale di maggiore altezza e al di sopra della copertura più bassa, rappresentato in Figura 5.6. L'immissione nella sala conferenza avverrà mediante diffusori a parete e a soffitto, mentre la ripresa di parte della portata immessa avverrà attraverso una griglia di elevata sezione posta a soffitto del locale nella zona terminale sottostante alla UTA. Il posizionamento di griglie di transito di dimensioni adatte sull'ingresso ai servizi igienici e ai depositi permetteranno invece di far transitare l'aria in questi ambienti, da dove sarà estratta tramite estrazione forzata.

L'unità di trattamento aria sarà composta dalle seguenti sezioni:

- serrande;
- sistema di filtrazione;
- recuperatore di calore a piastre a flusso incrociato ad alta efficienza (rendimento pari a 0,80);
- batteria di riscaldamento;
- sezione di umidificazione.

Il passaggio dell'aria immessa dall'esterno e dell'aria in estrazione dagli

ambienti interni attraverso il recuperatore statico di rendimento 0,80, permette di ridurre il salto termico dell'aria immessa nella batteria di pre-riscaldamento dell'UTA, ottenendo una temperatura calcolata dalla seguente relazione:

$$\theta_{su} = \theta_e + \varepsilon \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (5.8)$$

Si ottiene pertanto una temperatura θ_{su} pari a 14,4 °C.

Per i servizi igienici è stata prevista l'estrazione forzata pari a 8 vol/h, mentre il sistema di ventilazione è predisposto per l'immissione e l'estrazione bilanciata nel solo ambiente centrale della biblioteca, per garantire i ricambi d'aria minimi previsti da norma UNI 10339 e per integrare l'impianto di riscaldamento a pannelli radianti a pavimento. La portata d'aria da immettere è stata calcolata, conoscendo la potenza termica necessaria, in base alla seguente relazione:

$$Q = G \cdot (h_1 - h_2) \quad (5.9)$$

dove:

Q : carico termico [kcal/h];

G : portata d'aria [kg/h];

h_1 e h_2 : entalpia del punto ambiente e del punto di immissione [kcal/kg].

In Tabella 5.4 sono riportati i dati dell'ambiente da riscaldare di input per il calcolo. Si specifica che in questo caso la potenza totale richiesta comprende anche le perdite per ventilazione.

Tabella 5.4 – Dati di input per il dimensionamento dell'impianto a tutt'aria

| Grandezza | u.m. | Locale | | Edificio | |
|--|------------|------------|-------|----------|-------------|
| | | Biblioteca | Bagni | | |
| Temperatura ambiente | θ_i | °C | 20,0 | 24,0 | - |
| Umidità relativa ambiente | UR | % | 50,0 | 50,0 | - |
| Potenza totale richiesta | Q | W | 8679 | 973 | 9652 |
| Potenza fornita dal sistema radiante | Q_{SR} | W | 7150 | 375 | 7525 |
| Potenza residua a carico dell'UTA | Q_{UTA} | W | 1529 | 598 | 2127 |

In Tabella 5.5 si riportano i passaggi del calcolo effettuato per stabilire la portata di immissione in modo da compensare i carichi termici di progetto, ipotizzando di immettere aria a 23°C.

Tabella 5.5 – Determinazione delle condizioni di immissione

| | | | |
|---|---------------|-------------------------|-------------|
| Carico termico | Q_{UTA} | kcal/h | 1721 |
| Temperatura aria ambiente | θ_i | °C | 20,0 |
| Umidità relativa aria ambiente | UR | % | 50,0 |
| Entalpia dell'aria ambiente | H_1 | kcal/kg | 9,30 |
| Temperatura di immissione | θ_{im} | °C | 23,0 |
| Umidità relativa di immissione | UR | % | 40,0 |
| Entalpia dell'aria di immissione | H_2 | kcal/kg | 10,0 |
| Variazione di entalpia | ΔH | kcal/kg | 0,70 |
| Portata d'aria | P | kg/m³ | 2000 |
| Umidità relativa in ingresso alla batteria di riscaldamento | UR | % | 20,0 |

Nel diagramma psicrometrico di Figura 5.4 sono indicati i punti A e I che rappresentano rispettivamente:

- punto A: condizione dell'ambiente interno (20,0 °C e UR 50,0%);
- punto I: condizione dell'aria immessa per sopperire ai carichi termici (23,0°C e UR 40,0%).

Essendo presente un recuperatore di calore statico, viene scambiato calore sensibile di modo che l'aria in entrata alla batteria di riscaldamento non abbia le caratteristiche individuate dal punto B del diagramma psicrometrico di Figura 5.5, ossia 14,0°C e UR 20,0 %. La Figura 5.5 rappresenta le trasformazioni necessarie per ottenere l'aria con le condizioni di immissione volute (punto I), in particolar modo riscaldamento più umidificazione.

In Figura 5.6 è rappresentata la distribuzione in pianta e in sezione delle canalizzazioni dell'impianto a tutt'aria. La sezione dei canali è stata effettuata in funzione della velocità dell'aria e delle perdite di carico distribuite e concentrate.

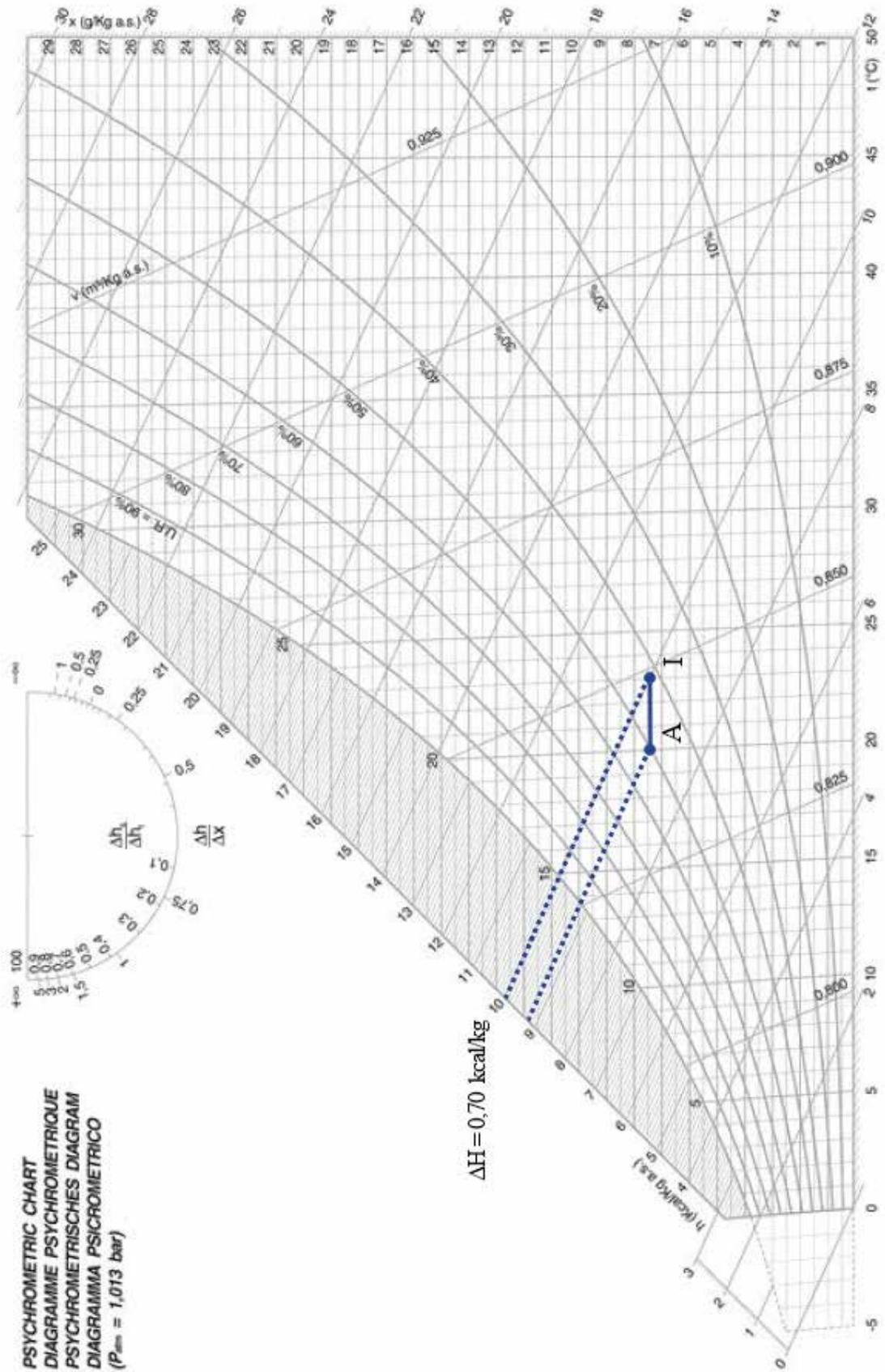


Figura 5.4 – Diagramma psicrometrico - determinazione del punto di immissione

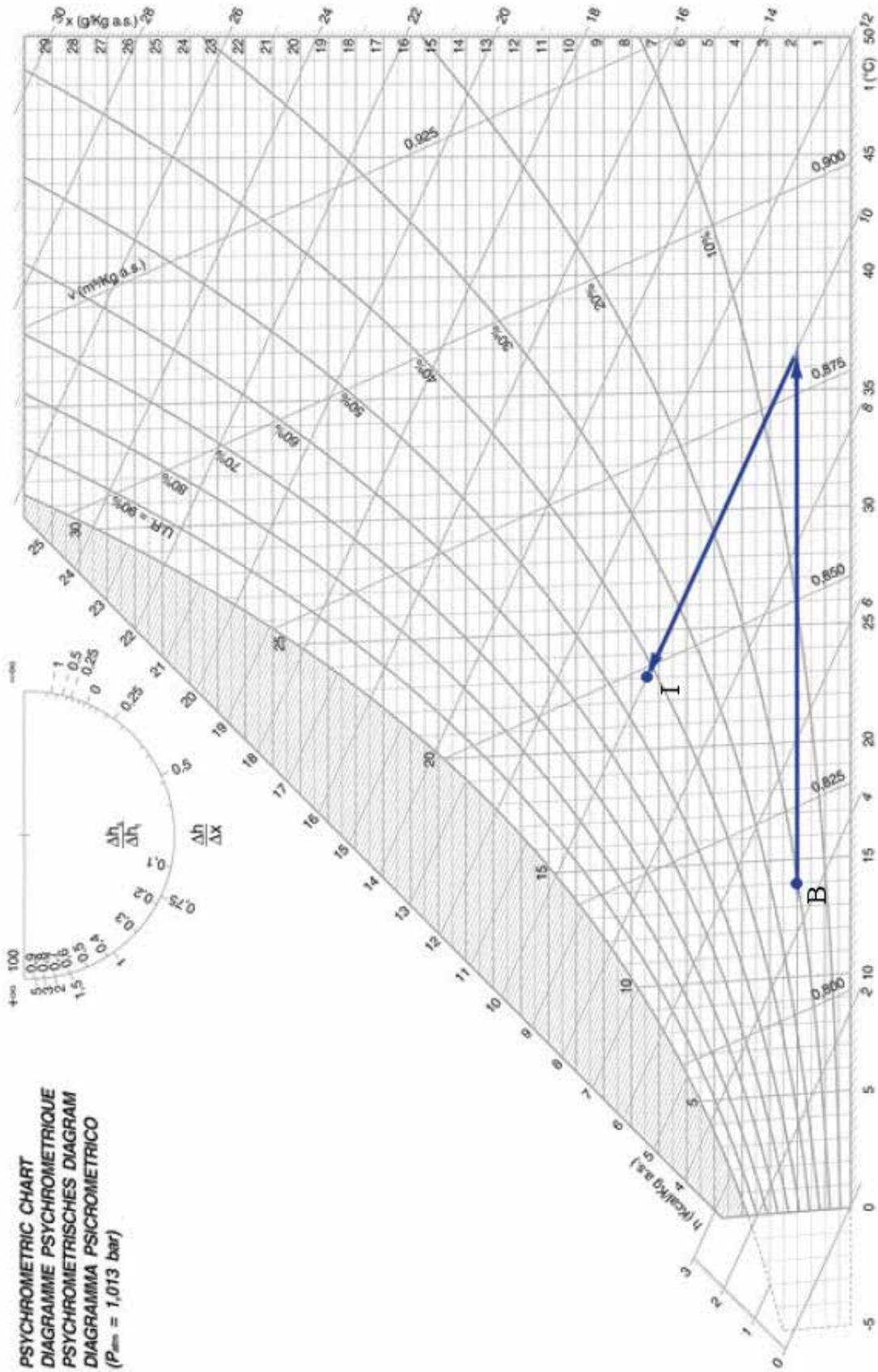


Figura 5.5 – Diagramma psicrometrico - passaggio da punto E a punto I

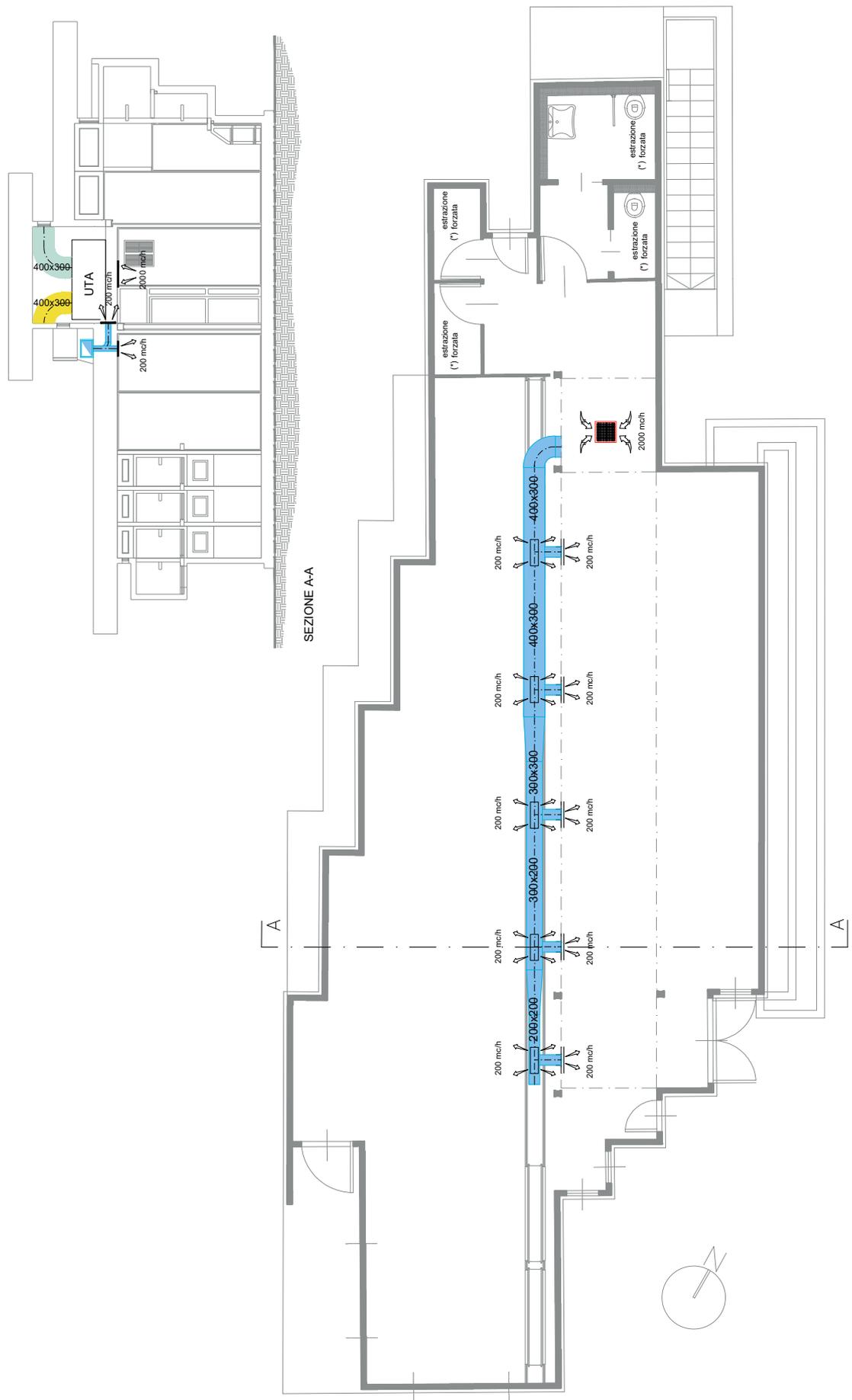


Figura 5.6 – Distribuzione canalizzazione di mandata

5.2.4 *Impianto di climatizzazione estiva*

Su richiesta dell'amministrazione pubblica e in base al budget messo a disposizione per i costi di realizzazione, non è stato previsto e dimensionato, al momento, alcun impianto di climatizzazione estiva. Durante la fase di progettazione impiantistica, è stata però prevista la predisposizione per una sua futura realizzazione. In particolare, essendo già presente un'unità di trattamento aria per il funzionamento invernale, sono state ipotizzate le seguenti soluzioni:

- free-cooling quando l'aria esterna è più fresca rispetto a quella interna, quindi solitamente durante le ore notturne e in regime di mezza stagione. L'aria esterna viene semplicemente filtrata e direttamente immessa in ambiente per raffrescare.
- funzionamento estivo dell'unità di trattamento aria con batteria di raffreddamento durante le ore estive di utilizzo dell'edificio.

5.3 *Sottosistema di generazione*

5.3.1 *Scenario 1: allaccio alla rete di teleriscaldamento*

Il teleriscaldamento è un sistema di riscaldamento a distanza: la produzione di calore avviene in grandi centrali tramite lo sfruttamento di diversi possibili combustibili, sia quelli tradizionali quali gas naturale, oli combustibili e carbone che fonti alternative utilizzate per la produzione di calore, quali geotermico, rifiuti, biomassa (scarti di legno, segatura, cippato). La centrale di produzione distribuisce poi il calore mediante un fluido termovettore, acqua calda, acqua surriscaldata o vapore attraverso una rete di tubazioni in pressione, interrate e isolate, che si diramano in modo capillare al di sotto della città. Il punto di incontro tra la rete del teleriscaldamento e la singola utenza è costituito dalla sottocentrale di scambio, in cui il fluido termovettore viene intercettato dall'edificio allacciato alla rete con uno scambiatore di calore; in questo modo il fluido termovettore della rete di teleriscaldamento cede calore alla rete del singolo utente, ritornando alla centrale termica a temperature più basse, per essere nuovamente riscaldato.

