



POLITECNICO DI MILANO

Scuola di architettura e società
Corso di Laurea Magistrale in Architettura
Orientamento in Progetto tecnologico e
strutturale delle costruzioni

OBIETTIVO ZERO: RIQUALIFICAZIONE DI UN COMPLESSO RESIDENZIALE A.L.E.R. A TREVIGLIO

Relatore: Andrea CAMPIOLI

Correlatore: Massimo RUOTOLO

Tesi di Laurea di:

Valentina BREMBILLA M. 740654

Alessia VAVASSORI M. 752152

Anno Accademico 2011 - 2012

Indice	2
Indice figure	7
Indice tabelle	13
Abstract	15
Abstract in lingua inglese	17
Introduzione	19
1. Il caso studio: complesso residenziale A.L.E.R. a Treviglio	24
1.1 Informazioni riguardo all'A.L.E.R.	25
1.1.1 La storia dell'A.L.E.R.	25
1.1.2 Attività dell'Azienda	27
1.1.3 Il patrimonio	28
1.1.4 Fonti di finanziamento	28
1.1.5 Organi dell'Azienda	29
1.1.6 La Carta dei Servizi	29
1.2 Edificio A.L.E.R.	31
Tavola 1	43
Tavola 2	44
Tavola 3	45
Tavola 4a	46
Tavola 4b	47
2. Obiettivi e strategie di progetto	48
2.1 Analisi e progettazione degli spazi aperti	49
2.1.1 La piazza	51
2.1.2 Gli orti urbani	58
2.1.3 L'area giochi	64
2.1.4 L'area parcheggio.....	65
2.2 Analisi e progettazione degli spazi di contaminazione.....	67
2.2.1 Le destinazioni d'uso	67
2.2.2 La flessibilità d'uso negli ZEB	69
2.3 Analisi e progettazione degli spazi privati.....	70

2.3.1 Criteri progettuali e soluzioni tecniche per uno nZEB	70
2.3.2 Le schermature solari	72
2.3.2.1 Forma e orientamento dei sistemi di schermatura	75
2.3.2.2 Tipologie di schermature	76
2.3.2.3 Nozioni di geografia astronomica	77
2.3.2.4 Progettazione dei sistemi di schermatura	80
Tavola 5	85
Tavola 6	86
Tavola 7	87
Tavola 8	88
Tavola 9	89
Tavola 10	90
Tavola 11	91
Tavola 12a	92
Tavola 12b	93
Tavola 12c	94
Tavola 12d	95
Tavola 13a	96
Tavola 13b	97
3. Gli aspetti energetici	98
3.1 Approccio operativo	102
3.2 Diagnosi energetica del sistema edificio-impianto esistente A.L.E.R.	105
3.2.1 L'indice di prestazione energetica EP_H	108
3.2.1.1 Calcolo di EP_H limite	109
3.2.1.2 I Gradi Giorno della località	110
3.2.1.3 Il rapporto S/V dell'edificio	111
3.2.1.4 Calcolo di EP_H di progetto	111
3.3 Stato di fatto	112
3.3.1 Dati edificio	112
3.3.2 Rilievo e analisi degli elementi disperdenti	113
3.3.3 Calcolo delle trasmittanze termiche delle strutture	118
3.3.3.1 Massa superficiale	118

3.3.3.2	Trasmittanza periodica e sfasamento dell'onda termica	118
3.3.3.3	Trasmittanze termiche delle strutture opache.....	126
3.3.3.4	Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali	139
3.3.3.5	Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti	147
3.3.4	Applicazione delle tecniche di diagnosi energetica.....	153
3.3.5	Fenomeni di condensazione	162
3.3.5.1	Fenomeni di condensazione superficiale.....	167
3.3.5.2	Fenomeni di condensazione interstiziale	168
3.3.6	Calcolo della potenza termica.....	200
3.3.7	Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro	206
3.3.7.1	Calcolo degli scambi termici.....	212
3.3.8	Verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H	246
3.3.9	Certificazione energetica.....	247
3.4	Riqualificazione A.L.E.R.	260
3.4.1	Introduzione alla riqualificazione A.L.E.R.	260
3.4.2	Descrizione degli interventi di riqualificazione energetica	264
3.4.3	Correzione degli elementi disperdenti.....	268
3.4.4	Calcolo della potenza dispersa	276
3.4.5	Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro Q_H	282
3.4.6	Verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H	305
3.4.7	Certificazione energetica.....	306
3.4.8	Piano finanziario	306
3.4.8.1	Intervento impiantistico	307
3.4.8.2	Intervento impiantistico e sull'involucro edilizio	310
3.5	Riqualificazione "Zero Energy"	314
3.5.1	Introduzione alla riqualificazione "Zero Energy"	314
3.5.2	Descrizione degli interventi di riqualificazione energetica	315
3.5.3	Correzione degli elementi disperdenti.....	318
3.5.4	Calcolo della potenza dispersa	354
3.5.5	Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro Q_H	360
3.5.6	Utilizzo di fonti rinnovabili di energia	402

3.5.6.1 Collettori solari termici	402
3.5.6.1 Pannelli fotovoltaici.....	405
3.5.7 Verifica dell'indice di prestazione energetica EP _H	408
3.5.8 Certificazione energetica.....	409
3.5.9 Piano finanziario	410
3.6 Conclusioni riqualificazione energetica	420
4. Conclusioni	426
Normative	430
Bibliografia.....	434
Sitografia	437

Indice figure

Figura 1.1 L'area di progetto situata al limite settentrionale della circonvallazione interne.....	31
Figura 1.2 Zoom della facciata dove si mostrano le autorimesse al piano terra e i successivi tre piani ad uso residenziale	32
Figura 1.3 Percorso carrabile di accesso alle rimesse sul fronte ovest del complesso residenziale	33
Figura 1.4 Orto creato da un residente lungo la roggia	33
Figura 1.5 Sistemazione esterna dell'area, su progetto del 1975 dell'architetto Bruno Gobbi.....	34
Figura 1.6 Ingresso al locale tecnico interrato per mezzo di una scala a chiocciola, posizionato sul fronte ovest	34
Figura 1.7 Planimetria del complesso esistente, dove si può notare la suddivisione in sei fabbricati, ciascuno costituito da un vano scala e tre cellule	35
Figura 1.8 Planimetria del piano tipo dell'edificio, dove si può notare la progettazione degli spazi di ogni cellula che costituisce il complesso	36
Figura 1.9 Prospetto ovest dove si può notare l'effetto movimentato della facciata	36
Figura 1.10 Prospetto Ovest.....	37
Figura 1.11 Prospetto Sud	37
Figura 1.12 Prospetto Est	37
Figura 1.13 Prospetto Nord	37
Figura 1.14 Dettaglio della cellula tipo con particolare riferimento alla suddivisione degli spazi interni, anche in corrispondenza della parete divisoria tra alloggi con giunto di dilatazione	38
Figura 1.15 Serramento costituito da telaio metallico e vetri del tipo isolante	38
Figura 1.16 Stratigrafia della quinta perimetrale e del muro su vano scala.....	39
Figura 1.17 Stratigrafia del muro perimetrale	39
Figura 1.18 Stratigrafia del muro sotto finestra	40
Figura 1.19 Stratigrafia del muro perimetrale con la presenza del cassonetto del serramento ...	40
Figura 1.20 Stratigrafia della quinta divisoria tra alloggi	41
Figura 1.21 Stratigrafia della quinta divisoria tra alloggi con giunto di dilatazione	41
Figura 1.22 Stratigrafia del pavimento su porticato.....	42
Figura 1.23 Stratigrafia del pavimento su box.....	42
Figura 1.24 Stratigrafia del soffitto sotto tetto	42
Figura 2.1 Individuazione del centro di Treviglio e, a nord, dell'area di progetto	49
Figura 2.2 Individuazione della piazza all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.....	51
Figura 2.3 Schizzo dei pannelli fotovoltaici a copertura delle panchine nelle aree verdi	52






Figura 2.4 Schizzo delle sedute dislocate nell'area verde.....	53
Figura 2.5 Nell'immagine sono state individuate l'area di progetto  , la roggia  che la affianca e le diverse tipologie di verde riscontrate dopo la nostra analisi: verde pubblico attrezzato  , verde pubblico non attrezzato  e verde incolto 	54
Figura 2.6 Verde pubblico attrezzato collocato a sud-ovest dell'area di progetto	55
Figura 2.7 Verde pubblico non attrezzato collocato a sud-ovest dell'area di progetto.....	55
Figura 2.8 Verde incolto a nord dell'area di progetto.....	56
Figura 2.9 Localizzazione in rosso dei mercati della città di Treviglio, mentre il quadrato arancione individua l'area di progetto	56
Figura 2.10 Individuazione degli orti urbani all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.....	58
Figura 2.11 Predominanza di campi adibiti a semina (individuati con il colore giallo) e di aree dedicate a prati (nella mappa con il colore verde acido); nella zona più settentrionale del territorio trevigliese si notano anche aree boschive, individuate con il colore verde scuro	59
Figura 2.12 Gli orti sulle sponde della roggia	61
Figura 2.13 Il roggio Mulini	61
Figura 2.14 Individuazione dell'area giochi all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.....	64
Figura 2.15 Individuazione dell'area parcheggio all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.	65
Figura 2.16 Lo spazio di verde incolto a nord dell'area di progetto: è visibile il piccolo sentiero che mette in comunicazione via Bignamini con l'area presa in esame.....	66
Figura 2.17 Individuazione delle destinazioni d'uso all'interno dello spazio di contaminazione ..	69
Figura 2.18 Area di progetto correttamente orientata: situazione odierna	71
Figura 2.19 Equinozi e solstizi	78
Figura2.20 Incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'estate.....	78
Figura 2.21 Incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'inverno	79
Figura2.22 Elementi di riferimento della sfera terrestre: l'equatore e i paralleli	79
Figura2.23 Elementi di riferimento della sfera terrestre: i meridiani.....	80
Figura 2.24 Sezione della facciata dell'edificio esistente rivolta a sud: incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'estate	81
Figura2.25 Sezione della facciata dell'edificio esistente rivolta a sud: incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'estate	82
Figura 2.26 Volta celeste con i tre percorsi del Sole durante equinozi e solstizi.....	82
Figura 3.1 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia. Passo 1: l'aumento della temperatura sulla facciata esterna inizia a coinvolgere i primi strati...	119