Il Comune di Beinasco ha approvato, nel 2017, il progetto per l'estensione della rete di teleriscaldamento ad acqua surriscaldata (temperature superiori a 110 °C) della Città di Torino, per l'allacciamento di edifici pubblici e privati. Le sorgenti principali del calore che alimentano la rete sono costituite dagli impianti di cogenerazione di Moncalieri e di Torino Nord insieme al sistema di accumulo dell'impianto di integrazione Martinetto e agli impianti di integrazione e riserva Politecnico e BIT.

Data la possibilità di allacciamento alla rete di teleriscaldamento, il primo scenario prevede la produzione del fluido termovettore invernale (acqua calda 60-50 °C) a servizio dell'ex Biblioteca "Nino Colombo" tramite scambiatore di calore a piastre collegato alla rete nella centrale termica posta in apposito vano tecnico interrato con accesso dall'esterno del fabbricato.

Il fluido termovettore sarà distribuito da due circuiti a partire dal collettore di centrale mediante una rete di distribuzione passante in verticale dal locale tecnico interrato verso le utenze costituite dalla UTA, posta sopra la copertura della zona

ribassata terminale della biblioteca, e dai collettori dell'impianto radiante, anch'essi posizionati sulla parete di fondo dell'ambiente.

Essendo la rete di teleriscaldamento in questione del tipo a fluido surriscaldato, si ricade nel caso di un impianto con scambiatore di calore alimentato sul primario con fluido a temperatura superiore ai 100 °C. Pertanto nella progettazione della centrale termica è stata prevista l'installazione, entro un metro di distanza dal generatore, sulla mandata dello scambiatore di calore a piastre i seguenti dispositivi di protezione, controllo e sicurezza previsti dalla Raccolta R - *Norme di Sicurezza per Apparecchi Contenenti Liquidi Caldi Sotto Pressione* - A.N.C.C. per impianti a vaso di espansione chiuso (Punto R.3.B.) e prescritti dall'I.N.A.I.L (Istituto Nazionale per l'Assicurazione contro gli Infortuni sul Lavoro) ai sensi del D.M. 1/12/1975:

- termostato di regolazione ad immersione con campo di taratura 0 - 90°C, con guaina di attacco 1/2";
- termostato di sicurezza ad immersione a ripristino manuale, taratura 100 °C con guaina di attacco 1/2";
- termometro ad immersione a quadrante f. s. 120 °C;
- pressostato di blocco a ripristino manuale;
- pressostato di minima taratura 0,5 bar;
- pozzetto per introduzione termometro di controllo INAIL attacco 1/2";
- manometro tarato a 4 bar completo di rubinetto porta-manometro a tre vie, con appendice a disco piano per applicazione strumento INAIL e riccio ammortizzatore in rame;
- valvola di scarico termico 1/2" x 1/2" omologata INAIL;
- valvola di sicurezza a membrana qualificata e omologata INAIL completa di certificato di taratura al banco, diametro 1/2" tarata a 2,5 bar completa di imbuto e tubazione di scarico convogliata.

In Figura 5.7 è rappresentato lo schema funzionale della centrale termica riferito al primo scenario, con l'installazione dello scambiatore di calore a piastre.

5.3.2 Scenario 2: pompa di calore elettrica aria/acqua e impianto fotovoltaico

Il budget ridotto per i costi di realizzazione dell'intervento di recupero e rifunzionalizzazione dell'ex Biblioteca "Nino Colombo" ha necessariamente imposto dei limiti nella scelta delle soluzioni progettuali per le tipologie impiantistiche, soprattutto per quanto riguarda i sottosistemi di generazione.

Di seguito viene analizzata un'alternativa al progetto impiantistico realizzato e descritto nei paragrafi precedenti; in particolar modo si mantiene l'impianto termico a pannelli radianti a pavimento, integrato con un impianto a tutt'aria, ma si ipotizza, da un lato, al posto dell'allacciamento alla rete di teleriscaldamento, una generazione del fluido termovettore con pompa di calore geotermica, dall'altro una possibile integrazione di un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo per la produzione dell'energia elettrica necessaria all'edificio.

Pompa di calore elettrica aria/acqua

La pompa di calore sfrutta un ciclo frigorifero invertito, estraendo il calore da una fonte naturale e rinnovabile (aria, acqua o terra) e immettendolo all'interno dell'edificio alla temperatura idonea, in base alla tipologia di impianto. Recuperando l'energia necessaria da fonti naturali gratuite, questo sistema di generazione permette di ridurre i consumi di energia e le emissioni di CO₂, rappresentando quindi una soluzione efficiente e al tempo stesso sostenibile a livello ambientale.

La pompa di calore elettrica aria/acqua, che preleva calore dall'aria esterna, rappresenta da un lato una maggiore facilità di sfruttamento per la facilità di reperimento della sorgente, dall'altra una delle soluzioni che presenta un migliore rapporto qualità/prezzo: nonostante non offra le migliori prestazioni rispetto ad altre tipologie di sorgenti, come nel caso di pompe di calore geotermiche, comportano spese di installazione molto più contenute.



Figura 5.8 – Schema di funzionamento di una pompa di calore aria/acqua installata internamente

Una soluzione di generazione con pompa di calore nel caso in esame potrebbe essere conveniente per diversi motivi:

- la pompa di calore lavora con una maggiore efficienza in bassa temperatura, pertanto il caso di abbinamento con pavimento radiante rappresenta il caso di migliore prestazione;
- la pompa di calore viene alimentata da energia elettrica; associarla ad un impianto fotovoltaico permette di sopperire in parte, tramite autoconsumo, i fabbisogni elettrici di cui necessita, riducendo ulteriormente il consumo di fonti non rinnovabili.

Impianto fotovoltaico

La possibilità di installare pannelli fotovoltaici in copertura permetterebbe di produrre una quantità di energia elettrica a compensare in buona parte il fabbisogno elettrico dell'edificio. In particolar modo, l'installazione di un sistema fotovoltaico con accumulo consentirebbe di conservare il surplus di energia elettrica prodotta di giorno per riutilizzarla in seguito, nelle ore in cui l'impianto fotovoltaico non è produttivo.

Un impianto fotovoltaico tradizionale senza sistema di accumulo consente di

utilizzare l'energia elettrica prodotta dai pannelli installati istantaneamente rispetto alla richiesta dell'utenza. In tal modo è impossibile avere una copertura totale dei fabbisogni elettrici dell'edificio e gran parte dell'energia prodotta va "persa". Un impianto di generazione di energia solare è composto, normalmente, da una serie di pannelli di silicio che trasformano parte dell'irraggiamento solare in energia elettrica. I pannelli generano corrente elettrica continua che ha bisogno di essere trasformata in corrente alternata da parte dell'inverter per poter essere utilizzata dalle utenze. Quando i pannelli sono in funzione, l'energia prodotta ha due strade: quella dell'autoconsumo (consumo istantaneo dell'energia prodotta) o quella dell'immissione in rete. Quando l'utenza necessita di energia elettrica (illuminazione, elettrodomestici, macchine elettriche, ausiliari impiantistici), l'energia prodotta viene consumata; quando invece non c'è bisogno di energia nell'edificio, essa viene immessa nella rete. Nelle ore in cui i pannelli non producono, ossia quando non c'è irradiazione solare, le utenze nell'edificio prelevano energia dalla rete. Un contatore misura l'energia immessa in rete o assorbita dalla rete.

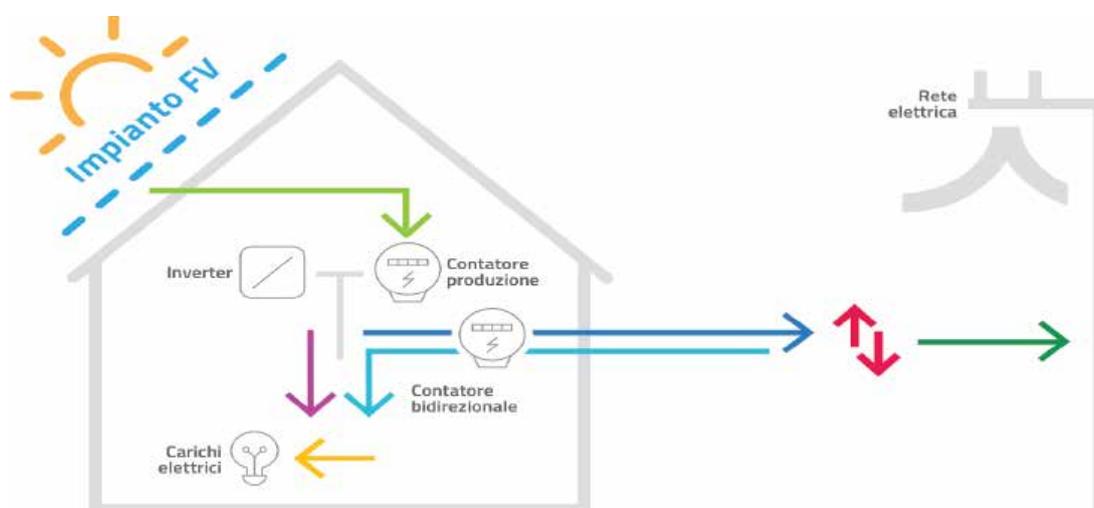


Figura 5.9 – Schema del funzionamento di un impianto fotovoltaico tradizionale senza accumulo

Un sistema di accumulo per un impianto fotovoltaico permette invece di stoccare l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici che non viene immediatamente consumata, consentendone l'utilizzo in modo differito. Questo meccanismo consente di accumulare l'energia in eccesso rispetto ai consumi prodotta di

giorno e utilizzarla di sera/notte senza che sia necessario richiederla alla rete elettrica.

Sul mercato esistono due modalità di accumulo che permettono lo stoccaggio dell'energia fotovoltaica:

- inverter con batteria integrata: all'interno di una sola scatola sono posti l'inverter e una batteria al litio integrata;
- sistema componibile con batterie esterne: il sistema accumulatore di energia fotovoltaica si trova all'esterno ed è collegato ai pannelli solari; permette di scegliere tra differenti tecnologie e modalità di accumulo.

L'accumulo fotovoltaico ha un funzionamento dinamico; nel momento in cui i pannelli fotovoltaici installati producono, l'energia prodotta viene, in parte, consumata direttamente in funzione dei fabbisogni istantanei e la restante parte, quella in eccesso all'istante *i-esimo*, viene immagazzinata dall'accumulatore di energia solare; quando i pannelli non producono, invece, l'edificio preleva l'energia elettrica di cui necessita dalla batteria di accumulo, se non è sufficiente, l'impianto la preleva dalla rete elettrica.

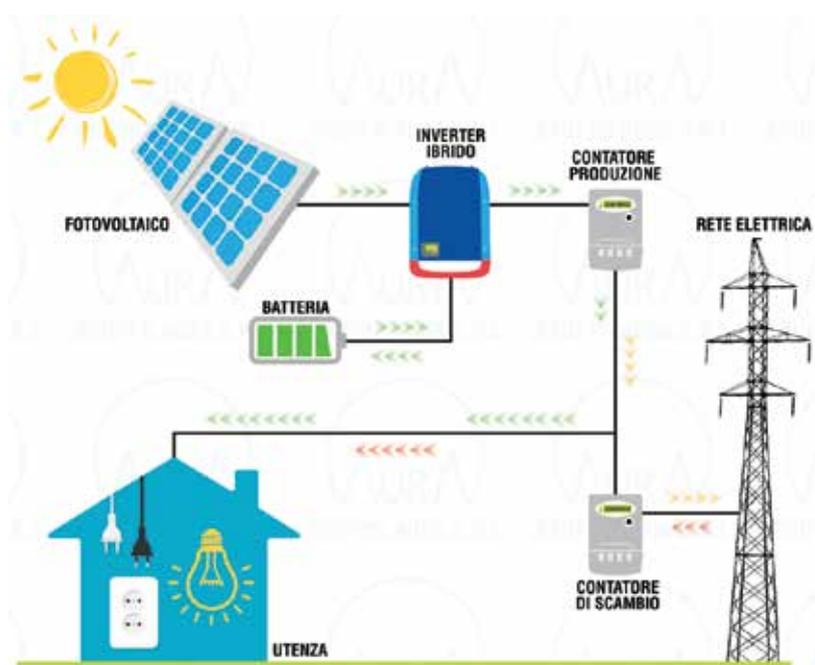


Figura 5.10 – Schema del funzionamento di un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo

L'obiettivo è quindi quello di ottenere un bilancio tra energia elettrica necessaria all'edificio durante l'anno ed energia prodotta che tenda a zero, in modo da rendere l'edificio completamente auto-sufficiente dal punto di vista energetico.

La simulazione è stata effettuata considerando un impianto fotovoltaico tradizionale senza batterie di accumulo, assumendo un pannello fotovoltaico con medie prestazioni, ed è stata analizzata la produzione mensile di energia elettrica dei pannelli potenzialmente installabili sopra la copertura dell'edificio, considerando gli ombreggiamenti reali dovuti alla presenza degli edifici condominiali adiacenti all'ex Biblioteca.

È stato preso in considerazione, ai fini della simulazione di una possibile integrazione di un sistema fotovoltaico, un pannello con le seguenti caratteristiche:

- dimensioni: 1650 x 990 x 35 mm
- 60 celle in silicio policristallino
- potenza di picco del modulo: 280 W
- efficienza del modulo: 17,4%

In figura Figura 5.11 è rappresentata l'ipotesi di disposizione in copertura dei pannelli fotovoltaici sopra descritti; in particolare si è ipotizzato di installarli sulla copertura di maggiore altezza, in modo da non avere ombreggiamenti dati dall'edificio stesso; tale copertura, con una superficie di circa 64 m², permette l'installazione di 34 pannelli, per una potenza complessiva di 9520 W.

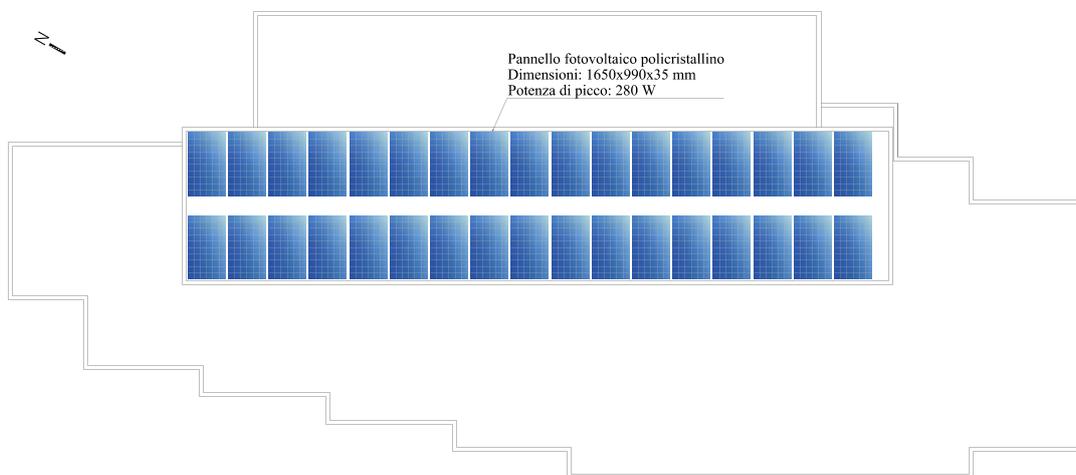


Figura 5.11 – Ipotesi di disposizione dei moduli fotovoltaici in copertura

I pannelli devono essere installati orizzontalmente, con angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale pari a 0° , e azimuth pari a -45° ¹.

In funzione delle coordinate geografiche del sito, e quindi dell'irradiazione mensile, della potenza di picco installata, degli angoli di inclinazione e di azimuth, e degli ombreggiamenti reali dovuti alla presenza degli edifici condominiali adiacenti all'ex Biblioteca è possibile determinare la produzione mensile massima di energia elettrica, riportata in Tabella 5.6 e graficizzata in Figura 5.12 e Figura 5.13.

Tabella 5.6 – Valori mensili di energia prodotta dal sistema di pannelli fotovoltaici e di irradianza solare

| Mese | E_{pv} | $E_{el,pv,out}$ |
|---------------|-----------------------|-----------------|
| | [kWh/m ²] | [kWh] |
| gennaio | 27,7 | 198 |
| febbraio | 40,6 | 290 |
| marzo | 82,3 | 588 |
| aprile | 118,7 | 848 |
| maggio | 157,1 | 1122 |
| giugno | 179,1 | 1279 |
| luglio | 191,8 | 1369 |
| agosto | 155,3 | 1109 |
| settembre | 102,9 | 735 |
| ottobre | 52,1 | 372 |
| novembre | 28,6 | 204 |
| dicembre | 23,7 | 169 |
| TOTALI | 1160 | 8282 |

dove:

E_{pv} : irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico;

$E_{el,pv,out}$: energia elettrica mensile prodotta.