Figura 3.2 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia. Passo 2: temperatura esterna costante, il flusso inizia a decrescere	120
Figura 3.3 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia. Passo 3: temperatura esterna decrescente, il calore accumulato inizia ad uscire dal lato esterno	120
Figura 3.4 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia. Passo 4: la temperatura esterna costante e uguale a quella interna, la struttura dissipa tutto il calore accumulato	121
Figura 3.5 Il grafico mostra l'andamento sinusoidale della temperatura esterna $T_e(t)$, con periodo di 24 ore e ampiezza ΔT_e e interna $T_i(t) = T_i$ costante.....	122
Figura 3.6 Il grafico mostra i flussi esterno e interno e le rispettive ampiezze	122
Figura 3.7 Il grafico mostra l'andamento dell'onda termica sui due lati di una parete, specificando i coefficienti di sfasamento e di attenuazione	123
Figura 3.8 Tre stratigrafie dello stesso elemento opaco disperdente con l'ordine degli elementi variati	124
Figura 3.9 Ponte termico di materia con struttura portante in c.a. e muri in laterizio.....	154
Figura 3.10 Trama mattoni intergi ma poco isolati	155
Figura 3.11 Lo spessore ridotto del muro sottofinestra aumenta le dispersioni termiche rispetto al resto della facciata. L'effetto è enfatizzato dalla presenza del radiatore che disperde buona parte del calore verso l'ambiente esterno.....	155
Figura 3.12 Presenza di infiltrazioni d'aria nella giunzione tra telaio mobile e telaio fisso e tra telaio fisso e muro perimetrale esterno.....	155
Figura 3.13 Distribuzione dei ponti termici nell'involucro di un edificio	158
Figura 3.14 Variazione delle condizioni di saturazione in funzione della temperatura	162
Figura 3.15 Diagramma di Mollier.....	163
Figura 3.16 Costruzione del diagramma di Glaser.....	169
Figura 3.17 Caso B del diagramma di Glaser: le due curve sono tangenti in un punto	170
Figura 3.18 Caso C del metodo Glaser: le curve si toccano lungo un segmento	170
Figura 3.19 Circuiti dell'impianto di riscaldamento, con valvole miscelatrici di regolazione	208
Figura 3.20 Caldaia in acciaio di tipo standard e bruciatore a metano del tipo bistadio	209
Figura 3.21 Schema centrale termica	209
Figura 3.22 Schema impianto monotubo ad anello con radiatori in acciaio a colonne.....	210

Figura 3.23 Analogia idraulica del sistema edificio-impianto: la quantità di energia da fornire tramite l'impianto è l'apporto termico necessario per bilanciare dispersioni e apporti gratuiti in modo da raggiungere negli ambienti interni la temperatura di progetto	212
Figura 3.24 Andamento di η_U in funzione del rapporto γ fra energia gratuita e dispersioni e della costante di tempo τ dipendente dalla capacità termica dell'edificio C	221
Figura 3.25 Analogia idraulica del sistema edificio-impianto	228
Figura 3.26 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.	248
Figura 3.27 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.....	266
Figura 3.28 Schema impiantistico del kit costituito da pompe di calore e caldaia a condensazione	266
Figura 3.29 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.	267
Figura 3.30 Serramento esistente con telaio metallico e vetri del tipo isolante	271
Figura 3.31 Nuovo serramento con telaio metallico e doppio vetro con vetro camera ad argon	272
Figura 3.32 Generatore a condensazione in alluminio con centralina di regolazione climatica ..	283
Figura 3.33 Circolatore tradizionale esistente e circolatore elettronico ad alto rendimento	283
Figura 3.34 Distribuzione esistente e nuova distribuzione, successiva alle modifiche apportate	284
Figura 3.35 Circuito esistente monotubo e nuova valvola termostatica	285
Figura 3.36 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.	306
Figura 3.37 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici.....	309
Figura 3.38 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici	312
Figura 3.39 Sistema di emissione riscaldamento/raffrescamento a pavimento radiante a bassa temperatura	333
Figura 3.40 Unità preassemblata RTYR Robur, vista frontale.....	361
Figura 3.41 Sistema di funzionamento delle pompe di calore reversibili Robur	362
Figura 3.42 Principio della ventilazione nell'edilizia residenziale.....	363
Figura 3.43 Schema recuperatore di calore a doppio flusso incrociato	364
Figura 3.44 Pacchetto Aqua CPC INOX/Aqua Sun per sistemi combinati	403
Figura 3.45 Dalla cella al generatore fotovoltaico – Sistemi fissi	406
Figura 3.46 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.	409
Figura 3.47 Classificazione energetica secondo il programma di certificazione riconosciuto a livello nazionale dell'edificio A.L.E.R.	410
Figura 3.48 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici	418

Figura 3.49 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici	419
Figura 3.50 Schema edificio-impianto e servizi essenziali	421

Tabella 2.1 Orientamento dei sistemi di schermatura	76
Tabella 2.2 Sistemi di schermatura in base all'esposizione	76
Tabella 3.1 Limiti d'esercizio degli impianti termici	109
Tabella 3.2 Valori massimi delle temperature ambiente	109
Tabella 3.3 Valori dei parametri termici dinamici (Y_{ie} , f_a e $f_{a'}$) e della trasmittanza termica stazionaria (U) per le tre stratigrafie.....	125
Tabella 3.4 Valori dei coefficienti di attenuazione e di sfasamento dell'onda termica secondo le "linee guida dell'edilizia sostenibile della regione Toscana"	126
Tabella 3.5 Pressione di saturazione del vapor d'acqua P_s [kPa] in funzione della temperatura	164
Tabella 3.6 Confronto fra i valori δ e μ di murature (compresi i giunti)	165
Tabella 3.7 Valori del coefficiente di resistenza al passaggio del vapore μ per alcuni materiali da costruzione.....	166
Tabella 3.8 Produzione medie di vapore all'interno di un'abitazione.....	167
Tabella 3.9 Umidità relativa all'aria esterna: Milano, Bolzano, Verona, Trieste	171
Tabella 3.10 Valori del fattore di ombreggiatura parziale F_h per diverse latitudini e angoli sull'orizzontale.....	219
Tabella 3.11 Valori del fattore di ombreggiatura dovuto ad aggetti orizzontali F_o per diverse latitudini e angoli	219
Tabella 3.12 Valori del fattore di ombreggiatura dovuto ad aggetti verticali F_f per diverse latitudini e angoli	219
Tabella 3.13 Valori del coefficiente di riduzione dovuto al tendaggio FC installato all'interno o all'esterno della finestra.....	220
Tabella 3.14 Valori del fattore solare perpendicolare del vetro g_v proposti dalla norma	220
Tabella 3.15 Capacità termica effettiva per unità di volume lordo riscaldato per alcune tipologie (Fonte: Raccomandazione CTI-R03/3)	222
Tabella 3.16 Valori di a_o e t_o in funzione del metodo di calcolo mensile o stagionale (Fonte: UNI EN ISO 13790).....	223
Tabella 3.17 Valori convenzionali del rendimento di emissione η_e	229
Tabella 3.18 Valori di η_d in funzione del tipo di sistema di distribuzione, del volume e dell'altezza	230
Tabella 3.19 Valori convenzionali del rendimento di regolazione η_c	232
Tabella 3.20 Esempi di classificazioni energetiche.....	248
Tabella 3.21 Fattore di annualità	308
Tabella 3.22 Azioni progettuali adottate	422

Lo studio di tesi intende mostrare e tradurre, attraverso vari step progettuali, le operazioni atte a riqualificare un edificio esistente, di proprietà dell'Azienda A.L.E.R. sito in Treviglio, provincia di Bergamo, in via Dei Mulini 10/20, la cui data di costruzione risale alla metà degli anni '70. Nel processo di riqualificazione verranno anche indicate le tecnologie oggi maggiormente utilizzate che correlate al sistema edificio-impianto, consentono di ottenere un edificio classificato come "Quasi Zero Energy". L'attenzione sarà quella di tener conto dei vincoli esistenti e della fattibilità concreta di realizzazione degli interventi, analizzando in modo approfondito, attraverso la documentazione di archivio messa a disposizione dall'azienda A.L.E.R., i processi di progettazione urbanistica ed architettonica, di costruzione e quindi l'utilizzo delle tecnologie dei materiali adottati e dello stato di conservazione del complesso edilizio preso in esame, anche attraverso approfondite verifiche in sito e analisi strumentali.

L'obiettivo raggiunto è quello di aver scelto un approccio progettuale concreto e realizzabile che, oltre ad aver finalizzato l'ottenimento di un risparmio energetico tale da considerare il sistema edificio-impianto a energia quasi zero, è capace di interagire con l'ambiente nonostante la presenza di notevoli vincoli dello stato di fatto preso in esame. Il risanamento energetico globale e la riqualificazione architettonica dei luoghi, aspetti trattati in due capitoli distinti, rappresentano in effetti due elementi progettuali che interagiscono strettamente tra di loro creando un continuum sinergico tra ambiente interno ed esterno. Le soluzioni a disposizione erano molteplici, ma quelle scelte restano frutto di ragionamenti improntati sulla semplicità, sulla fattibilità e sulla economicità, intesa come attenzione prestata costantemente sia agli aspetti economici veri e propri che alla realizzazione di opere che ponessero attenzione alle presistenze architettoniche e impiantistiche e alle risorse naturali del luogo.

Abstract in lingua inglese

The study aims to show and translate, through the various steps of planning, the operations to redevelop an existing building, owned by the Company A.L.E.R., site in Treviglio, Bergamo's province, in Via Dei Mulini 10/20; the edifice was built in the mid-70s. In the process of upgrading will also be given the most commonly used technologies that related to building-plant system, allow to obtain a building classified as "Nearly Zero Energy". The focus will be to take into account the constraints and feasibility of practical implementation of interventions, analyzing in depth, through archival records made available by the ALER, the processes of urban planning and architectural design, construction and then the use of technologies of the materials used and the state of preservation of the building complex , also through extensive testing on site and instrumental analysis.

The goal achieved is to choosing a design approach practical and feasible and to obtain energy savings so as to consider the building-plant system nearly zero energy, is able to interact with the environment despite the presence of considerable constraints on the site. The overall energy recovery and redevelopment of the area, issues covered in two separate chapters, are in fact two design elements that interact closely with one another, creating a continuum synergy between internal and external environment. The solutions available are manifold, but those choices are the result of reasoning marked on simplicity, feasibility and cost-effectiveness, as the attention paid to the economic aspects and to the creation of works that would lay emphasis on existing architecture and plant and natural resources of the area.

Le modifiche ambientali legate al surriscaldamento globale, all'aumento sempre più repentino del prezzo del petrolio e del gas naturale e ai dissesti ecologici recenti hanno portato ad una maggiore consapevolezza politica verso il tema dell'efficienza energetica. Parallelamente, il concetto di sostenibilità ambientale, enunciato per la prima volta dal Rapporto Brundtland (1987), si è arricchito di significati economici, culturali, politici e sociali. Documento chiave in questo senso è il protocollo di Kyoto (1997) che contiene obiettivi vincolanti e quantificati di limitazione dei gas a effetto serra: ai Paesi aderenti è chiesto di ridurre le emissioni inquinanti in una misura non inferiore al 5,2% nel periodo 2008-2012, rispetto ai livelli del 1990. In particolare, il protocollo di Kyoto è un trattato internazionale in materia ambientale, stipulato appunto a Kyoto, in Giappone, nel dicembre 1997 durante la conferenza COP₃ della convenzione quadro delle Nazioni Unite sui cambiamenti climatici (UNFCCC); esso prevede l'obbligo per i Paesi industrializzati di operare nel periodo 2008-2012 una riduzione e una limitazione delle emissioni di gas ad effetto serra, quali biossido di carbonio (CO₂), metano (CH₄), protossido di azoto (N₂O), idrofluorocarburi (HFC), fluorocarburi (PFC) e esafluoro di zolfo (SF₆) in una misura non inferiore al 5% rispetto alle emissioni registrate nel 1990. La Comunità Europea ha firmato il protocollo il 29 Aprile 1998 e sulla base degli accordi del 1997, il protocollo è entrato in vigore il 90° giorno dopo la ratifica di almeno 55 Paesi tra i 194 sottoscrittori originari (purché questi, complessivamente, coprano almeno il 55% delle emissioni globali di gas serra). Dal trattato sono stati esclusi i Paesi in via di sviluppo per evitare di frapporre ulteriori barriere alla loro crescita economica. L'Unione Europea ha ratificato il protocollo di Kyoto il 31 Maggio 2002 ed è entrato in vigore il 16 Febbraio 2005, dopo la ratifica della Russia; gli Stati europei si sono impegnati a limitare le emissioni climalteranti collettive dell'8%.

Il recepimento del protocollo di Kyoto a livello europeo ha portato allo sviluppo di molteplici politiche volte al comparto edilizio che, mediamente, assorbe il 40% delle fonti energetiche convenzionali (European Commission, 2005 e 2010) e, a differenza dei settori industriale e dei trasporti, ha iniziato ad attuare interventi di efficienza energetica solo recentemente. Il problema è maggiore negli edifici esistenti, che in Italia costituiscono l'85% del totale e sono caratterizzati da scarsa qualità energetica. In particolare, sono state pubblicate, a distanza di circa otto anni due direttive europee con l'intento di aumentare le prestazioni energetiche degli edifici esistenti e di nuova costruzione.

La prima direttiva sul rendimento energetico nell'edilizia - 2002/91/CE - ha imposto l'implementazione del rendimento energetico degli edifici, in funzione del benessere interno e dell'efficacia economica degli interventi, sulla base delle seguenti azioni:

- metodologia comune di calcolo del rendimento energetico degli immobili che considera l'intero sistema edificio-impianto, costituito dall'involucro edilizio, dagli impianti di climatizzazione, illuminazione e produzione di acqua calda e dalle fonti energetiche rinnovabili;
- requisiti minimi relativi al rendimento energetico degli edifici di nuova costruzione ed esistenti sottoposti a ristrutturazioni importanti;
- sistema di certificazione energetica degli edifici ed esposizione degli attestati di rendimento energetico negli immobili di proprietà pubblica. Gli attestati devono essere

- aggiornati ogni cinque anni e quando sono intervenute delle modifiche della qualità energetica degli edifici;
- ispezione periodica delle caldaie e degli impianti centralizzati di aria condizionata e valutazione degli impianti di riscaldamento dotati di caldaie installate da oltre 15 anni.

Essa pone ordine su tutte le questioni legate alla valutazione del rendimento energetico degli edifici, introducendo l'obbligatorietà di certificazione e di attestazione energetica degli immobili esistenti e di nuova costruzione. Secondo tale visione, la certificazione energetica deve identificare una procedura trasparente e confrontabile di analisi della qualità energetica degli edifici. Le misure sono state recepite a livello nazionale e locale dai diversi Paesi membri, attraverso l'elaborazione di uno schema di certificazione energetica che considera le specificità costruttive e tecnologiche locali.

La seconda direttiva sulla prestazione energetica nell'edilizia - 2010/31/UE - ha prodotto una svolta importante e cioè di raggiungere nel 2020 un drastico taglio delle emissioni di gas serra e di aumentare del 20% la quota delle fonti rinnovabili sul consumo totale di energia. Gli interventi proposti individuano l'obiettivo di una forte accelerazione del processo di miglioramento energetico e sono rivolti indistintamente agli edifici di nuova costruzione e al patrimonio edilizio esistente. Per gli edifici di nuova costruzione è necessario valutare la fattibilità tecnica, ambientale ed economica di sistemi alternativi ad alta efficienza come fonti rinnovabili, cogenerazione, teleriscaldamento, tele-rinfrescamento urbano o collettivo e pompe di calore. Per gli edifici esistenti è necessario garantire che l'involucro edilizio soddisfi i requisiti minimi di prestazione energetica, laddove le misure sono tecnicamente, funzionalmente ed economicamente realizzabili. Inoltre, nelle ristrutturazioni importanti è opportuno valutare i sistemi alternativi ad alto rendimento energetico. Gli Stati membri devono anche provvedere affinché entro il 31 Dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione siano edifici a energia quasi zero e a partire dal 31 Dicembre 2018 gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici siano edifici ad energia quasi zero. La Direttiva 2006/32/CE, sull'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici, obbliga altresì gli enti pubblici ad effettuare una diagnosi energetica in caso di interventi di riqualificazione immobiliare. Non è definita una procedura di diagnosi valida a livello europeo, ma viene lasciata la libertà ai diversi Stati di stabilire regole e metodi conformi con la legislazione nazionale, le procedure di certificazione energetica e le tecniche costruttive locali. Parallelamente, l'evoluzione del mercato energetico e la crescita del settore terziario a discapito dell'industria hanno accentuato l'importanza delle politiche e delle azioni rivolte alla domanda: l'utente finale svolge un ruolo centrale per la riduzione dei consumi energetici e delle emissioni di anidride carbonica. L'accresciuta sensibilità da parte dei clienti finali e degli operatori verso i temi dell'energia e dell'ambiente favorisce l'applicazione della normativa nazionale e delle direttive europee, creando le premesse per una crescita importante del mercato.

Da qui emerge che la Comunità Europea converge la propria attenzione su temi esclusivamente ambientali di efficienza e risparmio energetico perché principalmente preoccupata per le risorse chiaramente limitate della Terra e per l'impatto che ciascun edificio provoca sull'ambiente circostante. Sarebbe tuttavia riduttivo pensare che la qualità ambientale sia esclusivamente

legata al concetto "edificio-impianto", in quanto si è profondamente convinti che l'uomo, quale coprotagonista di questo processo di riqualificazione, debba essere considerato un ulteriore parametro di valutazione di quell'elevato livello di qualità che ci si prefigge di raggiungere. L'uomo abita lo spazio architettonico confinato, vive gli spazi aperti e dà vita a spazi di contaminazione: viene da noi considerato come componente attiva all'interno del sistema edificio-impianto, "edificio-impianto-uomo". Pertanto l'obiettivo del 2020, prerogativa di una riduzione sostanziale delle emissioni di CO₂ in ambiente, rappresenta un'occasione importante non solo per costruire nuovi edifici e riqualificare quelli esistenti con un elevato standard prestazione energetico, ma anche di ridurre fortemente i consumi di energia primaria intesa, in senso generale, come approvvigionamento di combustibile di qualsiasi natura, sia esso fossile (in misura sempre minore), sia elettrico e sia proveniente da fonti alternative e/o da processi di trasformazione, come ad esempio la cogenerazione. L'attenzione rivolta alla progettazione architettonica diventa preminente in quanto già ab origine l'edificazione deve contenere quei parametri espliciti e intrinseci che consentono agli spazi confinati e agli ambienti di riscaldarsi e raffrescarsi "autonomamente", senza ricorrere in via principale all'azione degli impianti. Di contro anche l'attenzione dei progettisti impiantistici nell'utilizzare sistemi di emissione funzionanti a basse temperature e sistemi di generazione capaci di produrre energia primaria sfruttando al massimo le risorse naturali, come ad esempio il calore presente nell'aria.

Lo studio di tesi intende mostrare e tradurre, attraverso vari step progettuali, le operazioni atte a riqualificare un edificio esistente, di proprietà dell'Azienda A.L.E.R. sito in Treviglio, provincia di Bergamo, in via Dei Mulini 10/20, la cui data di costruzione risale alla metà degli anni '70. Nel processo di riqualificazione verranno anche indicate le tecnologie oggi maggiormente utilizzate che correlate al sistema edificio-impianto, consentono di ottenere un edificio classificato come "Quasi Zero Energy". L'attenzione sarà quella di tener conto dei vincoli esistenti e della fattibilità concreta di realizzazione degli interventi, analizzando in modo approfondito, attraverso la documentazione di archivio messa a disposizione dall'azienda A.L.E.R., i processi di progettazione urbanistica ed architettonica, di costruzione e quindi l'utilizzo delle tecnologie dei materiali adottati e dello stato di conservazione del complesso edilizio preso in esame, anche attraverso approfondite verifiche in sito e analisi strumentali.

In collaborazione con l'ingegnere Massimo Ruotolo dell'A.L.E.R., Azienda Lombarda per l'Edilizia Residenziale della Provincia di Bergamo, abbiamo testato le nostre ipotesi di riqualificazione delle prestazioni energetiche traducendole in un progetto concreto. L'accesso ai dati storici ha consentito di conoscere in modo esauriente tutte le fasi di progettazione e costruzione del fabbricato esistente, attraverso la verifica dei dati progettuali (relazioni, elaborati e particolari costruttivi, progetto degli impianti e delle strutture) e i dati di appalto (capitolati speciali, schede dei materiali, ecc.).

1. Il caso studio: complesso residenziale A.L.E.R. a Treviglio

L'idea di partenza del lavoro di tesi è stata quella di riqualificare un edificio esistente e per poterlo fare si è deciso di contattare l'Azienda Lombarda per l'Edilizia Residenziale della Provincia di Bergamo, l'A.L.E.R. Tra i vari edifici esistenti che saranno oggetto di riqualificazione energetica e quindi per questo inseriti dall'azienda nel piano triennale di attuazione, si è selezionato l'edificio residenziale sito in Treviglio (BG) in via Dei Mulini, 10/20, di cui si dirà più avanti.