¹ L'azimuth, o orientamento, è l'angolo dei moduli fotovoltaici rispetto alla direzione Sud. -90° è Est, 0° è Sud e 90° è Ovest

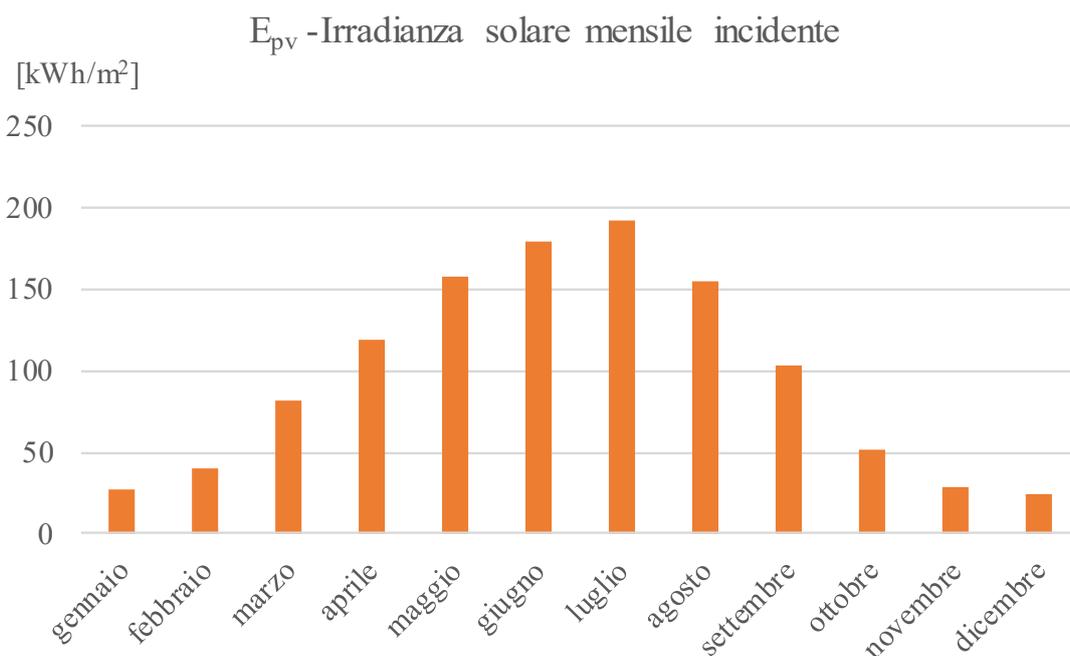


Figura 5.12 – Irradianza solare mensile incidente sui pannelli fotovoltaici

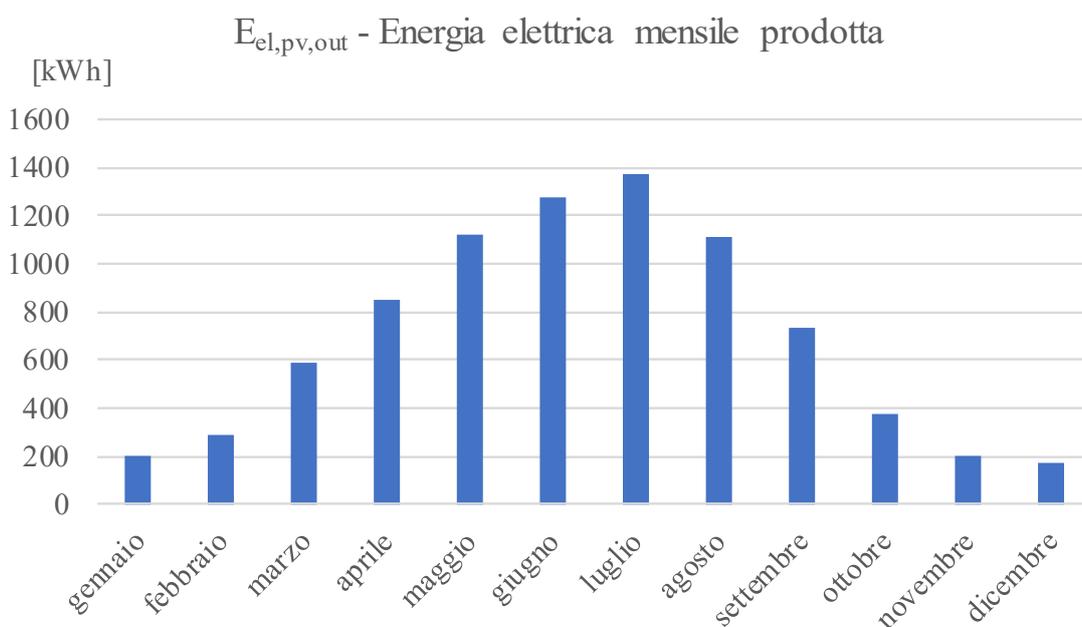


Figura 5.13 – Produzione mensile di energia elettrica

La Tabella 5.7 riporta, a intervalli mensili, la produzione di energia elettrica in sito tramite impianto fotovoltaico, e l'energia elettrica necessaria al funzionamento degli impianti e al servizio di illuminazione dell'edificio, graficizzati in Figura 5.14. Nella stessa tabella sono indicate anche le quote di energia elettrica prodotta in sito utilizzata dall'edificio e quella che deve essere prelevata dalla rete per sopperire all'intero fabbisogno, nel caso di impianto fotovoltaico tradizionale senza sistema di accumulo. Considerando l'intero

anno in esame, si ottiene una copertura totale annua pari al 38,2%.

Ipotizzando l'integrazione dell'impianto fotovoltaico con un sistema di accumulo che permetta di utilizzare tutta l'energia elettrica prodotta in sito annualmente, pari a 8282 kWh, la copertura dei fabbisogni con fonte rinnovabile aumenterebbe al 65 %.

Tabella 5.7 – Dettaglio mensile di energia elettrica prodotta in sito e fabbisogno di energia elettrica dell'edificio

| Mese | Q_{fv} | Q_{el} | Copertura | E.E. da rete | E.E. non consumata |
|---------------|-------------|--------------|-----------|--------------|--------------------|
| | [kWh] | [kWh] | [%] | [kWh] | [kWh] |
| gennaio | 198 | 2084 | 9,5 | 1886 | 0 |
| febbraio | 290 | 1674 | 17,3 | 1384 | 0 |
| marzo | 588 | 1470 | 40,0 | 882 | 0 |
| aprile | 848 | 881 | 96,2 | 34 | 0 |
| maggio | 1122 | 453 | 100,0 | 0 | 669 |
| giugno | 1279 | 438 | 100,0 | 0 | 840 |
| luglio | 1369 | 453 | 100,0 | 0 | 917 |
| agosto | 1109 | 453 | 100,0 | 0 | 656 |
| settembre | 735 | 438 | 100,0 | 0 | 297 |
| ottobre | 372 | 952 | 39,0 | 581 | 0 |
| novembre | 204 | 1567 | 13,0 | 1362 | 0 |
| dicembre | 169 | 1964 | 8,6 | 1795 | 0 |
| TOTALI | 8283 | 12827 | | 7924 | 3379 |

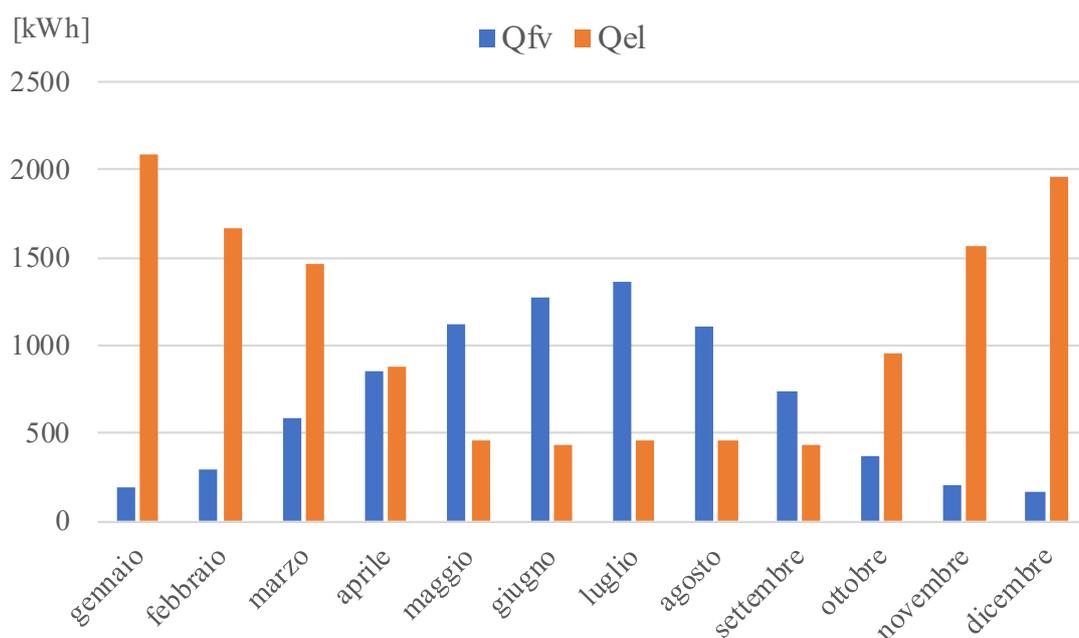


Figura 5.14 – Confronto mensile tra energia elettrica prodotta in sito e fabbisogno

5.4 *Confronto delle prestazioni energetiche delle due proposte progettuali*

5.4.1 *Riferimenti normativi e procedura di calcolo*

La valutazione delle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto è stata svolta secondo le seguenti parti della norma UNI/TS 11300 *Prestazioni energetiche degli edifici*:

- Parte 1:2014 - Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale;
- Parte 2:2019 - Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l'illuminazione in edifici non residenziali;
- Parte 4:2016 - Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria;
- Parte 5:2016 - Calcolo dell'energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili.

Il calcolo dei fabbisogni di energia termica ed energia primaria viene effettuato, su base mensile, tramite la soluzione del bilancio energetico del sistema edificio-impianto che prende in considerazione i termini indicati nel seguente schema esemplificativo. La valutazione dell'edificio in esame, trattandosi di un caso di ristrutturazione di un edificio esistente, è stata effettuata secondo la procedura di valutazione A2.

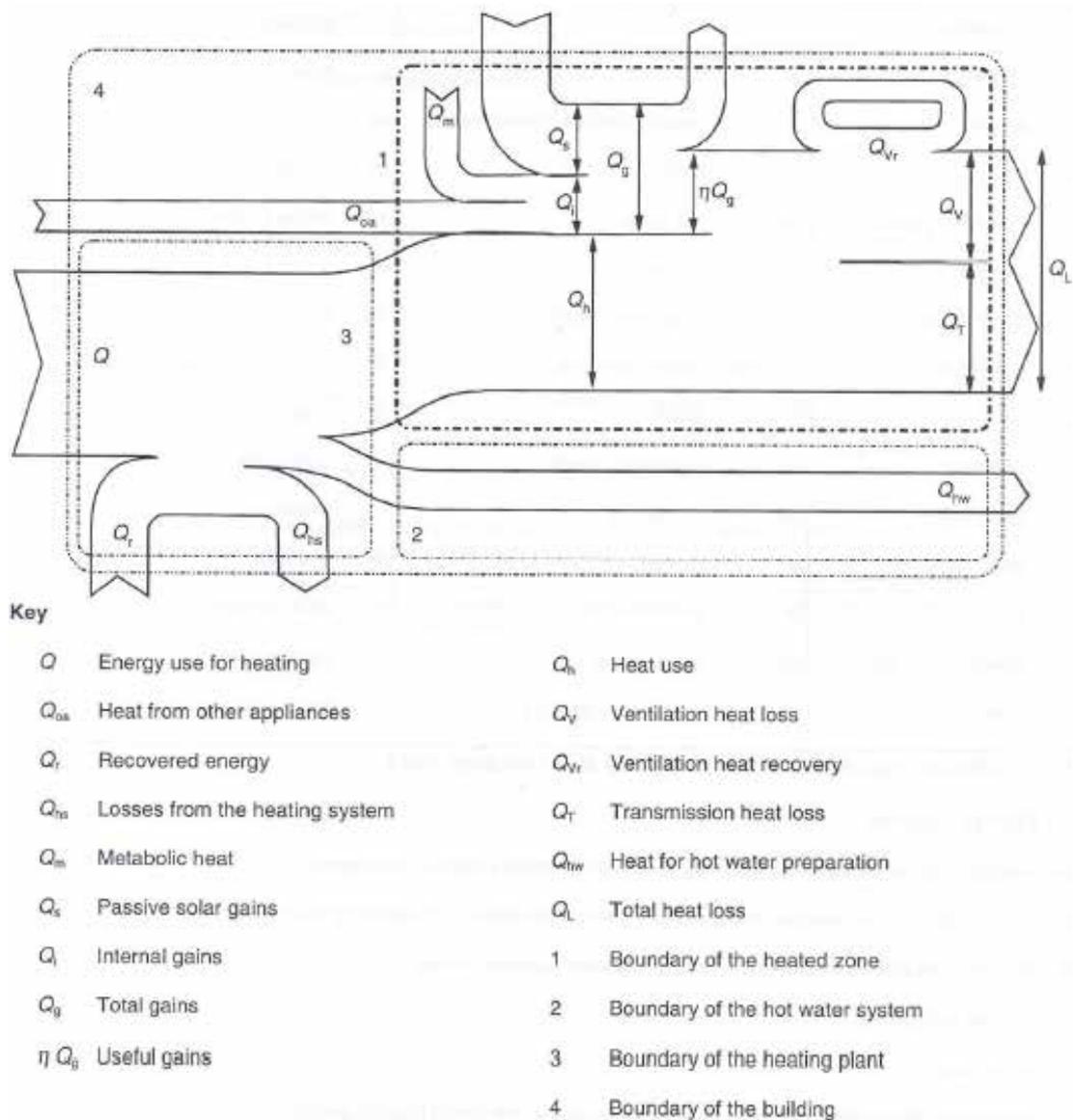


Figura 5.15 – Principali termini del bilancio energetico dell'edificio

5.4.2 Fabbisogno di energia termica utile e prestazioni energetiche

Il calcolo dei fabbisogni di energia termica utile richiesta dall'edificio, è stata calcolata secondo quanto indicato dalla norma UNI 11300-1:2008 in funzione della stagione di riscaldamento convenzionale, che, in zona climatica E dentro cui ricade il Comune di Beinasco, va dal 15 ottobre al 15 aprile. Di seguito sono riportati anche i risultati di energia termica utile per il raffrescamento, ma solo a titolo esaustivo, dal momento che per quanto riguarda l'impianto di

raffrescamento è stata effettuata al momento solo una predisposizione per una sua futura realizzazione.

La Tabella 5.8 e la Tabella 5.9, rispettivamente per la stagione invernale ed estiva, riportano le temperature medie mensili utilizzate per il calcolo dei fabbisogni di energia termica utile e i giorni del mese per cui è stata effettuata la valutazione del fabbisogno, funzione quindi della stagione di riscaldamento suddetta.

Tabella 5.8 – Temperature esterne medie e numero di giorni mensili della stagione di riscaldamento

| Descrizione | u.m. | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|
| Temperatura | °C | 1,1 | 3 | 8,2 | 11 | - | - | - | - | - | 10,8 | 6,7 | 2,5 |
| N° giorni | - | 31 | 28 | 31 | 15 | - | - | - | - | - | 17 | 30 | 31 |

Tabella 5.9 – Temperature esterne medie e numero di giorni mensili della stagione estiva

| Descrizione | u.m. | Gen | Feb | Mar | Apr | Mag | Giu | Lug | Ago | Set | Ott | Nov | Dic |
|-------------|------|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|
| Temperatura | °C | - | - | - | 13,2 | 17,9 | 22 | 23,5 | 22,5 | 19 | 13,9 | - | - |
| N° giorni | - | - | - | - | 17 | 31 | 30 | 31 | 31 | 30 | 14 | - | - |

In Tabella 5.10 e Tabella 5.11 sono riportati rispettivamente I risultati del fabbisogno termico totale dell'edificio nella stagione invernale $Q_{H,nd}$ e nella stagione estiva $Q_{C,nd}$ ricavati dal bilancio tra perdite per trasmissione e ventilazione e guadagni interni e solari, tenendo conto dei fattori di utilizzazione $\eta_{H,gn}$ (per gli apporti in inverno) e $\eta_{C,ht}$ (per le dispersioni in estate).

Tabella 5.10 – Dispersioni, apporti e fabbisogni di energia termica utile nella stagione invernale

| Mese | $Q_{H,tr}$ | $Q_{H,r}$ | $Q_{H,ve}$ | $Q_{H,ht}$ | $Q_{sol,k,w}$ | Q_{int} | Q_{gn} | $Q_{H,nd}$ |
|---------------|--------------|------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|--------------|
| | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Ottobre | 873 | 61 | 521 | 1454 | 273 | 444 | 718 | 778 |
| Novembre | 2379 | 108 | 1325 | 3813 | 255 | 784 | 1039 | 2786 |
| Dicembre | 3272 | 130 | 1802 | 5204 | 212 | 811 | 1022 | 4187 |
| Gennaio | 3526 | 141 | 1946 | 5613 | 253 | 811 | 1064 | 4554 |
| Febbraio | 2804 | 132 | 1581 | 4517 | 378 | 732 | 1110 | 3417 |
| Marzo | 2025 | 139 | 1215 | 3379 | 632 | 811 | 1442 | 1995 |
| Aprile | 699 | 79 | 449 | 1227 | 359 | 392 | 751 | 548 |
| Totali | 15578 | 790 | 8839 | 25207 | 2362 | 4785 | 7146 | 18265 |

Tabella 5.11 – Dispersioni, apporti e fabbisogni di energia termica utile nella stagione estiva

| Mese | $Q_{C,tr}$ | $Q_{C,r}$ | $Q_{C,ve}$ | $Q_{C,ht}$ | $Q_{sol,k,w}$ | Q_{int} | Q_{gn} | $Q_{C,nd}$ |
|---------------|-------------|-------------|-------------|--------------|---------------|-------------|-------------|-------------|
| | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh] |
| Aprile | 1182 | 106 | 722 | 2010 | 406 | 444 | 851 | 1 |
| Maggio | 1235 | 176 | 834 | 2245 | 834 | 811 | 1645 | 51 |
| Giugno | 409 | 190 | 399 | 997 | 910 | 784 | 1695 | 706 |
| Luglio | 109 | 223 | 257 | 589 | 990 | 811 | 1800 | 1211 |
| Agosto | 339 | 161 | 360 | 861 | 867 | 811 | 1677 | 820 |
| Settembre | 1037 | 143 | 698 | 1878 | 710 | 784 | 1494 | 70 |
| Ottobre | 965 | 69 | 563 | 1596 | 225 | 366 | 591 | 0 |
| Totali | 5276 | 1068 | 3833 | 10176 | 4942 | 4811 | 9753 | 2859 |

Dove:

$Q_{H,tr}$ e $Q_{C,tr}$ Energia dispersa per trasmissione;

$Q_{H,r}$ e $Q_{C,r}$ Energia dispersa per extraflusso;

$Q_{H,ve}$ e $Q_{C,ve}$ Energia dispersa per ventilazione;

$Q_{H,ht}$ e $Q_{C,ht}$ Totale energia dispersa;

$Q_{sol,k,w}$ Apporti solari attraverso gli elementi finestrati;

Q_{int} Apporti interni;

Q_{gn} Totale apporti gratuiti;

$Q_{H,nd}$ e $Q_{C,nd}$ Energia utile.