1.1 Informazioni riguardo all'A.L.E.R.

L'A.L.E.R. è un ente pubblico di natura economica (disciplinato dalla Legge regionale del 10/06/1996 n° 13 che ha trasformato gli Istituti Autonomi per le Case Popolari in aziende pubbliche), dotato di personalità giuridica, di autonomia imprenditoriale ed organizzativa, contabile e di proprio Statuto approvato dal Consiglio Regionale.

Gli interventi dell'ALER si inseriscono nell'ambito dell'edilizia residenziale sovvenzionata, agevolata e convenzionata mediante l'acquisto, la costruzione ed il recupero di abitazioni e di immobili di pertinenza. Tali interventi avvengono mediante programmi integrati e di recupero urbano, nonché di edilizia residenziale; sia tramite i finanziamenti di Stato, Regioni ed Enti locali, sia tramite l'utilizzo di risorse finanziarie proprie derivanti dai canoni di locazione, dalla vendita di immobili di proprietà e da utili di attività proprie. L' A.L.E.R. è un'Azienda con un patrimonio in continua crescita grazie anche all'investimento degli utili di bilancio che annualmente si realizzano. Ogni A.L.E.R. agisce territorialmente con ambiti provinciali, in Lombardia si contano appunto n. 12 aziende autonome di edilizia residenziale. Tale numero è destinato a diventare 8 a seguito della riforma delle province con l'accorpamento di alcune di esse.

1.1.1 La storia dell'A.L.E.R.

La storia dell' A.L.E.R. di Bergamo ha radici profonde nel tessuto sociale bergamasco. Nel 1902 l'onorevole Luigi Luzzati, sostenuto dal deputato bergamasco Gianforte Suardi, avanzò alla Camera dei deputati una proposta di legge che per la prima volta volgeva lo sguardo alla famiglia dell'operaio italiano ed ai grandi centri industriali in formazione. Tale iniziativa si poneva infatti come possibile soluzione al problema sociale dell'abitazione per le classi sociali più disagiate ed ai fenomeni dell'inurbamento e dell'industrializzazione allora in forte espansione.

Nel 1903 la proposta divenne legge ed il 28 Luglio 1906 nacque l'Istituto Case Popolari di Bergamo.

Da allora molti furono gli alloggi edificati ed assegnati sia in locazione che in vendita. Il primo lotto di edifici fu terminato nel maggio 1908 alla Malpensata, al quale fecero seguito i lavori presso il quartiere "Zognina". La prima Guerra Mondiale interruppe il completamento di quest'ultimo quartiere che venne poi ripreso alla fine del conflitto ed ultimato nel 1920. Da quella data le modalità di finanziamento vennero incrementate con nuovi e consistenti contributi statali e con l'appoggio del credito delle Banche locali grazie ai quali l'Istituto trovò nuovo vigore. Iniziarono così estesi interventi in Città Alta, in Città Bassa e per la prima volta in paesi del

comprensorio bergamasco, come Ponte S. Pietro, Treviglio e Gromo. Il secondo conflitto mondiale interrompe le attività intraprese, che verranno poi ultimate nel 1947 grazie ad un pacchetto di leggi che assicurano i fondi necessari al loro completamento. Fu così che nel 1948 venne terminato il quartiere Clementina, con 190 appartamenti per un totale di 844 vani. Ma è il 1949 l'anno che segna la più intensa ripresa della attività edilizia dell'Istituto, grazie ai contributi statali forniti dalla legge 408, conosciuta come "Piano Tupini", e alla legge 43, conosciuta come "Piano Ina-Casa". Quest'ultimo in particolare porterà alla realizzazione di 1975 alloggi per un totale di 9475 vani in città e provincia, mentre il "Piano Tupini" consentirà la realizzazione di 272 alloggi per un totale di 1354 vani.

Particolarmente significative negli anni successivi furono le leggi di soppressione di svariati enti (ex Gescal, ex Ina casa, ex Ises, ex Incis, etc) con conseguente devoluzione e affidamento della gestione del patrimonio allo IACP.

Dopo la stasi degli anni '70-'80, nei quali l'elevata inflazione con le conseguenti revisioni dei prezzi ha obbligato l'Istituto a ricercare finanziamenti integrativi per poter concludere i programmi costruttivi, finalmente con gli anni '80-'90 con la legge-quadro 457 del 1978 è stata data nuova linfa e vitalità al settore. Questa legge (piano decennale) ha modificato in modo sostanziale i criteri per l'erogazione dei finanziamenti: da erogazione periodica e disorganica di fondi si è passati a finanziamenti programmati e con cadenza pluriennale. Lo IACP, inoltre, ha operato quale "Stazione Appaltante" per moltissimi comuni della Bergamasca per l'attuazione dei programmi affidati dalla Regione alle Amministrazioni Comunali.

Negli anni '90, fino allo scioglimento dell'Istituto, divenuto con la legge regionale 13/96, Azienda Lombarda per l'Edilizia Residenziale, si è operato con i finanziamenti della legge 457/78, biennio '90/'91 e quadriennio '92/'95, oltre ai fondi derivanti dai risparmi sui canoni (art. 25 legge 513), con i quali si è provveduto alla ristrutturazione nel corso degli anni dei quartieri storici della città (via Luzzatti, via Carnovali, via 4 Novembre, villette quartiere Zognina).

In esecuzione della legge 560/93 si è proceduto, infine, alla vendita di parte del patrimonio, i cui proventi sono stati destinati a interventi di nuove costruzioni, ristrutturazioni, manutenzioni straordinarie, acquisto di nuovi edifici. Al 31/12/2003 l'A.L.E.R. è proprietaria di 5678 alloggi oltre a 2865 autorimesse e 63 unità ad uso uffici o commerciale. Inoltre gestisce 432 alloggi per conto dell'Agenzia del Demanio e più di 655 alloggi di proprietà Comunale e di altri enti.

Nel primo decennio del duemila si verificano in Italia e in Europa profonde trasformazioni nei programmi per l'edilizia residenziale pubblica, avendo gli enti pubblici rinunciato, se non per casi molto limitati, al proprio intervento diretto e dovendo comunque rivolgersi fondamentalmente alla partecipazione pubblico-privato.

Allo stesso tempo, non si è esaurita l'esigenza di case economiche, mentre soprattutto nelle aree periferiche, il patrimonio edilizio pubblico esistente presenta, in diversa misura nei diversi casi, sia negli edifici che negli spazi pubblici urbani all'aperto, evidenti segni di degrado e di inadeguatezza rispetto alle esigenze della società contemporanea.

Per affrontare quindi con maggiore consapevolezza le nuove sfide che la situazione impone, mi sembra utile ripercorrere brevemente le vicende dell'edilizia residenziale pubblica dalla seconda metà del secolo scorso, per comprendere aspetti positivi e negativi, confrontare successi e insuccessi e valutare qualità ed errori.

Sembra in particolare che le riflessioni sul passato prossimo, sulla sua storia e sui significati delle opere, possano costituire un contributo utile alle operazioni di ristrutturazione e rigenerazione dei quartieri di edilizia residenziale pubblica che sia in Italia, come già in tutta Europa, si stanno avviando con l'obiettivo di migliorare la qualità dell'ambiente, trasformando gli insediamenti esistenti senza cancellare le tracce delle vicende che hanno determinato le ragioni della loro realizzazione.

1.1.2 Attività dell'Azienda

L'Azienda ha il compito di soddisfare il fabbisogno di edilizia residenziale pubblica mediante la realizzazione di attività imprenditoriali purché strumentali o prevalentemente finalizzate alla propria funzione sociale ed opera con criteri di efficacia, di efficienza, di economicità nell'ambito dei poteri di coordinamento, indirizzo e di controllo che le Regione esercita ai sensi della legge regionale 10.6.1996, n.13, e sue successive modificazioni e/o integrazioni.

L'Azienda per l'attuazione dei propri fini potrà:

- attuare interventi di edilizia residenziale sovvenzionata, agevolata e convenzionata mediante l'acquisto, la costruzione ed il recupero di abitazioni e di immobili di pertinenza anche attraverso programmi integrati e programmi di recupero urbano, nonché programmi di edilizia residenziale. Per fare ciò saranno utilizzate le risorse finanziarie proprie e/o provenienti per lo stesso scopo da altri soggetti pubblici;
- acquistare, nell'ambito dei fini istituzionali, terreni fabbricabili, necessari all'attuazione degli interventi;
- progettare programmi integrati, programmi di recupero urbano, programmi di edilizia residenziale, e/o eseguire opere di edilizia e di urbanizzazione propri o per conto di enti pubblici o privati;
- svolgere attività per nuove costruzioni e/o recupero del patrimonio immobiliare esistente, collegate a programmi di edilizia residenziale pubblica;
- gestire il patrimonio proprio e di proprietà di altri enti pubblici comunque realizzato o acquisito, nonché svolgere ogni altra attività di edilizia residenziale pubblica rientrante nei fini istituzionali e conforme alla normativa statale e regionale;
- svolgere attività di progettazione, esecuzione, nonché di consulenza ed assistenza tecnica a favore di operatori nell'ambito dell'edilizia pubblica e privata mediante apposite convenzioni;
- predisporre piani e progetti in tema di abbattimento delle barriere architettoniche e di risparmio energetico oltre che del proprio patrimonio anche di quello di proprietà di altri enti pubblici e di operatori privati mediante apposite convenzioni;

- aderire ad associazioni regionali e/o nazionali che abbiano per fine la promozione di interessi dell'Azienda stessa;
- intervenire, mediante l'utilizzazione di risorse proprie non vincolate ad altri scopi istituzionali, con fini calmieratori sul mercato edilizio;
- formulare proposte agli enti istituzionali del settore sulle localizzazioni degli interventi di edilizia residenziale pubblica;
- svolgere ogni altro compito attribuito da leggi statali o regionali.

Per il perseguimento delle predette attività l'Azienda ha facoltà di partecipare, previa autorizzazione della Giunta regionale, con altri soggetti pubblici e privati, consorzi di imprese ed associazioni, a Società per Azioni che abbiano come oggetto sociale attività inerenti l'edilizia ai sensi dell'art.5 c.3 della L.R. 13/96, e sue successive modificazioni e/o integrazioni.

1.1.3 Il patrimonio

Il patrimonio dell'Azienda è costituito:

- dai beni mobili ed immobili già di proprietà dell'Istituto Autonomo per le Case Popolari della Provincia di Bergamo oltre che dai rapporti attivi e passivi già esistenti in capo al citato Istituto;
- da eredità, lasciti, donazioni ed elargizioni che pervengano all'Azienda, previa accettazione da parte del Consiglio di Amministrazione;
- dal patrimonio degli altri enti o Istituti Autonomi di Case Popolari e delle gestioni comunali e provinciali per le case popolari e delle gestioni speciali di cui venga disposta la fusione o incorporazione dell'Azienda;
- da tutti gli apporti di carattere patrimoniale conseguenti a disposizioni legislative;
- dal fondo di riserva ordinario e dagli utili devoluti ad aumento del patrimonio;
- da tutti i beni immobili e mobili comunque acquisiti in proprietà dall'Azienda nell'esercizio delle proprie attività;
- da partecipazioni azionarie, da obbligazioni o altri titoli inventariati a norma di legge.

1.1.4 Fonti di finanziamento

L'Azienda provvede al raggiungimento dei propri scopi mediante:

- i finanziamenti dello Stato, della Regione e degli enti locali destinati all'edilizia residenziale pubblica;
- i canoni di locazione degli immobili di proprietà secondo i criteri e le modalità stabilite dalla normativa vigente per l'edilizia residenziale pubblica;
- i fondi integrativi appositamente stanziati dalla Regione e dai Comuni per il perseguimento delle finalità inerenti la tutela delle fasce più deboli e le situazioni di particolare tensione abitativa;
- i proventi per spese tecniche e generali relative ai programmi di edilizia residenziale pubblica;
- i proventi derivanti dall'alienazione del patrimonio immobiliare;

- ulteriori entrate da altre attività;
- altre risorse destinate all'incremento dell'offerta abitativa, alla riqualificazione ed alla manutenzione del patrimonio abitativo, provenienti da finanziamenti appositamente stanziati dalla Regione;
- eventuali altre entrate derivanti da lasciti, legati e donazioni.

1.1.5 Organi dell'Azienda

Gli organi dell'A.L.E.R. sono:

- il Consiglio di Amministrazione, opera nell'ambito degli indirizzi stabiliti dal Consiglio Regionale, in accordo con la programmazione degli Enti locali territoriali, e svolge attività di programmazione e di indirizzo gestionale ed amministrativo; dura in carica 5 anni ed è composto da 7 membri (con l'ultima riforma in vigore dal 1 gennaio 2013 a 5 membri).
- Il Presidente, è il legale rappresentante dell'ALER, convoca e presiede il Consiglio di Amministrazione, assicura l'attuazione degli indirizzi fissati dal Consiglio, sovrintende al buon funzionamento dell'Ente e vigila sull'esecuzione delle deliberazioni. Il Presidente esegue gli incarichi affidatigli dal Consiglio di Amministrazione e, in caso di necessità e urgenza, adotta, sotto la propria responsabilità i provvedimenti di competenza del Consiglio che devono essere sottoposti alla ratifica del Consiglio stesso nella prima adunanza successiva.
- Il Direttore Generale, è nominato dal Consiglio di Amministrazione su designazione del Presidente. Al Direttore spetta la gestione finanziaria, tecnica e amministrativa, compresa l'adozione di tutti gli atti che impegnano l'Ente verso l'esterno, mediante autonomi poteri di spesa, di organizzazione delle risorse umane e strumentali e di controllo; il Direttore è responsabile della gestione e dei relativi risultati.
- Il Collegio dei Sindaci, ha la funzione di controllo sulla regolarità contabile e la vigilanza sulla gestione economico-finanziaria dell'Azienda.

1.1.6 La Carta dei Servizi

La "Carta dei Servizi" si pone quale obiettivo primario il miglioramento continuo della qualità del servizio fornito; con la "Carta dei Servizi" l'A.L.E.R. si impegna a fornire un servizio di qualità rispondente ai principi fondamentali riportati di seguito e a renderlo sempre più adeguato alle esigenze degli utenti. La "Carta dei Servizi" deve servire:

- a rendere più efficace, efficiente e trasparente l'attività dell'A.L.E.R.;
- a garantire all'inquilino un servizio migliore e tempi certi nello svolgimento delle attività che competono all'A.L.E.R.;
- a garantire il rispetto dei tempi per gli adempimenti dell'A.L.E.R. nei confronti degli utenti, che devono a loro volta osservare scrupolosamente i loro obblighi contrattuali.

Scopo della Carta è di illustrare le modalità in base alle quali l'A.L.E.R. eroga i propri servizi e di stabilire e garantire i diritti degli utenti. La "Carta dei Servizi" è un documento che vincola

l'A.L.E.R. ad osservare una serie di impegni, procedure e tempi nei confronti degli utenti. L'Azienda si ispira nella propria gestione a criteri di massima trasparenza ed imparzialità nei confronti degli utenti; garantisce l'imparzialità del trattamento a tutti gli utenti, senza alcuna discriminazione, per aree geografiche o per categorie di utenti nel rispetto delle vigenti normative; e si impegna a rimuovere eventuali inefficienze e ad attuare idonee iniziative per facilitare l'accesso ai portatori di handicap.

1.2 Edificio A.L.E.R.

L'edificio preso in esame è ubicato a Treviglio nella provincia di Bergamo, in Via dei Mulini, 10/20. L'area oggetto dell'intervento di forma trapezoidale confina a nord con via Bignamini, ad est con via Maglio, a sud con insediamenti residenziali privati esistenti e ad ovest si affaccia, oltre via dei Mulini, su una zona di verde incolto, un complesso residenziale e uno spazio verde adibito a spazio attrezzato per bambini. Treviglio è un comune italiano di 29.334 abitanti della provincia di Bergamo. Il comune si trova nella media pianura Padana, a circa 20 km in direzione sud rispetto al capoluogo orobico. Fondata nell'alto medioevo dall'unione di tre comuni a scopo difensivo, è attualmente il secondo comune della provincia per numero di abitanti; è capoluogo della Gera d'Adda e la sua posizione strategica è evidenziata dal crocevia di strade e ferrovie che la collegano con Bergamo, Brescia, Cremona, Lodi e Milano. La conformazione del centro storico di Treviglio ha un andamento ortogonale a causa della centuriazione romana; il primo nucleo difensivo, denominato castrum vetus, sorgeva nelle attuali piazza Manara, piazza Garibaldi e via Galliari ed era circondato da un fossato. In seguito esso è stato circondato da un secondo ordine di mura e da un triplice fossato che sorgeva al posto dell'attuale circonvallazione interna, appena al di fuori della quale, nella zona settentrionale, sorge il complesso edilizio oggetto di studio, come si può vedere nell'immagine sottostante.

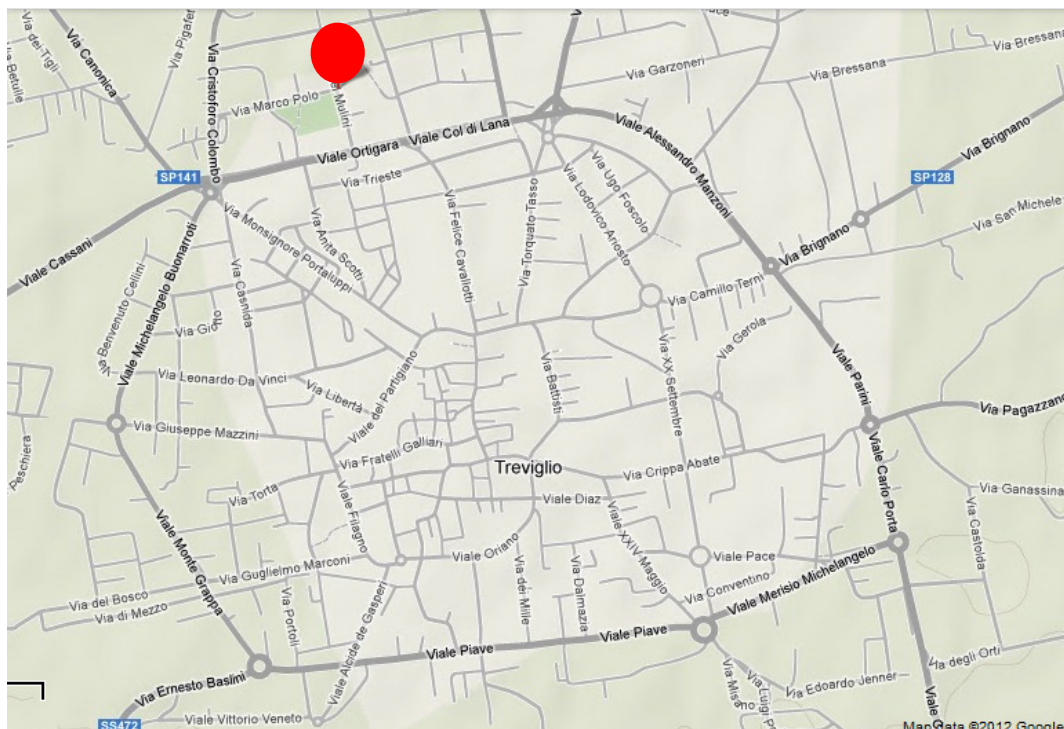


Figura 1.1 L'area di progetto situata al limite settentrionale della circonvallazione interne

La realizzazione del complesso risale all'anno 1975, su progetto dell'architetto Bruno Gobbi. Si tratta di un complesso residenziale che si sviluppa su quattro piani fuori terra: al piano terra ci

sono le autorimesse di pertinenza dei residenti e sui successivi tre piani vi sono gli alloggi (Figura 1.2); circondato da porzioni asfaltate per l'accesso delle automobili alle autorimesse e spazi di verde ora incolto (Figura 1.3). A fianco della roggia che corre lungo il fronte est del complesso, gli abitanti hanno realizzato piccoli spazi destinati alla coltivazione di ortaggi (Figura 1.4). Nella zona più a nord, il progetto iniziale prevedeva uno spazio destinato a parcheggi, come si può vedere nell'immagine 1.5, ma questo non è mai stato realizzato e con gli anni è diventato un luogo inutilizzato di verde incolto, nel quale si sono creati piccoli percorsi di passaggio e collegamento tra il complesso residenziale e via Bignamini. Vi è anche un locale tecnico interrato, al quale si accede per mezzo di una scala a chiocciola, posizionato anch'esso sul fronte est in modo che sia accessibile, ma poco visibile dai punti di accesso al complesso (Figura 1.6); locale che, come vedremo, anche nel progetto di riqualificazione, manterrà il suo ruolo di locale tecnico, con il sistema di impianti costituito dalle pompe di calore che verrà posizionato sulla copertura dello stesso.