Tramite il software di calcolo Edilclima è stato possibile modellare il sistema edificio-impianto in entrambi gli scenari analizzati nei paragrafi precedenti, ottenendo i risultati di prestazioni energetiche in termini di energia primaria necessaria all'edificio e di consumi di vettori energetici, riassunti nelle tabelle seguenti. Per quanto riguarda i fattori di conversione in energia primaria, si è fatto riferimento ai valori forniti da normativa per quanto riguarda l'energia elettrica, mentre per il servizio di teleriscaldamento sono stati utilizzati i valori dichiarati dal gestore del servizio per la Regione Piemonte, ossia Iren. Tali valori sono riportati in Tabella 5.12.

Tabella 5.12 – Fattori di conversione dell'energia primaria

| Vettore energetico | $f_{p,nren}$ | $f_{p,ren}$ | $f_{p,tot}$ |
|--------------------|--------------|-------------|-------------|
| Teleriscaldamento | 0,945 | 0 | 0,945 |
| Energia elettrica | 1,95 | 0,47 | 2,42 |

In Tabella 5.13 e Tabella 5.15 sono riassunti i risultati dei fabbisogni di energia primaria e gli indici di prestazione energetica per ciascun servizio rispettivamente per lo scenario 1 e lo scenario 2. La Q_p e la EP riportano invece i consumi dei vettori energetici utilizzati nelle due proposte progettuali.

Tabella 5.13 – Scenario 1: fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

| Servizio | $Q_p,nren$ | Q_p,ren | Q_p,tot | $EP,nren$ | EP,ren | EP,tot |
|----------------|--------------|-------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh/m ²] | [kWh/m ²] | [kWh/m ²] |
| Riscaldamento | 16072 | 2677 | 18749 | 118,02 | 19,66 | 137,68 |
| Ventilazione | 3416 | 823 | 4240 | 25,09 | 6,05 | 31,13 |
| Illuminazione | 6983 | 1683 | 8666 | 51,27 | 12,36 | 63,63 |
| GLOBALE | 26471 | 5184 | 31655 | 194,38 | 38,07 | 232,45 |

Tabella 5.14 – Scenario 1: vettori energetici ed emissioni di CO₂

| Vettore energetico | Consumo | U.M. | CO ₂ | Servizi |
|--------------------|---------|------------|-----------------|--|
| | | | [kg/anno] | |
| Teleriscaldamento | 5252 | kWh/anno | 1576 | Riscaldamento |
| Energia elettrica | 11080 | kWhel/anno | 5074 | Riscaldamento, Ventilazione, Illuminazione |

Tabella 5.15 – Scenario 2: fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione

| Servizio | $Q_p,nren$ | Q_p,ren | Q_p,tot | $EP,nren$ | EP,ren | EP,tot |
|----------------|--------------|--------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | [kWh] | [kWh] | [kWh] | [kWh/m ²] | [kWh/m ²] | [kWh/m ²] |
| Riscaldamento | 11341 | 7626 | 18967 | 83,28 | 56 | 139,28 |
| Ventilazione | 1351 | 1385 | 2735 | 9,92 | 10,17 | 20,09 |
| Illuminazione | 2760 | 2831 | 5591 | 20,27 | 20,79 | 41,05 |
| GLOBALE | 15452 | 11841 | 27293 | 113,47 | 86,95 | 200,42 |

Scenario 2: vettori energetici ed emissioni di CO₂

| Vettore energetico | Consumo | U.M. | CO ₂ | Servizi |
|--------------------|---------|------------|-----------------|--|
| | | | [kg/anno] | |
| Energia elettrica | 7924 | kWhel/anno | 3645 | Riscaldamento, Ventilazione, Illuminazione |

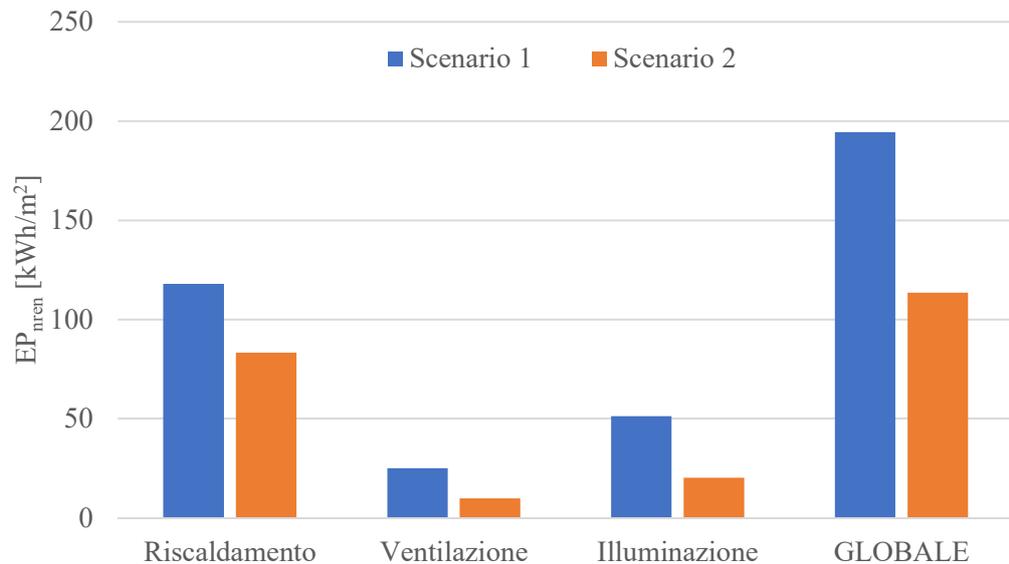


Figura 5.16 – Confronto degli indici di prestazione energetica non rinnovabile dei due scenari

La Figura 5.16 rappresenta il miglioramento dell'indice della prestazione energetica non rinnovabile dello scenario 2 (pompa di calore e impianto fotovoltaico) rispetto allo scenario 1 (teleriscaldamento). Tale risultato è prevedibile per il fatto che, rispetto al teleriscaldamento, la produzione in sito di energia elettrica da fotovoltaico ed energia termica con pompa di calore consentono di incrementare la quota di energia primaria rinnovabile.

*V. Computo metrico estimativo
e analisi economica*



6.1 *Computo metrico estimativo degli impianti meccanici: Scenario 1*

Per le due proposte progettuali sono stati determinati i costi di costruzione per quanto riguarda la parte di impianti fluido-meccanici con la redazione del computo metrico estimativo.

I lavori per la riqualificazione energetica dell'involucro, corrispondenti alla realizzazione di un cappotto interno e alla sostituzione dei componenti finestrati, non sono invece stati considerati nel presente lavoro poichè inseriti nella sezione delle opere edili.

I prezzi unitari per la redazione del computo metrico estimativo sono stati desunti dal prezzo delle Opere Pubbliche della Regione Piemonte aggiornato all'edizione dell'anno 2019, in particolar modo dalle seguenti sezioni tematiche:

- Sezione 1: Opere edili;
- Sezione 5: Impianti termici.

Il computo metrico estimativo per lo scenario di intervento 1 è stato suddiviso, per facilità di redazione e di lettura, nelle seguenti parti:

- Centrale termica e distribuzioni principali;
- Impianto a pannelli radianti a pavimento;
- Impianto di ventilazione;
- Impianto idrosanitario.

IMPIANTI MECCANICI

| N. | CODICE | DESCRIZIONE | U.M. | Q.TA' | COSTO UNITARIO | COSTO TOTALE IN OPERA |
|---|----------------|---|----------------|-------|----------------|-----------------------|
| CENTRALE TERMICA E DISTRIBUZIONI PRINCIPALI | | | | | | |
| 1 | 05.P59.S40.005 | Valvola di sicurezza a membrana, omologata inail (ex ispesl) Diametro 1/2" | cad | 1 | € 33,64 | € 33,64 |
| 2 | 05.P60.E80.005 | Termostato ad immersione e riarmo manuale | cad | 2 | € 42,44 | € 84,88 |
| 3 | 05.P59.G00.015 | Termometro bimetallico con quadrante fino a mm. 65, scala fino a 110 °C A immersione | cad | 2 | € 14,59 | € 29,18 |
| 4 | 05.P57.E90.005 | Pozzetto termometrico ottone conforme specifica inail (e x ispesl) 1/2x50 | cad | 1 | € 1,95 | € 1,95 |
| 5 | 05.P59.I95.005 | Manometro per acqua con custodia in acciaio stampato, completo di lancetta di riferimento, attacco radiale, 6 ate, conforme inail (ex ispesl). Diametro 80 | cad | 1 | € 11,60 | € 11,60 |
| 6 | 05.P59.F30.005 | Pressostato di blocco a taratura fissa per impianti a circuito chiuso con riarmo manuale | cad | 1 | € 31,36 | € 31,36 |
| 7 | 05.P59.F20.005 | Pressostato a soffietto a riarmo manuale Campo 0,2 - 2,0 kg/cmq. | cad | 1 | € 131,45 | € 131,45 |
| 8 | 05.P59.D40.030 | Vaso espansione per circuito chiuso a membrana a carica di azoto Da litri 35 | cad | 1 | € 107,64 | € 107,64 |
| 9 | 05.P59.S50.005 | Valvola di sicurezza a scarico termico, in bronzo completa di microinterruttore, a riarmo manuale, ad azione positiva, omologata inail (ex ispesl) Diametro 1" | cad | 1 | € 95,01 | € 95,01 |
| 10 | 05.P67.D10.010 | Tubi in ferro nero mannesmann, compreso le staffe di sostegno, giunzioni e saldatura autogena, opere murarie, verniciatura, ripristini. Per diam sino a 2" | kg | 70 | € 3,80 | € 266,00 |
| 11 | 05.P57.D00.015 | Provvista e posa in opera di rivestimento isolante coibente di tubazioni eseguito con guaina tipo armaflex avente caratteristiche fisico tecniche e comportamento Per diam sino a 60 mm | m | 40 | € 4,43 | € 177,20 |
| 12 | 05.P67.E50.005 | Valvolame a sfera in ottone, filettato, a 2 vie completo di manometro riduttore di pressione, valvola di ritegno, valvole a sfera, filtro. Diam 1/2" | mm | 800 | € 1,70 | € 1.360,00 |
| 13 | 05.P59.P80.010 | Filtro completo di cartuccia con testata in bronzo Fino a 1" | cad | 1 | € 61,48 | € 61,48 |
| 14 | 05.P65.B70.005 | Addolcitore d'acqua a rigenerazione automatica a tempo, a scambio di base, completo di ogni accessorio d'uso, capacita' scambio mc/grad f. Portata sino 74/2000 | cad | 1 | € 905,62 | € 905,62 |
| 15 | 05.P65.A10.005 | Addolcitore d'acqua aumento sui prezzi degli art. 65a10-65a20-65a30 per posa in opera | 25% | | | € 226,41 |
| 16 | 05.P75.A10.005 | Dosatore di polifosfato Portata fino a 2,5 mc/h | cad | 1 | € 348,80 | € 348,80 |
| 17 | 05.P65.B50.005 | Contatore elettronico di energiatermica completo di sonde, misuratore di volume, alimentazione | cad | 2 | € 454,37 | € 908,74 |
| 18 | 05.P67.E50.005 | Valvola miscelatrice a 3 vie, attacchi filettati Diametro 1"1/4 | cad | 2 | € 130,42 | € 260,84 |
| 19 | 05.P59.Q00.020 | Circolatori sino a 500 W | cad | 2 | € 322,00 | € 644,00 |
| 20 | 05.P61.A10.015 | Posa in opera circolatori, elettropompe e motori elettrici compreso opere murarie per eventuale basamento aumento sui prezzi degli art. dal 61a10 al 61c40. Maggiorazione del costo unitario del codice 05.P61.A10.015 | 20% | | | € 128,80 |
| 21 | 05.P71.L30.005 | | | | | € 128,80 |
| TOTALE CENTRALE TERMICA E DISTRIBUZIONI PRINCIPALI | | | | | | € 6.061,97 |
| IMPIANTO A PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO | | | | | | |
| 22 | 03.P13.C01.020 | Sistema radiante a pavimento costituito da tubi flessibili in polietilene ad alta densità reticolato con barriera antiossigeno diametro mm 17x2, alloggiati su pannelli isolanti in polistirene espanso sagomato spessore isolante mm 30, inclusi graffe, strisce isolanti di bordo, additivo termofluidificante pari a circa 0,2 litri/m ² , rete elettrosaldata antiritiro diametro filo 2mm | m ² | 128 | € 35,20 | € 4.505,60 |
| 23 | 03.A12.C01.005 | Posa in opera di sistema a pavimento radiante con pannelli in polistirene: posa cornice perimetrale, posa, accoppiamento e taglio dei pannelli isolanti, stesura della tubazione, stesura e fissaggio della rete elettrosaldata antiritiro, addizionamento del fluido termofluidificante all'impasto di calcestruzzo per il massetto. Maggiorazione del costo unitario del codice 03.P13.C01.020 | 25% | | | € 1.126,40 |
| 24 | 03.P13.C09.015 | Sistema a pavimento radiante. Collettore di distribuzione preassemblato in ottone per impianti a pannelli radianti, dotato di valvole di intercettazione predisposte per comando elettrotermico, detentori micrometrici, gruppi di sfi ato e scarico impianto, staff e, raccordi per tubo in polietilene, provvisto di termometri e di misuratori di portata. a 8 circuiti | cad | 1 | € 462,52 | € 462,52 |
| 25 | 03.P13.C09.020 | a 10 circuiti | cad | 1 | € 520,74 | € 520,74 |
| TOTALE IMPIANTO A PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO | | | | | | € 6.615,26 |
| IMPIANTO VENTILAZIONE | | | | | | |
| 26 | 05.P73.C60.005 | Provvista e posa in opera di sezione di ventilazione a pale avanti in lamiera di acciaio zincata irrobustita da elementi strutturali in acciaio escluso motore, completa di bacino, velocità' aria sulla superfi cie frontale 3 m/s: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 2 | € 2.183,85 | € 4.367,70 |
| 27 | 05.P73.B50.005 | Provvista e posa in opera di recuperatore dicalore, del tipo aria-aria, con funzionamento dei fluidi in controcorrente, provvisto di pacco scambiatore in lamiera di alluminio di spaziatura 4 mm., involucro esterno in lamiera di acciaio zincato, rendimento 70-80% per portata d'aria: Fino a 2.500 mc/h | cad | 1 | € 1.771,92 | € 1.771,92 |