Figura 1.2 Zoom della facciata dove si mostrano le autorimesse al piano terra e i successivi tre piani ad uso residenziale



Figura 1.3 Percorso carrabile di accesso alle rimesse sul fronte ovest del complesso residenziale



Figura 1.4 Orto creato da un residente lungo la roggia

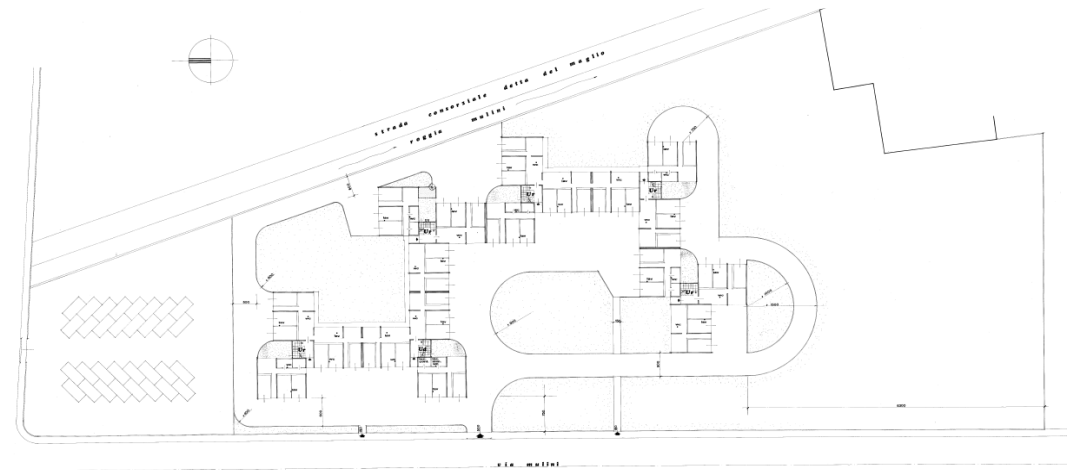


Figura 1. Errore. Per applicare o al testo da visualizzare in questo punto, utilizzare la scheda Home.5 Sistemazione esterna dell'area, su progetto del 1975 dell'architetto Bruno Gobbi



Figura 1.6 Ingresso al locale tecnico interrato per mezzo di una scala a chiocciola, posizionato sul fronte ovest

Per quanto riguarda l'edificio, come è stato accennato, ha funzione residenziale, costituito da 6 fabbricati comprendenti 54 alloggi per 270 vani complessivi, distribuiti su tre piani; avente al piano terra 54 autorimesse di pertinenza degli alloggi e 13 locali di uso comune dislocati sui 6 vani scala.

L'esecuzione dell'opera è stata fatta in osservanza delle seguenti normative:

- Legge 20 Marzo 1865 n. 2248 allegato F;

- Regolamento per la direzione, contabilità e collaudazione dei lavori dello Stato, emanate con R.D. 25 Maggio 1895 n. 350;
- Capitolato Generale di appalto per le opere di competenza del Ministero dei Lavori Pubblici approvato con D.P.R. 16 Luglio 1962 n. 1063, con avvertenza che tutte le attribuzioni deferite, ai sensi del Capitolato stesso e norme da esse richiamate a persona o Ente al di sopra della Direzione Lavori, dovessero intendersi attribuite agli Organi superiori dell'Istituto.

Come si può osservare dall'immagine sottostante (Figura 1.7), il progettista ha ideato una cellula che ha poi ripetuto più volte all'interno dell'intero complesso, ruotandola e adeguandola alle esigenze. Poiché dalla fine degli anni '60 agli inizi degli anni '90, l'allora progettista dello I.A.C.P., l'architetto Bruno Gobbi, dovendo far fronte ai numerosi finanziamenti dei comuni di cui alla legge 865 del 1971, ha ideato una progettazione modulare semplice ma altamente funzionale, basata sulla definizione di una cellula abitativa che, opportunamente composta, consentiva di velocizzare l'architettura dei diversi edifici; quello preso in esame è appunto un prodotto di tale modalità operativa. Ogni cellula è costituita da soggiorno, munito di balcone, con uno spazio ingresso e un ripostiglio, e un disimpegno che conduce alla cucina, al bagno e alle due camere da letto. Come si diceva poc'anzi, sono sei fabbricati, in quanto si hanno 6 vani scala, ciascuno servente 3 cellule, per un totale di 18 cellule. Fanno eccezione solamente le cellule adiacenti posizionate più a nord, separate dalla parete divisoria con giunto di dilatazione, dove uno dei due appartamenti sacrifica una camera per cederla a quello adiacente. Nel complesso, si hanno quindi, per ogni piano, 14 appartamenti con due camere, due con una sola camera e i corrispondenti due con ben tre camere. Come si vedrà nei paragrafi successivi, la riqualificazione di progetto dell'edificio cercherà di uniformare questa suddivisione, portando tutti gli appartamenti ad avere due camere e ad avere quindi 18 alloggi di uguale dimensione e forma.

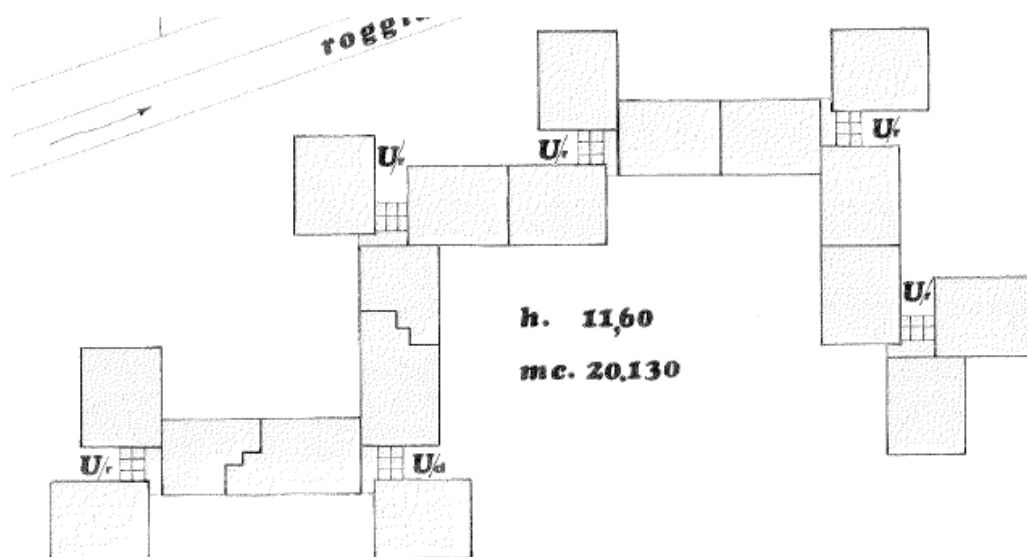


Figura 1.7 Planimetria del complesso esistente, dove si può notare la suddivisione in sei fabbricati, ciascuno costituito da un vano scala e tre cellule

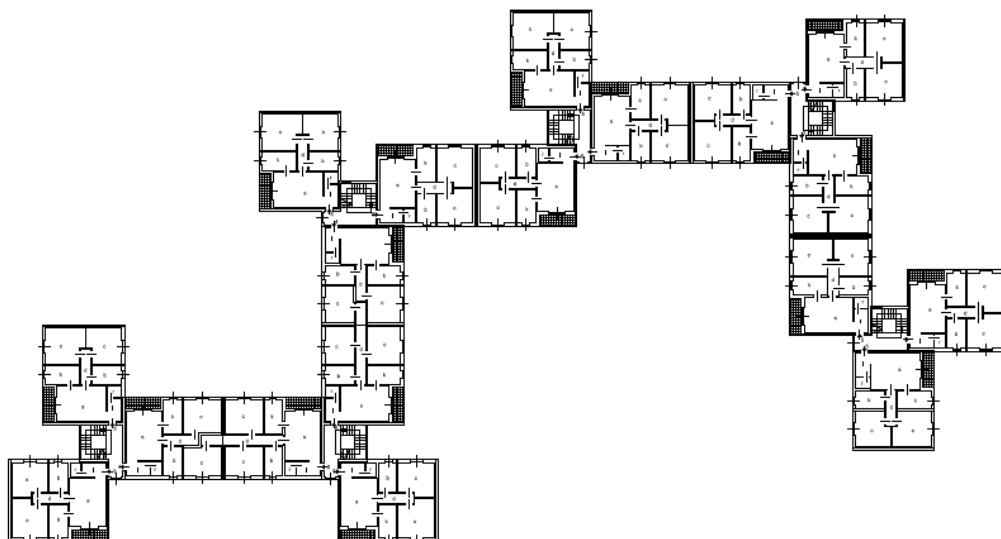


Figura 1.8 Planimetria del piano tipo dell'edificio, dove si può notare la progettazione degli spazi di ogni cellula che costituisce il complesso

E' possibile notare dalle foto dell'edificio e dai prospetti la presenza di parti sfondate in corrispondenza dei soggiorni, infatti grazie agli ombreggiamenti indotti, viene attenuato nel periodo estivo il fenomeno del surriscaldamento ambientale, oltre che produrre alla visualità un effetto movimentato.

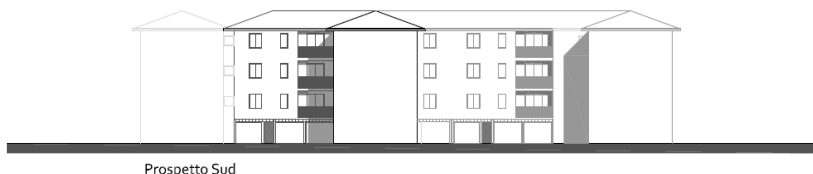


Figura 1.9 Prospetto ovest dove si può notare l'effetto movimentato della facciata



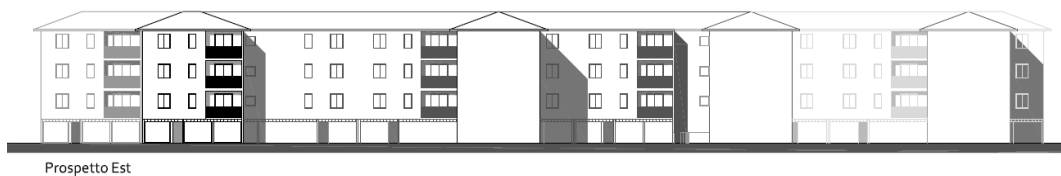
Prospecto Ovest

Figura 1.10 Prospecto Ovest



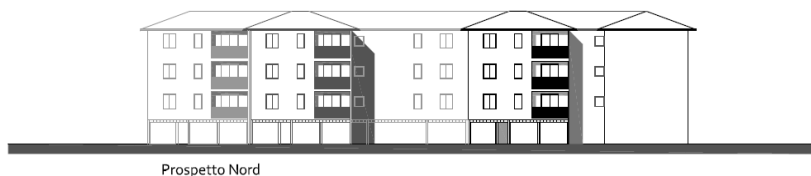
Prospecto Sud

Figura 1.11 Prospecto Sud



Prospecto Est

Figura 1.12 Prospecto Est



Prospecto Nord

Figura 1.13 Prospecto Nord

L'edificio in linea presenta un doppio affaccio contrapposto, garanzia di un riscontro d'aria naturale. La distribuzione degli ambienti favorisce il passaggio delle correnti d'aria che avendo via di sbocco rappresentano un effetto benefico naturale in termini di ventilazione, sia a supporto del ricambio d'aria indoor che per il contenimento dei carichi estivi durante i mesi più caldi.