IMPIANTI MECCANICI

| N. | CODICE | DESCRIZIONE | U.M. | Q.TA' | COSTO UNITARIO | COSTO TOTALE IN OPERA |
|-------------------------------------|----------------|--|------|-------|----------------|-----------------------|
| 28 | 05.P73.C40.005 | Provvista e posa in opera disezione di miscelazione dell'aria completa di serrande disposte a 90 gr. C. e/o 180 gr.c. Costruita in lamiera d'acciaio zincato, isolata internamente completa di comando manuale e portello d'ispezione: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 696,55 | € 696,55 |
| 29 | 05.P73.C30.005 | Provvista e posa in opera disezione di fi ltraggio a bassa velocita' costituita da struttura in lamiera zincata completa di filtri rigenerabili condisposizione delle celle a "v" e/o a superficie ondulata completi di telaio in lamiera zincata e massa filtrante composta da fibre acriliche: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 2 | € 379,85 | € 759,70 |
| 30 | 05.P73.C20.005 | Provvista e posa in opera sezione di batteria di riscaldamento in lamiera di acciaio zincato Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 215,27 | € 215,27 |
| 31 | 05.P73.H70.010 | Provvista e posa in opera diserranda di regolazione della portata, in acciaio Di sezione circolare per diam. sino a mm. 150 | cad | 2 | € 47,51 | € 95,02 |
| 32 | 05.P73.C50.005 | Provvista e posa in opera disezione di umidifi cazione ad acqua spinta nel senso dell'aria con efficienza di saturazione fino al 68% composta da blocco base in lamiera di acciaio zincata rivestita da uno spesso strato di prodotto a base resinosa, completa di pompa e separatore di gocce: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 2.506,77 | € 2.506,77 |
| 33 | 05.P73.C10.005 | Provvista e posa in opera diseparatore di gocce costruito in lamieradi acciaio zincato a lamelle a due pieghe: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 316,70 | € 316,70 |
| 34 | 05.P59.Q60.020 | Valvola motorizzata a 2 vie, in ghisa, a stelo, attacchi a manicotto | cad | 1 | € 130,42 | € 130,42 |
| 35 | 05.P73.L00.005 | Provvista e posa in opera di: controllore umidificatore/deumidificatore modulante atto a regolare automaticamente il grado di umidificazione dell'ambiente, costituito da elemento sensibile a nastro di nylon e contatti a microinterruttore, manopola di regolazione, con campo di funzionamento 20 - 80% di u.r. Con tolleranza + o -6%, escluso collegamento elettrico | cad | 1 | € 633,42 | € 633,42 |
| 36 | 05.P61.F90.005 | Sonda di mandata o ritorno, a contatto, per regolatore elettronico. | cad | 1 | € 51,96 | € 51,96 |
| 37 | 05.P73.G10.005 | Provvista e posa in opera di canalizzazioni eseguite in lastra di schiuma rigida di polisocianato autoestinguente, dello spessore di 20 mm e della densita' non inferiore a 45 kg/mc, interposta a lamierino di alluminio goffrato dello spessore minimo di 80 micron, compreso materiali di consumo ed eventuali pezzi speciali | mq | 18 | € 31,05 | € 558,90 |
| 38 | 05.P73.F30.010 | Provvista e posa in opera di bocchetta normale mandata aria ad alette orientabili, in acciaio verniciato a fuoco, completa di serrandina di regolazione: Aria frontale da dmq. 1.41 a 2 | dmq | 58 | € 16,87 | € 978,46 |
| 39 | 05.P73.F40.015 | Provvista e posa in opera di bocchetta ripresa aria a semplice ordine di alette in lamiera i.c.s.: Aria frontale oltre dmq. 2.01 | dmq | 50 | € 12,94 | € 647,00 |
| 40 | 05.P73.F50.005 | Provvista e posa in opera di bocchette di transito in alluminio con cornice perimetrale o controltelaio | dmq | 20 | € 7,59 | € 151,80 |
| TOTALE IMPIANTO VENTILAZIONE | | | | | | € 13.881,59 |
| IMPIANTO IDROSANITARIO | | | | | | |
| 41 | 01.A19.H05.005 | Formazione di punto di adduzione acqua calda e/o fredda eseguito con impiego di tubazioni in metal-plastico multistrato tipo geberit e raccorderia in ottone, per alimentazione punti acqua isolati o apparecchi igienico sanitari di qualsiasi natura e dimensione ivi compreso le vaschette di cacciata. Il prezzo comprende le seguenti lavorazioni: esecuzione di tutte le opere murarie occorrenti ivi compreso le tracce a muro e relativi ripristini murari, incluse le provviste ed i mezzi d'opera occorrenti; opere da idraulico, incluse tutte le provviste ed i mezzi d'opera occorrenti; prova idraulica di tenuta prima del ripristino della muratura; sgombero e trasporto del materiale di risulta ad impianto di smaltimento autorizzato | cad | 1 | € 226,81 | € 226,81 |
| 42 | 01.P22.C89.015 | Valvole a sfera in acciaio al carbonio e inox con attacchi filettati. Corpo in acciaio al carbonio, manicotto in acciaio inox stelo in acciaio inox, sfera in acciaio inox. Diametro nominale DN 20 | cad | 4 | € 7,46 | € 29,84 |
| 43 | 01.A19.H25.005 | Formazione di rete di scarico per apparecchi igienico sanitari tipo lavelli, lavandini, lavabo, pilozzi, lavatoi, bidet e similari, comprensivo di tutte le forniture e i mezzi d'opera occorrenti sia relativamente alle opere da idraulico che quelle edili. la tubazione dovrà essere realizzata con impiego di manufatti tipo Geberit - PE diametri mm 40/46 - 50/56, incluse le occorrenti saldature ed i collari di fissaggio alla struttura di ancoraggio ed ogni prestazione d'opera occorrente per dare l'impianto perfettamente funzionante e pronto all'allacciamento all'apparecchio sanitario di riferimento. | cad | 1 | € 186,47 | € 186,47 |
| 44 | 01.A19.H35.005 | Formazione di rete di scarico per vasi a sedile o alla turca, comprensivo di cucchiaini, braga, tubo, giunto a T con tappo a vite per ispezione, curva aperta per innesto nella colonna di discesa, manicotti, riduzioni, ecc., in polietilene tipo Geberit - PE, comprensivo di tutte le lavorazioni, forniture e mezzi d'opera occorrenti, sia relativi alle opere da muratore che da idraulico per dare l'impianto perfettamente funzionante e pronto alla posa del vaso a sedile. Il prezzo comprende le seguenti lavorazioni: esecuzione di tutte le opere murarie occorrenti, ivi compreso le rotture e relativi ripristini murari, incluse le provviste ed i mezzi d'opera occorrenti; opere da idraulico, incluse tutte le lavorazioni, provviste ed i mezzi d'opera occorrenti. distanza massima tra il collegamento dell'apparecchio igienico sanitario e la colonna o rete principale di scarico non superiore a m 3. | cad | 2 | € 256,68 | € 513,36 |
| 45 | 01.P08.G00.040 | Tubi in polietilene duro tipo Geberit - PE diametro mm 125 | m | 30,00 | € 6,80 | € 204,00 |

| IMPIANTI MECCANICI | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|-------------|------|-------|----------------|-----------------------|
| N. | CODICE | DESCRIZIONE | U.M. | Q.TA' | COSTO UNITARIO | COSTO TOTALE IN OPERA |
| TOTALE IMPIANTO IDROSANITARIO | | | | | | € 1.160,48 |
| TOTALE IMPIANTI MECCANICI | | | | | | € 27.719,30 |

6.2 *Computo metrico estimativo degli impianti meccanici: Scenario 2*

I prezzi unitari per la redazione del computo metrico estimativo sono stati desunti dal prezzo delle Opere Pubbliche della Regione Piemonte aggiornato all'edizione dell'anno 2019, in particolar modo dalle seguenti sezioni tematiche:

- Sezione 1: Opere edili;
- Sezione 3: Edilizia sostenibile;
- Sezione 5: Impianti termici.

Il computo metrico estimativo per lo scenario di intervento 2 è articolato nelle seguenti parti:

- Centrale termica e distribuzioni principali;
- Impianto a pannelli radianti a pavimento;
- Impianto di ventilazione;
- Impianto idrosanitario;
- Impianto fotovoltaico.

IMPIANTI MECCANICI

| N. | CODICE | DESCRIZIONE | U.M. | Q.TA' | COSTO UNITARIO | COSTO TOTALE IN OPERA |
|---|----------------|--|------|-------|----------------|-----------------------|
| CENTRALE TERMICA E DISTRIBUZIONI PRINCIPALI | | | | | | |
| 1 | 05.P59.C05.005 | Pompa di calore con serbatoio dell'acqua protetto dalla corrosione da doppio rivestimento di "tectan", con evaporatore toroidale avente una grande superficie di scambio sull'estrazione dell'aria ambiente, con condensatore in acciaio al cromo, con scambiatore per caldaia in acciaio al cromo; rivestimento totale con schiuma di poliuretano. produzione di acqua calda con prelievo istantaneo dopo la messa in temperatura lt 305- 420, continuativo/giorno lt 2000 - 2200 Lt 305 prelievo istant.dopo la messa in temper. | cad | 1 | € 3.431,03 | € 3.431,03 |
| 2 | 05.P69.B05.005 | Provvista e posa in opera pompa di calore con serbatoio dell'acqua protetto dalla corrosione da doppio rivestimento di "tectan", con evaporatore toroidale avente una grande superficie di scambio sull'estrazione dell'aria ambiente, con condensatore in acciaio al cromo, con scambiatore per caldaia in acciaio al cromo; rivestimento totale con schiuma di poliuretano. Produzione di acqua calda con prelievo istantaneo dopo la messa in temperatura lt 305-420, continuativo/giorno lt 2000 - 2200, data completa in ogni sua parte e funzionante Lt 305 prelievo istant.dopo la messa in temper. | cad | 1 | € 4.144,00 | € 4.144,00 |
| 3 | 05.P59.D40.030 | Vaso espansione per circuito chiuso a membrana a carica di azoto Da litri 35 | cad | 1 | € 107,64 | € 107,64 |
| 4 | 05.P67.D10.010 | Tubi in ferro nero mannesmann, compreso le staffe di sostegno, giunzioni e saldatura autogena, opere murarie, verniciatura, ripristini. Per diam sino a 2" | kg | 70 | € 3,80 | € 266,00 |
| 5 | 05.P57.D00.015 | Provvista e posa in opera di rivestimento isolante coibente di tubazioni eseguito con guaina tipo armafex avente caratteristiche fisico tecniche e comportamento Per diam sino a 60 mm | m | 40 | € 4,43 | € 177,20 |
| 6 | 05.P67.E50.005 | Valvolame a sfera in ottone, filettato, a 2 vie | mm | 800 | € 1,70 | € 1.360,00 |
| 7 | 05.P59.P80.010 | Valvola di riempimento automatico per impianti acircuito chiuso con gruppo completo di manometro riduttore di pressione, valvola di ritegno, valvole a sfera, filtro. Diam 1/2" | cad | 1 | € 61,48 | € 61,48 |
| 8 | 05.P65.B70.005 | Filtro completo di cartuccia con testata in bronzo Fino a 1" | cad | 1 | € 247,37 | € 247,37 |
| 9 | 05.P65.A10.005 | Addolcitore d'acqua a rigenerazione automatica a tempo, a scambio di base, completo di ogni accessorio d'uso, capacita' scambio mc/grad f. Portata sino 74/2000 | cad | 1 | € 905,62 | € 905,62 |
| 10 | 05.P75.A10.005 | Addolcitore d'acqua aumento sui prezzi degli art. 65a10-65a20-65a30 per posa in opera | 25% | | | € 226,41 |
| 11 | 05.P65.B50.005 | Dosatore di polifosfato Portata fino a 2,5 mc/h | cad | 1 | € 348,80 | € 348,80 |
| 12 | 05.P67.E50.005 | Contatore elettronico di energiatermica completo di sonde, misuratore di volume, alimentazione | cad | 2 | € 454,37 | € 908,74 |
| 13 | 05.P59.Q00.020 | Valvola miscelatrice a 3 vie, attacchi filettati Diametro 1"1/4 | cad | 2 | € 130,42 | € 260,84 |
| 14 | 05.P61.A10.015 | Circolatori sino a 500 W | cad | 2 | € 322,00 | € 644,00 |
| 15 | 05.P71.L30.005 | Posa in opera circolatori, elettropompe e motori elettrici compreso opere murarie per eventuale basamento aumento sui prezzi degli art. dal 61a10 al 61c40. Maggiorazione del costo unitario del codice 05.P61.A10.015 | 20% | | | € 128,80 |
| TOTALE CENTRALE TERMICA E DISTRIBUZIONI PRINCIPALI | | | | | | € 13.217,93 |
| IMPIANTO A PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO | | | | | | |
| 16 | 03.P13.C01.020 | Sistema radiante a pavimento costituito da tubi flessibili in polietilene ad alta | m² | 128 | € 35,20 | € 4.505,60 |
| 17 | 03.A12.C01.005 | Posa in opera di sistema a pavimento radiante con pannelli in polistirene: posa cornice perimetrale, posa, accoppiamento e taglio dei pannelli isolanti, stesura della tubazione, stesura e fissaggio della rete elettrosaldata antiritiro, addizionamento del fluido termofluidificante all'impasto di calcestruzzo per il massetto. Maggiorazione del costo unitario del codice 03.P13.C01.020 | 25% | | | € 1.126,40 |
| 18 | 03.P13.C09.015 | Sistema a pavimento radiante. Collettore di distribuzione preassemblato in ottone per impianti a pannelli radianti, dotato di valvole di intercettazione predisposte per comando elettrotermico, detentori micrometrici, gruppi di sfi ato e scarico impianto, staff e, raccordi per tubo in polietilene, provvisto di termometri e di misuratori di portata. a 8 circuiti | cad | 1 | € 462,52 | € 462,52 |
| 19 | 03.P13.C09.020 | a 10 circuiti | cad | 1 | € 520,74 | € 520,74 |
| TOTALE IMPIANTO A PANNELLI RADIANTI A PAVIMENTO | | | | | | € 6.615,26 |
| IMPIANTO VENTILAZIONE | | | | | | |
| 20 | 05.P73.C60.005 | Provvista e posa in opera di sezione di ventilazione a pale avanti in lamiera di acciaio zincata irrobustita da elementi strutturali in acciaio escluso motore, completa di bacino, velocita' aria sulla superfcie frontale 3 m/s: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 2 | € 2.183,85 | € 4.367,70 |
| 21 | 05.P73.B50.005 | Provvista e posa in opera di recuperatore dicalore, del tipo aria-aria, con funzionamento dei fluidi in controcorrente, provvisto di pacco scambiatore in lamiera di alluminio di spaziatura 4 mm., involucro esterno in lamiera di acciaio zincato, rendimento 70-80% per portata d'aria: Fino a 2.500 mc/h | cad | 1 | € 1.771,92 | € 1.771,92 |
| 22 | 05.P73.C40.005 | Provvista e posa in opera disezione di miscelazione dell'aria completa di serrande disposte a 90 gr. C. e/o 180 gr.c. Costruita in lamiera d'acciaio zincato, isolata internamente completa di comando manuale e portello Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 696,55 | € 696,55 |

IMPIANTI MECCANICI

| N. | CODICE | DESCRIZIONE | U.M. | Q.TA' | COSTO UNITARIO | COSTO TOTALE IN OPERA |
|-------------------------------------|----------------|--|------|-------|----------------|-----------------------|
| 23 | 05.P73.C30.005 | Provvista e posa in opera disezione di fi ltraggio a bassa velocita' costituita da struttura in lamiera zincata completa di filtri rigenerabili condposizione delle celle a "v" e/o a superficie ondulata completi di telaio in lamiera zincata e massa filtrante composta da fibre acriliche: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 2 | € 379,85 | € 759,70 |
| 24 | 05.P73.C20.005 | Provvista e posa in opera sezione di batteria di riscaldamento in lamiera di acciaio zincato escluso radiatori: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 215,27 | € 215,27 |
| 25 | 05.P73.H70.010 | Provvista e posa in opera diserranda di regolazione della portata, in acciaio verniciato: Di sezione circolare per diam. sino a mm. 150 | cad | 2 | € 47,51 | € 95,02 |
| 26 | 05.P73.C50.005 | Provvista e posa in opera disezione di umidifi cazione ad acqua spinta nel senso dell'aria con efficienza di saturazione fino al 68% composta da blocco base in lamiera di acciaio zincata rivestita da uno spesso strato di prodotto a base resinosa, completa di pompa e separatore di gocce: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 2.506,77 | € 2.506,77 |
| 27 | 05.P73.C10.005 | Provvista e posa in opera diseparatore di gocce costruito in lamieradi acciaio zincato a lamelle a due pieghe: Portata fino a 5.000 mc/h | cad | 1 | € 316,70 | € 316,70 |
| 28 | 05.P59.Q60.020 | Valvola motorizzata a 2 vie, in ghisa, a stelo, attacchi a manicotto | cad | 1 | € 130,42 | € 130,42 |
| 29 | 05.P73.L00.005 | Provvista e posa in opera di: controllore umidificatore/deumidificatore modulante atto a regolare automaticamente il grado di umidificazione dell'ambiente, costituito da elemento sensibile a nastro di nylon e contatti a microinterruttore, manopola di regolazione, con campo di funzionamento 20 - 80% di u.r. Con tolleranza + o -6%, escluso collegamento elettrico | cad | 1 | € 633,42 | € 633,42 |
| 30 | 05.P61.F90.005 | Sonda di mandata o ritorno, a contatto, per regolatore elettronico. | cad | 1 | € 51,96 | € 51,96 |
| 31 | 05.P73.G10.005 | Provvista e posa in opera di canalizzazioni eseguite in lastra di schiuma rigida di poliisocianato autoestinguente, dello spessore di 20 mm e della densita' non inferiore a 45 kg/mc, interposta a lamierino di alluminio gofrato dello spessore minimo di 80 micron, compreso materiali di consumo ed eventuali pezzi speciali | mq | 18 | € 31,05 | € 558,90 |
| 32 | 05.P73.F30.010 | Provvista e posa in opera di bocchetta normale mandata aria ad alette orientabili, in acciaio verniciato a fuoco, completa di serrandina di regolazione: Aria frontale da dmq. 1.41 a 2 | dmq | 58 | € 16,87 | € 978,46 |
| 33 | 05.P73.F40.015 | Provvista e posa in opera di bocchetta ripresa aria a semplice ordine di alette in lamiera i.c.s.: Aria frontale oltre dmq. 2.01 | dmq | 50 | € 12,94 | € 647,00 |
| 34 | 05.P73.F50.005 | Provvista e posa in opera di bocchette di transito in alluminio con cornice perimetrale o controltelaio | dmq | 20 | € 7,59 | € 151,80 |
| TOTALE IMPIANTO VENTILAZIONE | | | | | | € 13.881,59 |
| IMPIANTO IDROSANITARIO | | | | | | |
| 35 | 01.A19.H05.005 | Formazione di punto di adduzione acqua calda e/o fredda eseguito con impiego di tubazioni in metal-plastico multistrato tipo geberit e raccorderia in ottone, per alimentazione punti acqua isolati o apparecchi igienico sanitari di qualsiasi natura e dimensione ivi compreso le vaschette di cacciata. Il prezzo comprende le seguenti lavorazioni: esecuzione di tutte le opere murarie occorrenti ivi compreso le tracce a muro e relativi ripristini murari, incluse le provviste ed i mezzi d'opera occorrenti; opere da idraulico, incluse tutte le provviste ed i mezzi d'opera occorrenti; prova idraulica di tenuta prima del ripristino della muratura; sgombero e trasporto del materiale di risulta ad impianto di smaltimento autorizzato | cad | 1 | € 226,81 | € 226,81 |
| 36 | 01.P22.C89.015 | Valvole a sfera in acciaio al carbonio e inox con attacchi filettati. Corpo in acciaio al carbonio, manicotto in acciaio inox stelo in acciaio inox, sfera in acciaio inox. Diametro nominale DN 20 | cad | 4 | € 7,46 | € 29,84 |
| 37 | 01.A19.H25.005 | Formazione di rete di scarico per apparecchi igienico sanitari tipo lavelli, lavandini, lavabo, pilozzi, lavatoi, bidet e similari, comprensivo di tutte le forniture e i mezzi d'opera occorrenti sia relativamente alle opere da idraulico che quelle edili. la tubazione dovrà essere realizzata con impiego di manufatti tipo Geberit - PE diametri mm 40/46 - 50/56, incluse le occorrenti saldature ed i collari di fissaggio alla struttura di ancoraggio ed ogni prestazione d'opera occorrente per dare l'impianto perfettamente funzionante e pronto all'allacciamento all'apparecchio sanitario di riferimento. | cad | 1 | € 186,47 | € 186,47 |
| 38 | 01.A19.H35.005 | Formazione di rete di scarico per vasi a sedile o alla turca, comprensivo di cucchiaini, braga, tubo, giunto a T con tappo a vite per ispezione, curva aperta per innesto nella colonna di discesa, manicotti, riduzioni, ecc., in polietilene tipo Geberit - PE, comprensivo di tutte le lavorazioni, forniture e mezzi d'opera occorrenti, sia relativi alle opere da muratore che da idraulico per dare l'impianto perfettamente funzionante e pronto alla posa del vaso a sedile. Il prezzo comprende le seguenti lavorazioni: esecuzione di tutte le opere murarie occorrenti, ivi compreso le rotture e relativi ripristini murari, incluse le provviste ed i mezzi d'opera occorrenti; opere da idraulico, incluse tutte le lavorazioni, provviste ed i mezzi d'opera occorrenti. distanza massima tra il collegamento dell'apparecchio igienico sanitario e la colonna o rete principale di scarico non superiore a m 3. | cad | 2 | € 256,68 | € 513,36 |
| 39 | 01.P08.G00.040 | Tubi in polietilene duro tipo Geberit - PE diametro mm 125 | m | 30,00 | € 6,80 | € 204,00 |

| IMPIANTI MECCANICI | | | | | | |
|--------------------------------------|----------------|---|------|-------|----------------|-----------------------|
| N. | CODICE | DESCRIZIONE | U.M. | Q.TA' | COSTO UNITARIO | COSTO TOTALE IN OPERA |
| TOTALE IMPIANTO IDROSANITARIO | | | | | | € 1.160,48 |
| IMPIANTO FOTOVOLTAICO | | | | | | |
| 40 | 03.P14.A01.050 | Moduli fotovoltaici a struttura rigida realizzati con celle di silicio mono e poli cristallino, tensione massima di sistema 1000 V, scatola di connessione IP 65 completa di diodi di by-pass, involucro in classe II di isolamento certificato TUV con struttura sandwich: EVA, tedlar, cella, vetro temperato a basso contenuto di ferro, cornice in alluminio anodizzato, certificazione IEC 61215. Potenza di picco da Wp 105 a Wp 280 | Wp | 9520 | € 0,73 | € 6.949,60 |
| 41 | 03.A13.A01.005 | Posa in opera di moduli fotovoltaici a struttura rigida in silicio cristallino o amorfo, su struttura di sostegno modulare costituita da profilati in alluminio o acciaio, incluso cablaggio, escluso il nolo di cestello o altra attrezzatura per il trasporto su copertura Su coperture piane o su terreno, superficie installata fino a m² 100 | mq | 56 | € 81,02 | € 4.537,12 |
| 42 | 03.P14.A10.030 | Inverter monofase per impianti connessi in rete, con separazione galvanica, conversione DC/AC realizzata con tecnica PWM e ponte a IGBT, sistema MPPT, tensione di uscita 230 V, frequenza 50 Hz e distorsione armonica < 3%, efficienza > 90%, conforme a norma CEI 11-20, fattore di potenza pari a 1. Potenza nominale in AC 5 kW | cad | 2 | € 963,20 | € 1.926,40 |
| 43 | 03.A13.A03.005 | Posa in opera di inverter per impianti fotovoltaici monofase o trifase per impianti connessi in rete o in isola incluso il fissaggio a parete, collegamenti elettrici ai circuiti continuo e alternato e messa in funzione Inverter monofase | cad | 2 | € 263,67 | € 527,34 |
| TOTALE IMPIANTO FOTOVOLTAICO | | | | | | € 13.940,46 |
| TOTALE IMPIANTI MECCANICI | | | | | | € 48.815,72 |

6.3 *Analisi economica e confronto tra le due proposte progettuali*

Le due proposte progettuali di integrazione degli impianti fluido-meccanici, descritte e analizzate nei capitoli e paragrafi precedenti, si differenziano l'una dall'altra essenzialmente per il sottosistema di generazione. La prima soluzione prevede la produzione di acqua calda per l'impianto tramite l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento del Comune di Beinasco, mentre la seconda proposta considera una tipologia di generazione tramite pompa di calore aria/acqua integrata con un impianto fotovoltaico in copertura che permette di ridurre notevolmente il prelievo di energia elettrica da rete necessario.

I costi di costruzione riferiti alla fornitura e posa in opera degli impianti fluido-meccanici, calcolati nei paragrafi precedenti per i due scenari proposti, si compongono quindi di lavorazioni e componenti impiantistici comuni che rimangono invariati nelle due proposte. L'analisi economica svolta per entrambe le soluzioni prende pertanto in considerazione, come investimenti iniziali, solo le voci di computo che incidono in diversa misura sui due costi finali di costruzione, al netto delle voci invariate nei due computi metrici estimativi.

6.3.1 *Investimento iniziale*

L'analisi economica è stata svolta su un periodo di 30 anni considerando un tasso di interesse reale del 3%. In Tabella 6.1 sono indicate le quote di importo iniziale considerate nell'analisi economica.

Tabella 6.1 – Investimento iniziale per le due differenti soluzioni progettuali proposte

| <i>Soluzione</i> | <i>Inversimento iniziale</i> | <i>Invesitimento iniziale unitario</i> |
|--|------------------------------|--|
| | <i>[€]</i> | <i>[€/m²]</i> |
| Sottostazione teleriscaldamento | € 6.061,97 | |
| Allacciamento alla rete di teleriscaldamento | € 6.000,00 | |
| <i>Totale scenario 1</i> | € 12.061,97 | € 88,57 |

| <i>Soluzione</i> | <i>Inversimento iniziale</i> | <i>Investimento iniziale unitario</i> |
|---------------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| | <i>[€]</i> | <i>[€/m²]</i> |
| Pompa di calore | € 13.217,93 | |
| Impianto fotovoltaico | € 13.940,46 | |
| <i>Totale soluzione 2</i> | € 27.158,39 | € 199,43 |

Il contributo per l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento è stato determinato secondo quanto indicato dal fornitore del servizio Iren per la Regione Piemonte, secondo cui, nel caso di utenze poste in prossimità della rete già esistente, l'importo del contributo di allacciamento è definito a forfait in funzione della volumetria dell'edificio da riscaldare; in particolare fino a volumetrie pari a 2.499 m³, il contributo forfettario è pari a 6.000 € più IVA.

6.3.2 *Incentivi*

Gli incentivi di cui possono beneficiare le Pubbliche Amministrazioni in materia di riqualificazione energetica di edifici culturali, sono essenzialmente quelli del:

- Conto Termico 2.0;
- Scambio Sul Posto;

Il contributo a fondo perduto stanziato con il Decreto interministeriale 16 febbraio 2016 - Conto Termico 2.0, incentiva la maggior parte delle tipologie di interventi che possono rendere energeticamente più efficiente un luogo della cultura. Gli interventi che permettono l'accesso agli incentivi, classificati nelle due Categorie di "interventi di incremento dell'efficienza energetica in edifici esistenti" e "interventi di piccole dimensioni di produzione di energia termica da fonti rinnovabili e di sistemi di alta efficienza in edifici esistenti"¹, sono costituiti principalmente da:

- Coibentazione dell'involucro edilizio;
- Sostituzione di infissi e pannelli vetrati e introduzione di schermature;
- Sostituzione dei sistemi per l'illuminazione con sistemi più efficienti;

¹ Decreto interministeriale 16 febbraio 2016, Art. 4, comma 1 e 2

- Sostituzione dei sistemi per la climatizzazione con tecnologie ad alta efficienza;
- Produzione di energia termica da fonti rinnovabili;
- Introduzione di sistemi avanzati di controllo e gestione dell'illuminazione e della ventilazione.

Gli interventi sull'edificio in esame ricadono in più di una delle categorie di lavori inclusi nei contributi del Conto Termico. Per l'analisi economica in questione, essendo stata svolta al fine di confrontare diverse soluzioni impiantistiche, prende in considerazione esclusivamente gli incentivi ottenibili con l'installazione di una pompa di calore elettrica, calcolati secondo quanto indicato dall'Allegato II del Decreto, e riportati in .

Nel caso di interventi di installazione di impianti di climatizzazione invernale dotati di pompa di calore elettrica, l'incentivo annuo $I_{a\ tot}$ è calcolato in funzione del COP della pompa di calore installata, dalla potenza termica del generatore P_u , dal fattore di utilizzo Q_{uf} dipendente dalla zona climatica (pari a 1700 in zona E), e dal coefficiente di valorizzazione dell'energia C_i (valore tabellato e fornito dal Decreto), secondo la seguente relazione:

$$I_{a\ tot} = E_i \cdot C_i \quad (6.1)$$

dove E_i , ossia l'energia termica incentivata prodotta in un anno è calcolata come:

$$E_i = Q_{uf} \cdot [1 - 1/(COP)] \quad (6.2)$$

L'incentivo totale I_{tot} è costituito dalla sommatoria delle rate annue previste; in particolare per generatori con potenza termica nominale ≤ 35 kW sono erogabili due annualità, che, nel caso di Pubblica Amministrazione è corrisposto in un'unica soluzione.

Tabella 6.2 – Caratteristiche della pompa di calore elettrica e calcolo dell'incentivo

| Pompa di calore elettrica | | | | | |
|---------------------------|-------|----------|---------|--------------|------------|
| P_u | COP | E_i | C_i | $I_{a\ tot}$ | I_{tot} |
| [kWh] | [-] | [kWh] | [€/kWh] | [€] | [€] |
| 11 | 4,3 | 14351,16 | € 0,11 | € 1.578,63 | € 3.157,26 |

Lo Scambio Sul Posto, erogato dal GSE (Gestore Servizi Energetici) come nel caso del Conto Termico 2.0, rappresenta una delle principali agevolazioni previste dallo Stato riguardo gli impianti di produzione di energia elettrica da fonte rinnovabile, quali gli impianti fotovoltaici, alle quali possono accedere anche le Pubbliche Amministrazioni.

Lo scambio sul posto permette una compensazione dell'energia prodotta e immessa in rete con quella prelevata e consumata in un momento diverso dalla produzione, utilizzando la rete stessa come un sistema fittizio di accumulo. I contributi annui erogati, per ASSPC connessi alle reti di bassa tensione, sono calcolati secondo quanto specificato nelle Regole Tecniche emanate dal GSE secondo la seguente relazione:

$$C_S = \min[O_E; C_{EI}] + CU_{sf} \times E_S \quad (6.3)$$

dove:

O_E : onere energia: è l'energia convenzionale per l'acquisto dell'energia elettrica prelevata (prodotto tra energia prelevata e prezzo unico nazionale - PUN);

C_{EI} : è il controvalore dell'energia immessa in rete determinato in base ai prezzi zonali del mercato del giorno prima della borsa elettrica;

CU_{sf} : è il corrispettivo unitario di scambio forfettario annuale, diversificato in base alla tipologia di impianto;

E_S : energia scambiata: è il valore minimo tra l'energia elettrica immessa e quella prelevata in rete.

Il calcolo è pertanto abbastanza complesso e i contributi annui, essendo funzione dell'effettivo utilizzo dell'impianto fotovoltaico e dell'energia scambiata con la rete, dei prezzi unici nazionali e del valore di CU_{sf} (dati variabili di anno in anno), non sono valori costanti, ma possono variare in funzione dei suddetti parametri. Ai fini della presente analisi è stata ipotizzato un valore di contributo potenzialmente ottenibile in un anno tipo, in base all'energia elettrica prodotta in sito e consumata calcolata nel capitolo precedente. Considerando una quantità

di energia immessa nella rete pari a 3.379 kWh si è valutato di poter ottenere un contributo annuo pari a circa 450 €.

6.3.3 Costi di esercizio

I costi di esercizio, ovvero i costi periodici di manutenzione e di sostituzione dei componenti impiantistici considerati ai fini dell'analisi e le spese energetiche annuali, sono elencati in Tabella 6.3.

Tabella 6.3 – Costi annuali di manutenzione e costi di sostituzione delle due soluzioni progettuali

| Soluzione 1: Teleriscaldamento | | |
|--|------------------------------|--|
| <i>Costi annuali di manutenzione</i> | P_{man} del costo iniziale | C_{man} non attualizzato [€] |
| Sottostazione di teleriscaldamento | 2,00 % | € 181,86 |
| <i>Costi di sostituzione</i> | <i>Vita utile [anni]</i> | |
| - | - | € - |
| <i>Spese energetiche</i> | <i>Consumo stimato [kWh]</i> | <i>Costo unitario vettore energetico [€/kWh]</i> |
| Teleriscaldamento | 5252 | € 0,09 |
| Energia elettrica | 11080 | € 0,25 |
| Soluzione 2: Pompa di calore elettrica e PV | | |
| <i>Costi annuali di manutenzione</i> | P_{man} del costo iniziale | C_{man} non attualizzato [€] |
| Pompa di calore elettrica | 3,00 % | € 396,54 |
| Impianto fotovoltaico | 4,00 % | € 581,54 |
| <i>Costi di sostituzione</i> | <i>Vita utile [anni]</i> | C_{sost} attualizzato [€] |
| Pompa di calore elettrica | 20 | € 7.997,06 |
| Pannelli fotovoltaici | 20 | € 6.359,92 |
| Inverter | 10 | € 3.293,67 |
| <i>Spese energetiche</i> | <i>Consumo stimato [kWh]</i> | <i>Costo unitario vettore energetico [€/kWh]</i> |
| Energia elettrica | 7924 | € 0,25 |

6.3.4 Calcolo del valore attuale netto (VAN)

Nelle pagine successive sono riportate in dettaglio le due analisi economiche riferite ai due scenari proposti, con i cash flow annuali e cumulati. In rosso sono evidenziati i valori attualizzati netti delle due proposte progettuali dopo un periodo di 30 anni.

| Scenario 1: allacciamento alla rete di teleriscaldamento | | | | | | | | | | Scenario 2: pompa di calore e impianto fotovoltaico | | | | |
|--|-------------------|-----------------------|--------------|-------------------|-------------|--------------------|-----------------------|--------------|------------|---|--------------|--------------------|--|--|
| Anno | Fattore di sconto | Investimento iniziale | Manutenzione | Spese energetiche | Cash flow | Cash flow cumulato | Investimento iniziale | Manutenzione | Inverter | Spese energetiche | Cash flow | Cash flow cumulato | | |
| - | - | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | [€] | | |
| 0 | 1 | € 12.061,97 | € - | € - | 12.061,97 | -€ 12.061,97 | € 27.158,39 | € - | € - | € - | -€ 27.158,39 | -€ 27.158,39 | | |
| 1 | 0,97 | € - | € 241,24 | € 3.148,23 | -€ 3.389,47 | € 15.451,44 | -€ 2.626,46 | € 937,91 | € - | € 1.923,30 | -€ 234,75 | -€ 27.393,14 | | |
| 2 | 0,94 | € - | € 227,39 | € 3.056,54 | -€ 3.283,93 | € 18.735,37 | -€ 426,05 | € 884,07 | € - | € 1.867,28 | -€ 2.325,30 | -€ 29.718,44 | | |
| 3 | 0,92 | € - | € 220,77 | € 2.967,51 | -€ 3.188,28 | € 21.923,65 | -€ 413,64 | € 858,32 | € - | € 1.812,90 | -€ 2.257,58 | -€ 31.976,02 | | |
| 4 | 0,89 | € - | € 214,34 | € 2.881,08 | -€ 3.095,42 | € 25.019,06 | -€ 401,60 | € 833,33 | € - | € 1.760,09 | -€ 2.191,82 | -€ 34.167,84 | | |
| 5 | 0,86 | € - | € 208,10 | € 2.797,16 | -€ 3.005,26 | € 28.024,32 | -€ 389,90 | € 809,05 | € - | € 1.708,83 | -€ 2.127,98 | -€ 36.295,82 | | |
| 6 | 0,84 | € - | € 202,03 | € 2.715,69 | -€ 2.917,73 | € 30.942,05 | -€ 378,54 | € 785,49 | € - | € 1.659,06 | -€ 2.066,00 | -€ 38.361,83 | | |
| 7 | 0,81 | € - | € 196,15 | € 2.636,60 | -€ 2.832,75 | € 33.774,79 | -€ 367,52 | € 762,61 | € - | € 1.610,73 | -€ 2.005,83 | -€ 40.367,65 | | |
| 8 | 0,79 | € - | € 190,44 | € 2.559,80 | -€ 2.750,24 | € 36.525,03 | -€ 356,81 | € 740,40 | € - | € 1.563,82 | -€ 1.947,41 | -€ 42.315,06 | | |
| 9 | 0,77 | € - | € 184,89 | € 2.485,24 | -€ 2.670,13 | € 39.195,17 | -€ 346,42 | € 718,83 | € - | € 1.518,27 | -€ 1.890,68 | -€ 44.205,74 | | |
| 10 | 0,74 | € - | € 179,50 | € 2.412,86 | -€ 2.592,36 | € 41.787,53 | -€ 336,33 | € 697,90 | € 1.433,42 | € 1.474,05 | -€ 3.269,04 | -€ 47.474,78 | | |
| 11 | 0,72 | € - | € 174,28 | € 2.342,58 | -€ 2.516,86 | € 44.304,39 | -€ 326,53 | € 677,57 | € - | € 1.431,12 | -€ 1.782,15 | -€ 49.256,93 | | |
| 12 | 0,70 | € - | € 169,20 | € 2.274,35 | -€ 2.443,55 | € 46.747,94 | -€ 317,02 | € 657,83 | € - | € 1.389,43 | -€ 1.730,24 | -€ 50.987,18 | | |
| 13 | 0,68 | € - | € 164,27 | € 2.208,11 | -€ 2.372,38 | € 49.120,32 | -€ 307,79 | € 638,67 | € - | € 1.348,96 | -€ 1.679,85 | -€ 52.667,03 | | |
| 14 | 0,66 | € - | € 159,49 | € 2.143,79 | -€ 2.303,28 | € 51.423,60 | -€ 298,83 | € 620,07 | € - | € 1.309,67 | -€ 1.630,92 | -€ 54.297,95 | | |
| 15 | 0,64 | € - | € 154,84 | € 2.081,35 | -€ 2.236,20 | € 53.659,79 | -€ 290,12 | € 602,01 | € - | € 1.271,53 | -€ 1.583,42 | -€ 55.881,37 | | |
| 16 | 0,62 | € - | € 150,33 | € 2.020,73 | -€ 2.171,06 | € 55.830,86 | -€ 281,67 | € 584,48 | € - | € 1.234,49 | -€ 1.537,30 | -€ 57.418,67 | | |
| 17 | 0,61 | € - | € 145,95 | € 1.961,87 | -€ 2.107,83 | € 57.938,69 | -€ 273,47 | € 567,45 | € - | € 1.198,54 | -€ 1.492,52 | -€ 58.911,19 | | |
| 18 | 0,59 | € - | € 141,70 | € 1.904,73 | -€ 2.046,44 | € 59.985,12 | -€ 265,50 | € 550,93 | € - | € 1.163,63 | -€ 1.449,05 | -€ 60.360,24 | | |
| 19 | 0,57 | € - | € 137,58 | € 1.849,26 | -€ 1.986,83 | € 61.971,95 | -€ 257,77 | € 534,88 | € - | € 1.129,74 | -€ 1.406,85 | -€ 61.767,09 | | |