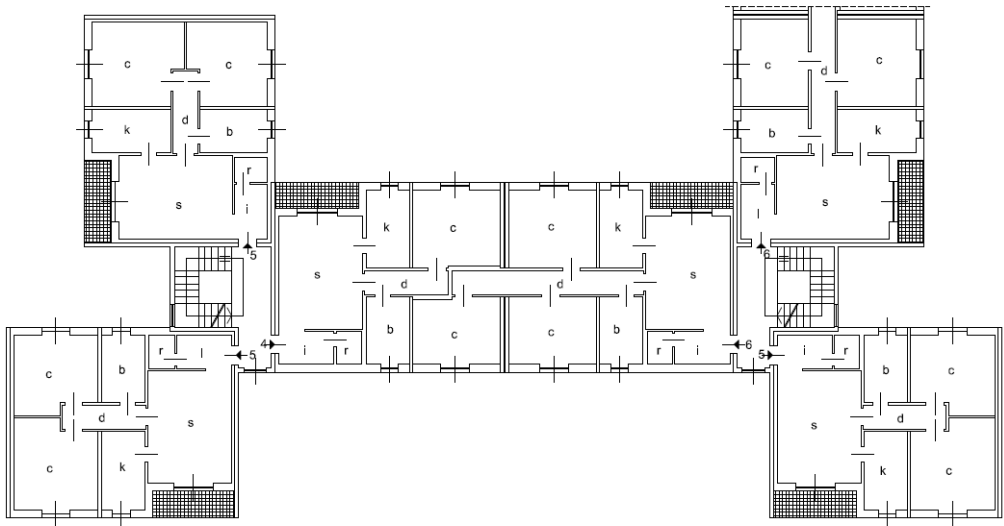


Figura 1.14 Dettaglio della cellula tipo con particolare riferimento alla suddivisione degli spazi interni, anche in corrispondenza della parete divisoria tra alloggi con giunto di dilatazione

La struttura portante di ogni cellula è costituita da tre quinte in cemento armato con interasse di 4 e 6 metri, dislocate sui lati corti della cellula stessa; in tutto il complesso le quinte perimetrali restano cieche, impedendo quindi alla luce di entrare negli appartamenti, i quali presentano però tutti un doppio affaccio dato dai muri di tamponamento esterni, posizionati sui lati lunghi della cellula, che presentano ciascuno doppie aperture finestrate, costituite da serramenti apribili di dimensioni 89 x 152.5 cm e di 139 x 152.5 cm, corrispondenti ai vani serviti dal disimpegno, e da un'apertura più ampia, costituita da serramento scorrevole, in corrispondenza del soggiorno, di dimensioni 189 x 242.5 cm che permette l'accesso al balcone.

I serramenti scelti dal progettista sono caratterizzati da un telaio in materiale metallico e vetri del tipo isolante costituiti da due cristalli planimetrici, muniti di persiane avvolgibili (Figura 1.15).

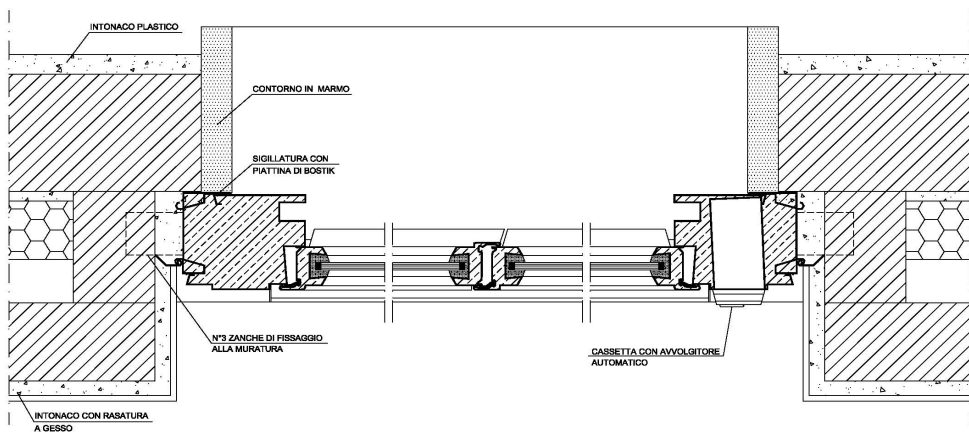


Figura 1.15 Serramento costituito da telaio metallico e vetri del tipo isolante

Per quanto riguarda le strutture opache dell'edificio, va precisato che ci sono diverse tipologie: la quinta perimetrale e il muro sul vano scala, caratterizzate da uguale stratigrafia, muro perimetrale, muro sotto finestra, cassonetto, quinta divisoria tra alloggi, con e senza giunto.

La quinta perimetrale e il muro su vano scala, strutture che dividono locali riscaldati dall'esterno, la prima, e da locali non riscaldati la seconda, sono costituite da uno strato esterno in cemento armato, costituito da calcestruzzo di sabbia e ghiaia, dallo spessore di 15 cm, rivestito con malta di cemento, uno strato isolante di fibra di vetro e feltro resinato dallo spessore di 3 cm, mattone forato da 8 cm anch'esso rivestito da 1 cm di malta di cemento e infine, sul lato interno, uno strato di intonaco di gesso puro da 5 mm (Figura 1.16), per uno spessore totale di 35 cm. La quinta perimetrale è caratterizzata da una trasmittanza termica pari a $U = 0.868 \text{ W/m}^2\text{K}$, mentre il muro su vano scala da $U = 0.811 \text{ W/m}^2\text{K}$; come si vede, entrambi non rispettano i valori imposti da normativa.

**PARTIZIONE VERTICALE OPACA:
QUINTA PERIMETRALE E
MURO SU VANO SCALA
35 cm**

- MALTA DI CEMENTO 1.5 cm
- STRUTTURA PORTANTE IN C.A. 15 cm
- ISOLANTE IN FIBRE DI VETRO 3 cm
- INTERCAPEDINE 6 cm
- MATTONI FORATI 8 cm
- MALTA DI CEMENTO 1 cm
- INTONACO DI GESSO PURO 0.5 cm

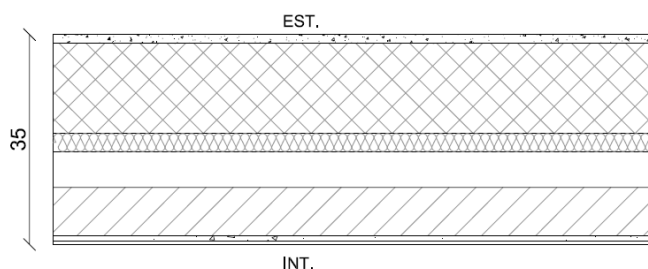


Figura 1. Errore. Per applicare o al testo da visualizzare in questo punto, utilizzare la scheda Home.16
Stratigrafia della quinta perimetrale e del muro su vano scala

Il muro perimetrale, dallo spessore totale di 35 cm, è costituito da mattone forato da 12 cm rivestito su entrambi i lati da malta di cemento e su quello esterno da intonaco plastico, uno strato isolante in fibra di vetro e feltro resinato dallo spessore di 6 cm, intercapedine d'aria debolmente ventilata da 4.5 cm, mattone forato da 8 cm rivestito da malta di cemento e intonaco in gesso puro (Figura 1.17). il muro perimetrale presenta trasmittanza termica pari a $U = 0.529 \text{ W/m}^2\text{K}$, valore superiore a quello ammissibile.

**CHIUSURA VERTICALE ESTERNA
MURO PERIMETRALE 35 cm**

- INTONACO PLASTICO 0.5 cm
- MALTA DI CEMENTO 1.5 cm
- TAVOLATO 12 cm
- MALTA DI CEMENTO 1 cm
- ISOLANTE IN FIBRE DI VETRO 6 cm
- INTERCAPEDINE 4.5 cm
- TAVOLATO 8 cm
- MALTA DI CEMENTO 1 cm
- INTONACO DI GESSO PURO 0.5 cm

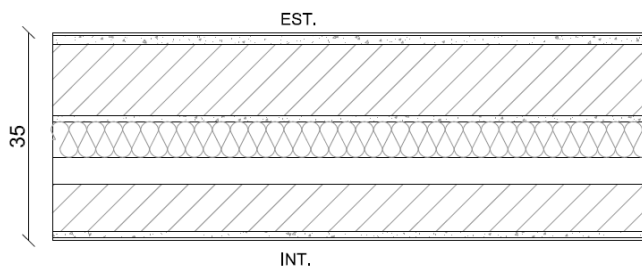


Figura 1.17 Stratigrafia del muro perimetrale

Il muro sotto finestra, nonostante si inserisca sul muro perimetrale, ha uno spessore più ridotto, pari a 24.5 cm, costituito da mattone forato da 12 cm rivestito su entrambi i lati da malta di

cemento e su quello esterno da intonaco plastico, uno strato isolante in fibra di vetro e feltro resinato dallo spessore di 2 cm, mattone forato da 6 cm rivestito da malta di cemento e intonaco in gesso puro (Figura 1.18). Viene eliminata la camera d'aria debolmente ventilata, e questo fa aumentare ulteriormente il valore della trasmittanza termica della parete ($U = 0.926 \text{ W/m}^2\text{K}$).