| | | Scenario 1: allacciamento alla rete di teleriscaldamento | | | | | | Scenario 2: pompa di calore e impianto fotovoltaico | | | | | |
|------|-------------------|--|--------------|-------------------|-------------|--------------------|-----------------------|---|------------|-------------------|--------------|--------------------|--|
| Anno | Fattore di sconto | Investimento iniziale | Manutenzione | Spese energetiche | Cash flow | Cash flow cumulato | Investimento iniziale | Manutenzione | Inverter | Spese energetiche | Cash flow | Cash flow cumulato | |
| - | - | € | € | € | € | € | € | € | € | € | € | € | |
| 20 | 0,55 | € - | € 133,57 | € 1.795,39 | -€ 1.928,96 | -€ 63.900,91 | € 13.936,13 | € 519,30 | € 1.066,60 | € 1.096,83 | -€ 16.618,87 | -€ 78.385,96 | |
| 21 | 0,54 | € - | € 129,68 | € 1.743,10 | -€ 1.872,78 | -€ 65.773,69 | -€ 242,97 | € 504,18 | € - | € 1.064,89 | -€ 1.326,09 | -€ 79.712,04 | |
| 22 | 0,52 | € - | € 125,90 | € 1.692,33 | -€ 1.818,23 | -€ 67.591,92 | -€ 235,90 | € 489,49 | € - | € 1.033,87 | -€ 1.287,46 | -€ 80.999,51 | |
| 23 | 0,51 | € - | € 122,23 | € 1.643,04 | -€ 1.765,27 | -€ 69.357,20 | -€ 229,02 | € 475,23 | € - | € 1.003,76 | -€ 1.249,97 | -€ 82.249,47 | |
| 24 | 0,49 | € - | € 118,67 | € 1.595,18 | -€ 1.713,86 | -€ 71.071,05 | -€ 222,35 | € 461,39 | € - | € 974,52 | -€ 1.213,56 | -€ 83.463,03 | |
| 25 | 0,48 | € - | € 115,22 | € 1.548,72 | -€ 1.663,94 | -€ 72.734,99 | -€ 215,88 | € 447,95 | € - | € 946,14 | -€ 1.178,21 | -€ 84.641,25 | |
| 26 | 0,46 | € - | € 111,86 | € 1.503,61 | -€ 1.615,48 | -€ 74.350,47 | -€ 209,59 | € 434,91 | € - | € 918,58 | -€ 1.143,90 | -€ 85.785,14 | |
| 27 | 0,45 | € - | € 108,60 | € 1.459,82 | -€ 1.568,42 | -€ 75.918,89 | -€ 203,49 | € 422,24 | € - | € 891,82 | -€ 1.110,58 | -€ 86.895,72 | |
| 28 | 0,44 | € - | € 105,44 | € 1.417,30 | -€ 1.522,74 | -€ 77.441,63 | -€ 197,56 | € 409,94 | € - | € 865,85 | -€ 1.078,23 | -€ 87.973,95 | |
| 29 | 0,42 | € - | € 102,37 | € 1.376,02 | -€ 1.478,39 | -€ 78.920,02 | -€ 191,80 | € 398,00 | € - | € 840,63 | -€ 1.046,83 | -€ 89.020,78 | |
| 30 | 0,41 | € - | € 99,39 | € 1.335,94 | -€ 1.435,33 | -€ 80.355,35 | -€ 2.557,99 | € 386,41 | € 793,65 | € 816,15 | € 561,79 | -€ 88.458,99 | |
| | | € 12.061,97 | € 4.735,42 | € 63.557,96 | | | € 27.925,98 | € 18.410,86 | € 3.293,67 | € 38.828,47 | | | |
| | | € 88,57 | € 34,77 | € 466,72 | | | € 205,07 | € 135,20 | € 24,19 | € 285,13 | | | |

In tabella Tabella 6.4 sono riportati a confronto le due soluzioni impiantistiche per quanto riguarda costo globale unitario e indice di prestazione energetica globale non rinnovabile nel periodo temporale di 30 anni considerato ai fini dell'analisi economica.

Tabella 6.4 – Costo globale unitario e indice di prestazione energetica globale non rinnovabile delle due soluzioni impiantistiche

| <i>Scenario di intervento</i> | <i>Investimento</i> | <i>Costo unitario di investimento</i> | <i>Costo globale</i> | <i>EP_{gl,nren}</i> |
|------------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| <i>[-]</i> | <i>[€]</i> | <i>[€/m²]</i> | <i>[€/m²]</i> | <i>[kWh/m²]</i> |
| Sottostazione di teleriscaldamento | € 6.061,97 | € 88,57 | € 590,07 | 194,38 |
| Allacciamento alla rete | € 6.000,00 | | | |
| <i>Totale soluzione 1</i> | <i>€ 12.061,97</i> | | | |
| Pompa di calore elettrica | € 13.217,93 | € 199,43 | € 649,57 | 113,47 |
| Impianto fotovoltaico | € 13.940,46 | | | |
| <i>Totale soluzione 2</i> | <i>€ 27.158,39</i> | | | |

Dall'analisi economica svolta si evince come, nonostante la differenza di investimento iniziale e i maggiori costi di esercizio della soluzione proposta nello scenario 2, a distanza di 30 anni il VAN (valore attuale netto) non differisce in maniera sostanziale nelle due soluzioni. Le minori spese energetiche legate all'utilizzo dell'edificio ottenibili con un sistema più efficiente e sostenibile a livello di fonti di energia rinnovabili, potrebbe però essere un maggiore incentivo all'effettivo utilizzo della struttura terminati i lavori di restauro, ed evitare nuovamente un suo inutilizzo da parte della comunità.

Conclusioni

Il lavoro di tesi ha riguardato le modalità di approccio e di progettazione di un intervento per il recupero e la rifunzionalizzazione dell'ex Biblioteca Civica "Nino Colombo" a Beinasco, comune alle porte di Torino, progettata negli anni '60 dall'architetto, accademico e storico dell'architettura Bruno Zevi e ad oggi abbandonata. L'edificio nasce, assieme alla Biblioteca "gemella" di Dogliani (CN), grazie al progetto, propugnato dall'editore torinese Giulio Einaudi, di diffusione capillare della cultura tramite una rete di biblioteche funzionali ed economiche da realizzarsi nei piccoli centri urbani dell'Italia della seconda metà del Novecento, e rappresenta di fatto la prima biblioteca civica costruita a Beinasco.

Il caso studio, oggi vincolato come bene architettonico dalla Soprintendenza, offre un certo grado di difficoltà nell'approccio al recupero, dovuto sia al suo essere un edificio in stile Moderno, a cui i concetti del restauro sono di più difficile applicazione, sia alle tecnologie costruttive con cui è stato progettato e realizzato; l'edificio presenta infatti una struttura completamente prefabbricata in acciaio con tamponamenti esterni costituiti da pannelli sandwich .

A partire dalla ricerca storica per conoscere e approfondire la genesi dell'edificio, le sue caratteristiche e le sue tecnologie costruttive, è stata svolta un'analisi dello stato di fatto e del degrado per comprenderne al meglio le problematiche e le relative cause, individuando gli interventi più idonei per un suo recupero.

Allo stato attuale, l'edificio presenta problematiche e tipologie di degrado legate principalmente ad una cattiva realizzazione in fase costruttiva e in successivi interventi di ristrutturazione, e al prolungato abbandono in cui riversa tutt'ora, che ha comportato un netto decadimento delle prestazioni dei materiali di cui è costituito.

Il recupero per un futuro riutilizzo dell'edificio coinvolge gli aspetti progettuali riguardanti la riorganizzaione parziale degli ambienti interni in modo da rispettare le attuali norme in merito alle barriere architettoniche, il restauro e

la riqualificazione energetica dei componenti di involucro, e la progettazione di nuovi impianti meccanici per la climatizzazione dell'edificio in sostituzione a quelli attualmente presenti ma non più riutilizzabili o recuperabili.

Lo studio svolto nel lavoro di tesi si è concentrato in particolar modo sull'aspetto energetico e impiantistico dell'intero processo di restauro. Con l'utilizzo del software commerciale Edilclima, e riferendosi alle vigenti normative UNI, sono state effettuate valutazioni e calcoli sia a livello di edificio, per determinare i carichi di progetto, sia a livello di impianti, di modo da considerare il sistema edificio-impianto nel suo complesso e valutarne le prestazioni energetiche. È stata pertanto svolta, sia la valutazione degli interventi di efficientamento energetico dei componenti di involucro, sia la progettazione di nuovi impianti per la climatizzazione invernale, che prevede l'installazione di un impianto radiante a pavimento integrato con impianto a tutt'aria con immissione ed estrazione bilanciata per garantire al tempo stesso la copertura totale della potenza dispersa di progetto e i ricambi d'aria minimi previsti dalla norma UNI 10339.

Il lavoro è proseguito con un confronto, a livello di prestazioni energetiche ed economiche, fra due possibili sottosistemi di generazione: il primo scenario prevede la realizzazione di una sottostazione di scambio per l'allacciamento alla rete di teleriscaldamento, richiesta dall'amministrazione pubblica, il secondo scenario propone invece una generazione più efficiente tramite pompa di calore elettrica aria/acqua integrata ad un impianto fotovoltaico per minimizzare il prelievo di energia elettrica da rete. Dal confronto, come era presumibile, si evince come il secondo scenario presenti al tempo stesso prestazioni energetiche migliori ma un investimento iniziale per il costo di costruzione più elevato rispetto al primo scenario. Tale divario economico iniziale può però essere riassorbito durante la vita utile dell'edificio, grazie alla sua maggiore efficienza energetica e ai possibili incentivi statali a cui possono accedere le Pubbliche Amministrazioni.

Tale confronto è stato effettuato nell'ottica di porsi il problema di quali possano essere le migliori strategie per incentivare l'effettivo riutilizzo di edifici come

quello studiato, per i quali, come per l'ex Biblioteca "Nino Colombo", non si ha una destinazione d'uso univoca dopo il suo restauro. Ciò potrebbe essere causa di un suo utilizzo solo saltuario, vanificando in parte il lavoro di recupero e l'intento di renderlo un nuovo punto di aggregazione per la comunità di Beinasco; si ritiene quindi importante, insieme ad una efficace strategia di programmazione di eventi e iniziative, anche il riuscire a rendere "accattivante" dal punto di vista energetico l'edificio, minimizzando il costo che il suo utilizzo comporta sul bilancio dell'amministrazione.

Bibliografia

C. BRANDI, *Teoria del restauro*, Einaudi, Torino, 1963

M. COLLANTIN, *Centrali di trattamento dell'aria*, ENERCLIMA s.r.l, Ivrea, 2002

W. J. R. CUSTIS, *L'architettura moderna dal 1900*, Phaidon, 2006

M. DONINELLI, *Gli impianti a pannelli radianti*, Quaderni Caleffi

R. DULIO, *Introduzione a Bruno Zevi*, Editori Laterza, Bari, 2008

G. MONGINI, C. ODDONE, *Municipi e Castellanie. Storia di Beinasco dalle origini ad oggi*, Comune di Beinasco e Umberto Allemandi & C., Torino, 1999

P. NUTTENGES, *Storia dell'architettura*, Mondadori, 2001

L. SOCAL, B. GRASSI, *Compendio di idraulica per tecnici del riscaldamento*, IVAR Spa, 2016

N. ROSSI, *Manuale del termotecnico*, Hoepli, Milano, 1998

M. VIO, *Climatizzazione con sistemi radianti. Guida alla progettazione*, Editoriale Delfino, Milano, 2011

M. VIO, *Impianti di climatizzazione. Manuale di calcolo*, Editoriale Delfino, Milano, 2008

B. ZEVI, *Verso un'architettura organica. Saggio sullo sviluppo del pensiero architettonico negli ultimi cinquant'anni*, Einaudi, Torino, 1945

B. ZEVI, *Saper vedere l'architettura. Saggio sull'interpretazione spaziale dell'architettura*, Einaudi, Torino, 1948

B. ZEVI, *Saper vedere la città. Ferrara di Biagio Rossetti. La prima città moderna d'Europa*, Bompiani, Milano, 1960

Le biblioteche di Giulio Einaudi a cura di A. L. AGUS, Fondazione Giulio

Einaudi o.n.l.u.s., Torino, 2011

1932/Modern architecture: international exhibition [10 febbraio - 23 marzo 1932, MoMA, New York], catalogo della mostra a cura di H.R. Hitchcock, P. Johnson, The Museum of Modern Art, New York, 1932

2013/Una passione per Prouvé. Dal mobile alla casa. La collezione di Laurence e Patrick Seguin [6 aprile - 8 settembre 2013, Pinacoteca Giovanni e Mirella Agnelli, Torino], catalogo della mostra a cura di G. Elkann, L. Seguin, P. Seguin, Pinacoteca Giovanni e Mirella Agnelli, Torino, 2013

A. Imperiale, *An american wartime dream: the packaged house system of Konrad Wachsmann and Walter Gropius*, atto del convegno *Offsite: theory and practice of architectural production* a cura di ACSA e Modular Building Institute, Temple University, Philadelphia, 27 - 29 settembre 2012

Sitografia

1963-2003: la Biblioteca di Dogliani a 40 anni dalla donazione, iniziativa della Biblioteca Civica Luigi Einaudi, Fondazione Giulio Einaudi e Fondazione Bruno Zevi, Dogliani, 15 novembre 2003

(<https://www.fondazionebrunozevi.it/it/2003/11/15/la-biblioteca-di-dogliani-40-anni-dopo/>)

M. Novelli, *La biblioteca di Einaudi abbandonata a Beinasco*, in “la Repubblica Torino.it”, 29 dicembre 2013

(https://torino.repubblica.it/cronaca/2013/12/29/news/la_biblioteca_di_einaudi_abbandonata_a_beinasco-74694030/)

M. Novelli, “*Chiederemo aiuto all’Ue per la biblioteca di Zevi*”, in “la Repubblica.it”, 26 febbraio 2014

(<https://ricerca.repubblica.it/repubblica/archivio/repubblica/2014/02/26/chiederemo-aiuto-allue-per-la-biblioteca-di.html?ref=search>)

Bassa Langa. La biblioteca civica Luigi Einaudi a Dogliani
(<https://langhe.net/sight/la-biblioteca-civica-luigi-einaudi-a-dogliani/>)

Scheda *Zevi Bruno*, SIUSA (Sistema Informativo Unificato per le Soprintendenze Archivistiche)
(<https://siusa.archivi.beniculturali.it/cgi-bin/pagina.pl?TipoPag=prodpersona&Chiave=35715>)

Scheda *Fondazione Bruno Zevi*, SIUSA (Sistema Informativo Unificato per le Soprintendenze Archivistiche)
(<https://siusa.archivi.beniculturali.it/cgi-bin/pagina.pl?TipoPag=cons&Chiave=3218>)

Scheda progetto *Dogliani (CN)*, *Biblioteca civica "Luigi Einaudi"*, *Bruno Zevi e Studio A/Z*, 1963, Ministero per i beni e le attività culturali e per il turismo, Sistema Archivistico Nazionale, Archivi degli Architetti
(http://www.architetti.san.beniculturali.it/web/architetti/progetti/scheda-progetti?p_p_id=56_INSTANCE_hIz4&articleId=20721&p_p_lifecycle=1&p_p_state=normal&viewMode=normal&ambito=progetti&groupId=10304)

Maison du peuple, in "Acciaio Arte Architettura", n. 55, ottobre 2013
(<http://www acciaioartearchitettura.com/2013/10/maison-du-peuple-2/>)

P. Bergasmasco, *A lezione da Jean Prouvé*, in "Corriere della Sera - Living", 31 gennaio 2013
(<http://living.corriere.it/tendenze/design/jean-prouve-pinacoteca-agnelli-torino-401251807648/>)

<http://www.jeanprouve.com/>

Scheda progetti 1969, "*Studio Asse*" *Studi di Fattibilità, Ricerche, Analisi, Esemplicazioni Progettuali per le Zone Direzionali di Roma*, Roma, Studio Passarelli
(<http://www.studiopassarelli.it/schede/1969StudioAsse/scheda.html>)

Scheda progetti 1967, *Padiglione italiano all'Esposizione Internazionale di Montreal, Montreal*, Studio Passarelli

(<http://www.studiopassarelli.it/schede/1967Montreal/scheda.html>)

Scheda opera *Geodesic Dome - Montreal Biosphère*, Architectour.net
International contemporary architecture database

(https://www.architectour.net/opere/opera.php?id_opera=2292&nome_opera=Geodesic%20Dome%20-%20Montreal%20Biosph%C3%A8re&architetto=Buckminster%20Fuller&language=0)

Expo '67, in Archivio Domus, 14 luglio 2011, pubblicato in origine su Domus 446/gennaio 1967

(<https://www.domusweb.it/it/dall-archivio/2011/07/14/expo-67.html>)

Konrad Wachsmann, USAF Aircraft Hangar, 1951, in “Atlas of Places”, marzo 2018

(<https://www.atlasofplaces.com/architecture/usaf-aircraft-hangar/>)

L. Carriero, *Villino via dei Monti Parioli. Luigi Piccinato, Silvio Radiconcini, Bruno Zevi*, in “ArchiDiAP”, 4 giugno 2015

(<http://www.archidiap.com/opera/villino-via-dei-monti-parioli/>)

Comune di Beinasco, *Progetto di sviluppo del teleriscaldamento nel Comune di Beinasco*, 27 giugno 2017

(<https://www.comune.beinasco.to.it/dettaglionotizia/949>)

(<https://www.gruppoiren.it/teleriscaldamento-la-rete-iren>)

(<https://luce-gas.it/guida/efficienza-energetica/teleriscaldamento#teleriscaldamento>)

Photovoltaic Geographical Information System, *Interactive tools*

(https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#SA)

Gestore Servizi Energetici, *Fotovoltaico. Sistemi di accumulo*

(<https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/sistemi-di-accumulo>)

Scheda tecnica FuturaSun, *Pannelli fotovoltaici policristallini. 270-285 W - 60 celle*

(<http://www.futurasun.com/prodotti/pannelli-policristallini/policristallino-fotovoltaico-250-275/>)

Gestore Servizi Energetici, *Incentivi utilizzabili per la riqualificazione di edifici qualificabili come beni culturali*

(<https://www.gse.it/servizi-per-te/pa/riqualificazione-energetica/luoghi-della-cultura>)

Gestore Servizi Energetici, *Conto termico per la PA*

(<https://www.gse.it/servizi-per-te/efficienza-energetica/conto-termico/conto-termico-per-la-pa>)

Gestore Servizi Energetici, *Scambio sul posto per la PA*

(<https://www.gse.it/servizi-per-te/fotovoltaico/scambio-sul-posto/ssp-per-la-pa>)

ARERA, *Valori del corrispettivo unitario di scambio forfetario per l'anno 2018*

(<https://www.arera.it/it/comunicati/19/190305.htm>)

Servizi per utenze, (PUN) *Aggiornamento Dicembre 2018 – Prezzo Mercato All'ingrosso*

(<http://serviziiperutenze.it/pun-aggiornamento-dicembre-2018-prezzo-mercato-allingrosso/>)

Viessmann, *Funzionamento delle pompe di calore*

(https://www.viessmann.it/it/riscaldamento-casa/miglior_sistema_di_riscaldamento/funzionamento-pompe-di-calore.html)

Gruppo AURA s.r.l., *Nuovo impianto fotovoltaico in scambio sul posto con accumulo*

(<https://www.auraimpianti.com/fotovoltaico-con-accumulo/>)

Riferimenti normativi

D.P.R. 26 agosto 1993, n. 412, in materia di “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”

D.M. 26 giugno 2015, in materia di “Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici”

D.M. 16 febbraio 2016, in materia di “Aggiornamento Conto termico”

Regole applicative del D.M. 16 febbraio 2016, in materia di “Incentivazione della produzione di energia termica da impianti a fonti rinnovabili ed interventi di efficienza energetica di piccole dimensioni” a cura del GSE

Deliberazione 570/2012/R/efr e s.m.i., “Testo integrato delle modalità e delle condizioni tecnico-economiche per l’erogazione del servizio di scambio sul posto”

Regole tecniche per il Servizio di Scambio sul Posto a cura del GSE, Edizione n. 4, Maggio 2019

Norma UNI 10349-1:2016 “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 1: Medie mensili per la valutazione della prestazione termo-energetica dell’edificio e metodi per ripartire l’irradianza solare nella frazione diretta e diffusa e per calcolare l’irradianza solare su di una superficie inclinata”

Norma UNI EN ISO 6946:2018 “Componenti ed elementi per edilizia - Resistenza termica e trasmittanza termica - Metodi di calcolo”

Norma UNI EN ISO 10077-1:2018 “Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti - Calcolo della trasmittanza termica - Metodo semplificato”

Norma UNI 10339:1995 “Impianti aeraulici al fine di benessere. Generalità,

classificazione e requisiti. Regole per la richiesta d’offerta, l’offerta, l’ordine e la fornitura”

Norma UNI/TR 10349-2:2016 “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 2: Dati di progetto”

Norma UNI 10349-3:2016 “Riscaldamento e raffrescamento degli edifici - Dati climatici - Parte 3: Differenze di temperatura cumulate (gradi giorno) ed altri indici sintetici”

Norma UNI/TS 11300-1:2014 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell’edificio per la climatizzazione estiva ed invernale”

Norma UNI/TS 11300-2:2019 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale, per la produzione di acqua calda sanitaria, per la ventilazione e per l’illuminazione in edifici non residenziali”

Norma UNI/TS 11300-4:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 4: Utilizzo di energie rinnovabili e di altri metodi di generazione per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria”

Norma UNI/TS 11300-5:2016 “Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 5: Calcolo dell’energia primaria e della quota di energia da fonti rinnovabili”

Norma UNI EN 1264-3:2009 “Sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture - Parte 3: Dimensionamento”

Norma UNI EN 12831-1:2018 “Prestazione energetica degli edifici - Metodo per il calcolo del carico termico di progetto - Parte 1: Carico termico per il riscaldamento degli ambienti, Modulo M3-3”

Norma UNI EN ISO 13788:2013 “Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia - Temperatura superficiale interna per evitare l’umidità

superficiale critica e la condensazione interstiziale - Metodi di calcolo”

Norma UNI EN ISO 52016-1:2018 “Prestazione energetica degli edifici - Fabbisogni energetici per riscaldamento e raffrescamento, temperature interne e carichi termici sensibili e latenti - Parte 1: Procedure di calcolo”

Istituto Superiore per la Prevenzione e la Sicurezza sul Lavoro “Raccolta R. Edizione 2009. Specificazioni tecniche applicative del Titolo II del DM 1.12.75”

Indice delle figure

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 – Konrad Wachsmann e Walter Gropius - Disegni per la “Packaged House System”, 1942..... | 8 |
| Figura 1.2 – Sopra: Konrad Wachsmann - Hangar per aerei della United States Air Force, 1951; sotto: Richard Buckminster Fuller - Cupola geodetica del Padiglione americano all’Expo di Montreal del 1967 | 9 |
| Figura 1.3 – Jean Prouvé - Maison du Peuple a Clichy, 1936-1938, Parigi..... | 10 |
| Figura 1.4 – Prototipo della Maison Metropole (8x12 m) di Jean Prouvé realizzata per Vantoux e montata sulla pista del Lingotto | 11 |
| Figura 1.5 – Studio Asse - Progetto preliminare di fattibilità per l’”Asse attrezzato”, Roma;..... | 17 |
| Figura 1.6 – Luigi Piccinato, Silvio Radiconcini, Bruno Zevi - Palazzina in via Monti Parioli 15, Roma..... | 18 |
| Figura 1.8 – La Biblioteca civica di Dogliani a sinistra, quella di Beinasco a destra..... | 19 |
| Figura 1.7 – G. C. Argan, M. G. Franci, Studio Passarelli, B. Zevi, C. Scarpa, L. Ricci, B. Munari, E. Vedova - Padiglione italiano all’Expo di Montreal, 1967 | 19 |
| Figura 2.1 – Giulio Einaudi all’inaugurazione della biblioteca comunale di Beinasco..... | 24 |
| Figura 2.2 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Luigi Einaudi” di Dogliani - piante delle due possibili disposizioni interne..... | 26 |
| Figura 2.3 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Luigi Einaudi” di Dogliani - prospetti principali..... | 27 |
| Figura 2.4 – Facciata principale della Biblioteca civica Luigi Einaudi a Dogliani | 28 |
| Figura 2.5 – Facciata principale della Robie House di Frank Lloyd Wright a Chicago | 28 |
| Figura 2.6 – Biblioteca civica Luigi Einaudi, foto dell’archivio della Fondazione Bruno Zevi | 29 |
| Figura 2.8 – Estratto del Piano Regolatore Comunale, fuori scala. Tavola P4.2 - Destinazione aree Beinasco | 31 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.7 – Stralcio di mappa dal Geoportale del Piemonte, indicante le principali destinazioni d’uso del comune di Beinasco..... | 31 |
| Figura 2.9 – Vista satellitare della Biblioteca Nino Colombo - foto del 31/05/2019 | 32 |
| Figura 2.10 – La Biblioteca civica di Beinasco dopo la sua costruzione nel 1968 | 33 |
| Figura 2.11 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Nino Colombo” di Beinasco - piante delle due possibili disposizioni interne | 34 |
| Figura 2.12 – Disegni originali del progetto della Biblioteca “Nino Colombo” di Beinasco - prospetti principali | 36 |
| Figura 3.1 – Stratigrafia della copertura allo stato di fatto - Fuori scala | 41 |
| Figura 3.2 – Stratigrafia della tamponatura allo stato attuale - Fuori scala | 42 |
| Figura 3.3 – Esempi di degrado dovuti a esfoliazione, ruggine e lacune sui pannelli esterni delle facciate esterne | 46 |
| Figura 3.4 – Esempi di degrado della lamiera del controsoffitto interno ed esterno (foto 1 - 3) e della guaina bituminosa della copertura (foto 4 e 5) | 47 |
| Figura 3.5 – Esempi di degrado all’interno | 48 |
| Figura 3.6 – Ammaloramenti per cattiva progettazione o esecuzione | 49 |
| Figura 3.7 – Esempi di modifiche improprie realizzate durante il periodo di utilizzo della biblioteca..... | 51 |
| Figura 3.8 – Esempi di degrado dovuti ad atti vandalici | 51 |
| Figura 4.1 – Vista in pianta del modello realizzato con l’input grafico del software Edilclima | 62 |
| Figura 4.2 – Vista 3D del modello realizzato con l’input grafico del software Edilclima | 62 |
| Figura 4.3 – Possibili soluzioni di posa dello strato di coibentazione delle pareti esterne | 68 |
| Figura 4.4 – Stratigrafia di progetto della tamponatura - Fuori scala | 69 |
| Figura 4.5 – Stratigrafia del solaio di copertura - Fuori scala..... | 71 |
| Figura 4.6 – Stratigrafia del solaio controterra - Fuori scala | 73 |
| Figura 4.7 – Stratigrafia del solaio interpiano su centrale termica - Fuori scala | 74 |
| Figura 4.8 – Ripartizione dei carichi termici invernali di progetto..... | 87 |
| Figura 4.9 – Andamento tra le ore 8 e le ore 18 dei singoli contributi e del carico | |

| | |
|--|-----|
| termico estivo totale..... | 93 |
| Figura 4.10 – Contributi del carico termico di picco suddivisi per locali..... | 94 |
| Figura 4.11 – Ripartizione percentuale del carico termico estivo di picco..... | 94 |
| Figura 4.12 – Andamento orario della temperatura dell'aria esterna utilizzato nel calcolo dinamico | 96 |
| Figura 4.13 – Potenza massima [W] richiesta all'impianto ogni mese dell'anno | 98 |
| Figura 4.14 – Temperatura interna operativa e fabbisogno energetico nel mese di Gennaio..... | 99 |
| Figura 4.15 – Temperatura interna operativa e fabbisogno energetico nel mese di Ottobre | 99 |
| Figura 4.16 – Temperatura interna operativa e fabbisogno energetico nel mese di Luglio..... | 99 |
| Figura 5.1 – Schema esemplificativo della tipologia di impianto per il riscaldamento..... | 105 |
| Figura 5.2 – Curve caratteristiche dell'impianto di riscaldamento per passo 12 cm.. | 112 |
| Figura 5.3 – Posizione dei collettori e distribuzione dei circuiti dell'impianto radiante a pavimento..... | 115 |
| Figura 5.4 – Diagramma psicrometrico - determinazione del punto di immissione..... | 119 |
| Figura 5.5 – Diagramma psicrometrico - passaggio da punto E a punto I..... | 120 |
| Figura 5.6 – Distribuzione canalizzazione di mandata..... | 121 |
| Figura 5.7 – Scenario 1: schema funzionale della centrale termica..... | 125 |
| Figura 5.8 – Schema di funzionamento di una pompa di calore aria/acqua installata internamente | 127 |
| Figura 5.9 – Schema del funzionamento di un impianto fotovoltaico tradizionale senza accumulo | 128 |
| Figura 5.10 – Schema del funzionamento di un impianto fotovoltaico con sistema di accumulo..... | 129 |
| Figura 5.11 – Ipotesi di disposizione dei moduli fotovoltaici in copertura..... | 130 |
| Figura 5.12 – Irradianza solare mensile incidente sui pannelli fotovoltaici .. | 132 |
| Figura 5.13 – Produzione mensile di energia elettrica..... | 132 |
| Figura 5.14 – Confronto mensile tra energia elettrica prodotta in sito e fabbisogno | |

| | |
|---|-----|
| | 133 |
| Figura 5.15 – Principali termini del bilancio energetico dell’edificio | 135 |
| Figura 5.16 – Confronto degli indici di prestazione energetica non rinnovabile dei due scenari..... | 139 |

Indice delle tabelle

| | |
|--|----|
| Tabella 3.1 – Tipologie di degradi, cause e interventi di recupero per ciascuna tipologia di elemento dell’edificio | 53 |
| Tabella 4.1 – Locali dell’edificio | 63 |
| Tabella 4.2 – Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali, verso l’esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra | 66 |
| Tabella 4.3 – Trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l’esterno e gli ambienti non climatizzati | 66 |
| Tabella 4.4 – Trasmittanza termica U delle opache orizzontali di pavimento, verso l’esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra | 67 |
| Tabella 4.5 – Trasmittanza termica U delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l’esterno e verso ambienti non climatizzati | 67 |
| Tabella 4.6 – Trasmittanza termica U delle strutture opache verticali e orizzontali di separazione tra edifici o unità immobiliari confinanti | 67 |
| Tabella 4.7 – Elenco dei materiali, dall’interno all’esterno, della stratigrafia della tamponatura con le relative caratteristiche fisiche e termiche | 70 |
| Tabella 4.8 – Elenco dei materiali, dall’interno all’esterno, della stratigrafia della copertura con le relative caratteristiche fisiche e termiche | 72 |
| Tabella 4.9 – Elenco dei materiali, dall’alto verso il basso, della stratigrafia del solaio controterra con le relative caratteristiche fisiche e termiche | 73 |
| Tabella 4.10 – Elenco dei materiali, dall’alto verso il basso, della stratigrafia del solaio su centrale termica con le relative caratteristiche fisiche e termiche | 74 |
| Tabella 4.11 – Componenti opachi dell’involucro edilizio | 75 |
| Tabella 4.12 – Componenti trasparenti dell’involucro edilizio | 76 |
| Tabella 4.13 – Temperature esterne medie mensili | 79 |
| Tabella 4.14 – Irradiazione solare media mensile | 79 |
| Tabella 4.15 – Valori di progetto dell’aria esterna | 80 |
| Tabella 4.16 – Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti | |

| | |
|---|-----|
| opachi e trasparenti | 84 |
| Tabella 4.17 – Portate minime di ricambi d’aria secondo UNI 10339 | 86 |
| Tabella 4.18 – Potenze invernali per trasmissione, ventilazione e totali | 87 |
| Tabella 4.19 – Condizioni di progetto estive | 91 |
| Tabella 4.20 – Andamento dei carichi termici nelle fasce orarie nel mese di Luglio..... | 93 |
| Tabella 4.21 – Carichi termici estivi di picco dell’edificio alle ore 16 nel mese di Luglio..... | 94 |
| Tabella 4.22 – Potenze massime mensili richieste all’impianto | 97 |
| Tabella 4.23 – Temperature operative interne e fabbisogno energetico mensile | 98 |
| Tabella 5.1 – Potenze invernali di progetto richieste per il dimensionamento del sistema radiante a pavimento | 111 |
| Tabella 5.2 – Relazione tra sU e $R\lambda, B$ per la determinazione di KH | 112 |
| Tabella 5.3 – Dimensionamento del sistema radiante per i locali serviti dall’impianto..... | 113 |
| Tabella 5.4 – Dati di input per il dimensionamento dell’impianto a tutt’aria | 117 |
| Tabella 5.5 – Determinazione delle condizioni di immissione | 118 |
| Tabella 5.6 – Valori mensili di energia prodotta dal sistema di pannelli fotovoltaici e di irradianza solare | 131 |
| Tabella 5.7 – Dettaglio mensile di energia elettrica prodotta in sito e fabbisogno di energia elettrica dell’edificio | 133 |
| Tabella 5.8 – Temperature esterne medie e numero di giorni mensili della stagione di riscaldamento..... | 136 |
| Tabella 5.9 – Temperature esterne medie e numero di giorni mensili della stagione estiva | 136 |
| Tabella 5.10 – Dispersioni, apporti e fabbisogni di energia termica utile nella stagione invernale | 136 |

| | |
|--|-----|
| Tabella 5.11 – Dispersioni, apporti e fabbisogni di energia termica utile nella stagione estiva..... | 137 |
| Tabella 5.12 – Fattori di conversione dell’energia primaria | 138 |
| Tabella 5.13 – Scenario 1: fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione | 138 |
| Tabella 5.14 – Scenario 1: vettori energetici ed emissioni di CO2..... | 138 |
| Tabella 5.15 – Scenario 2: fabbisogno di energia primaria e indici di prestazione | 138 |
| Tabella 5.16 – Scenario 2: vettori energetici ed emissioni di CO2..... | 139 |
| Tabella 6.1 – Investimento iniziale per le due differenti soluzioni progettuali proposte..... | 151 |
| Tabella 6.2 – Caratteristiche della pompa di calore elettrica e calcolo dell’incentivo | 153 |
| Tabella 6.3 – Costi annuali di manutenzione e costi di sostituzione delle due soluzioni progettuali..... | 155 |
| Tabella 6.4 – Costo globale unitario e indice di prestazione energetica globale non rinnovabile delle due soluzioni impiantistiche | 158 |