CHIUSURA VERTICALE ESTERNA
MURO SOTTO FINESTRA 24.5 cm
 INTONACO PLASTICO 0,5 cm
 MALTA DI CEMENTO 1,5 cm
 TAVOLATO 12 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 ISOLANTE IN FIBRE DI VETRO 2 cm
 TAVOLATO 6 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 INTONACO DI GESSO PURO 0,5 cm

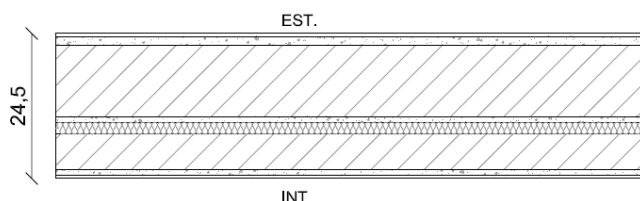


Figura 1.18 Stratigrafia del muro sotto finestra

In presenza del cassonetto del serramento, il muro perimetrale cambia conformazione: resta il mattone forato da 12 cm rivestito sul lato esterno da malta di cemento e intonaco plastico, vi si aggiungono 27 cm di intercapedine debolmente ventilata, uno strato da 1 cm di polistirene espanso sintetico in lastre e un rivestimento da 2 cm in acciaio, per un totale di 42.2 cm e un valore di trasmittanza molto elevato e altamente al di sopra dei valori consentiti, pari a $U = 1.122 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 1.19)

CHIUSURA VERTICALE ESTERNA
MURO CON CASSONETTO 42.2 cm
 INTONACO PLASTICO 0,5 cm
 MALTA DI CEMENTO 1,5 cm
 TAVOLATO 12 cm
 INTERCAPEDINE D'ARIA 27 cm
 ISOLANTE IN POLISTIRENE 1 cm
 ACCIAIO 0,2 cm

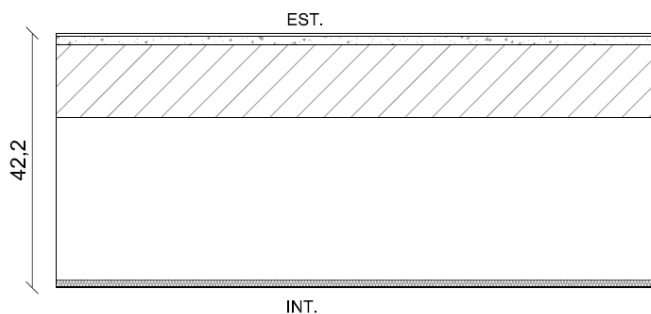


Figura 1.19 Stratigrafia del muro perimetrale con la presenza del cassonetto del serramento

La quinta divisoria tra alloggi è costituita da due strati di mattone forato da 8 cm rivestito su entrambi i lati da malta di cemento e su quello esterno da intonaco di calce e gesso, mentre su quello interno da intonaco di gesso puro; tra questi due strati vi sono 15 cm di cemento armato composto da calcestruzzo di sabbia e ghiaia, per uno spessore totale di 36 cm e un valore di trasmittanza termica pari a $U = 1.268 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 1.20).

**QUINTA DIVISORIA INTERNA
TRA ALLOGGI 36 cm**
 INTONACO DI GESSO PURO 0,5 cm
 MALTA DI CEMENTO 1,5 cm
 TAVOLATO 8 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 STRUTTURA PORTANTE IN C.A. 15 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 TAVOLATO 8 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 INTONACO DI CALCE E GESSO 0,5 cm

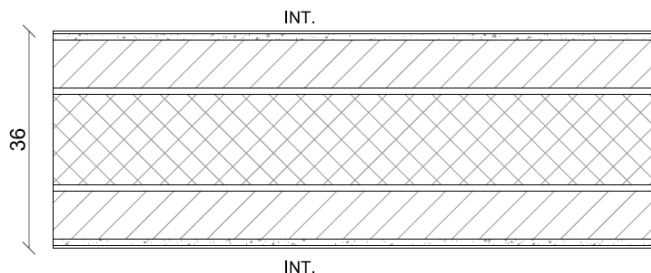


Figura 1.20 Stratigrafia della quinta divisoria tra alloggi

Laddove vi è il giunto di dilatazione, la struttura è pressoché identica a quella precedente, l'unica cosa che cambia è che invece di avere uno strato unico di cemento armato ne abbiamo due da 15 cm ciascuno, separati da un'intercapedine d'aria debolmente ventilata da 4 cm, che funge appunto da giunto di dilatazione. Lo spessore totale del pacchetto diventa di 55 cm e il valore della trasmittanza termica risulta essere pari a $U = 1.001 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 1.21)

**QUINTA DIVISORIA INTERNA
TRA ALLOGGI CON GIUNTO 55 cm**
 INTONACO DI GESSO PURO 0,5 cm
 MALTA DI CEMENTO 1,5 cm
 TAVOLATO 8 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 STRUTTURA PORTANTE IN C.A. 15 cm
 INTERCAPEDINE 4 cm
 STRUTTURA PORTANTE IN C.A. 15 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 TAVOLATO 8 cm
 MALTA DI CEMENTO 1 cm
 INTONACO DI CALCE E GESSO 0,5 cm

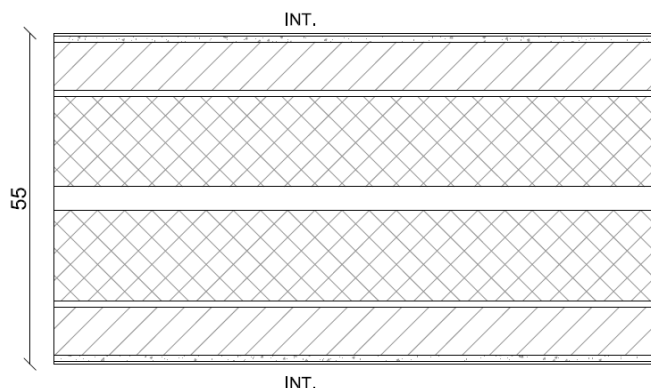


Figura 1.21 Stratigrafia della quinta divisoria tra alloggi con giunto di dilatazione

Per quanto riguarda invece le chiusure orizzontali opache, si hanno due diverse tipologie: il solaio in copertura del piano terra, che a sua volta si divide tra pavimento sulle zone porticate e pavimento sulle autorimesse, che nella riqualificazione progettuale diventeranno pavimento su porticato maggiormente isolato e pavimento su locali riscaldati cambiando destinazione da autorimesse a esercizi commerciali o comunque spazi flessibili; e il soffitto sotto tetto.

Il pavimento su porticato è costituito da una soletta in laterizio dallo spessore di 20 cm, su cui sono poggiati un massetto in calcestruzzo con rete da 2 cm, un sottofondo di cemento magro da 3 cm, uno strato di calcestruzzo di argilla espansa da 5 cm, il tutto rivestito con piastrelle in marmo da 3 cm. Questa è la struttura del solaio progettata nel 1975; negli anni '80 l'A.L.E.R. ha aggiunto, al di sotto della soletta, uno strato di isolante in fibra di vetro e feltro resinato dallo spessore di 8 cm rivestito con una lamiera in alluminio di 2 mm come protezione dagli agenti esterni, ottenendo una struttura con uno spessore totale pari a 41.2 cm e un valore di trasmittanza termica pari a $U = 0.418 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 1.22).

**CHIUSURA ORIZZONTALE (PT-P1)
PAVIMENTO SU PORTICATO 41.2 cm**

PAVIMENTO IN PIASTRELLE MARMETTE 3 cm
C.L.S. DI ARGILLA ESPANSA 5 cm
SOTTOFONDO DI CEMENTO MAGRO 3 cm
CALDANA 2 cm
SOLETTA IN LATERIZIO 20 cm
ISOLANTE IN FIBRA DI VETRO 8 cm
ALLUMINIO 2 mm

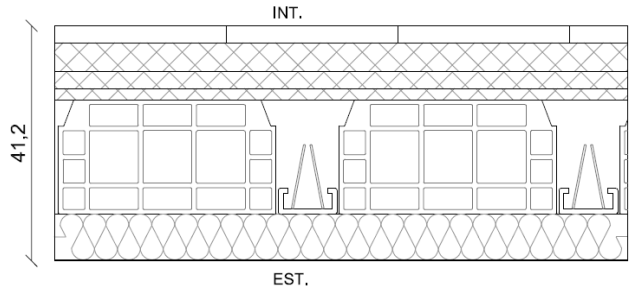


Figura 1.22 Stratigrafia del pavimento su porticato

Il pavimento su box è costituito dagli stessi strati della struttura precedente, qui però non si è potuto aggiungere lo strato isolante in mancanza di spazio sufficiente affinché l'apertura delle chiusure delle autorimesse non fosse compromessa. Il pacchetto totale ha uno spessore di 34.5 cm e un valore di trasmittanza termica molto più elevato e pari a $U = 0.972 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 1.23).

**CHIUSURA ORIZZONTALE (PT-P1)
PAVIMENTO SU BOX 34.5 cm**

PAVIMENTO IN PIASTRELLE MARMETTE 3 cm
C.L.S. DI ARGILLA ESPANSA 5 cm
SOTTOFONDO DI CEMENTO MAGRO 3 cm
CALDANA 2 cm
SOLETTA IN LATERIZIO 20 cm
MALTA DI CALCE O DI CALCE E CEMENTO 1.5 cm

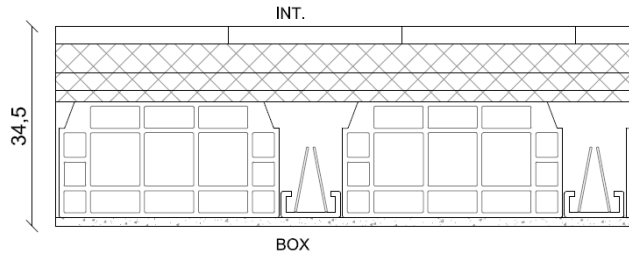


Figura 1.23 Stratigrafia del pavimento su box

Il soffitto sotto tetto è costituito da una soletta in laterizio dallo spessore di 20 cm, rivestita all'estradosso inferiore da uno strato di malta di calce o di calce e cemento dallo spessore di 1.5 cm, su cui sono poggiati un massetto in calcestruzzo con rete da 2 cm e uno strato di calcestruzzo di argilla espansa da 5 cm, per uno spessore totale di 28.5 cm e con un valore di trasmittanza termica pari a $U = 1.183 \text{ W/m}^2\text{K}$ (Figura 1.24).

**CHIUSURA ORIZZONTALE
SOFFITTO SOTTO TETTO 28.5 cm**

C.L.S. DI ARGILLA ESPANSA 5 cm
CALDANA 2 cm
SOLETTA IN LATERIZIO 20 cm
MALTA DI CALCE O DI CALCE E CEMENTO 1.5 cm

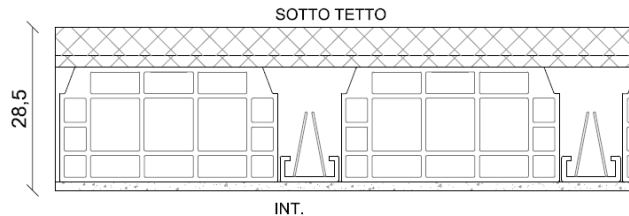


Figura 1.24 Stratigrafia del soffitto sotto tetto

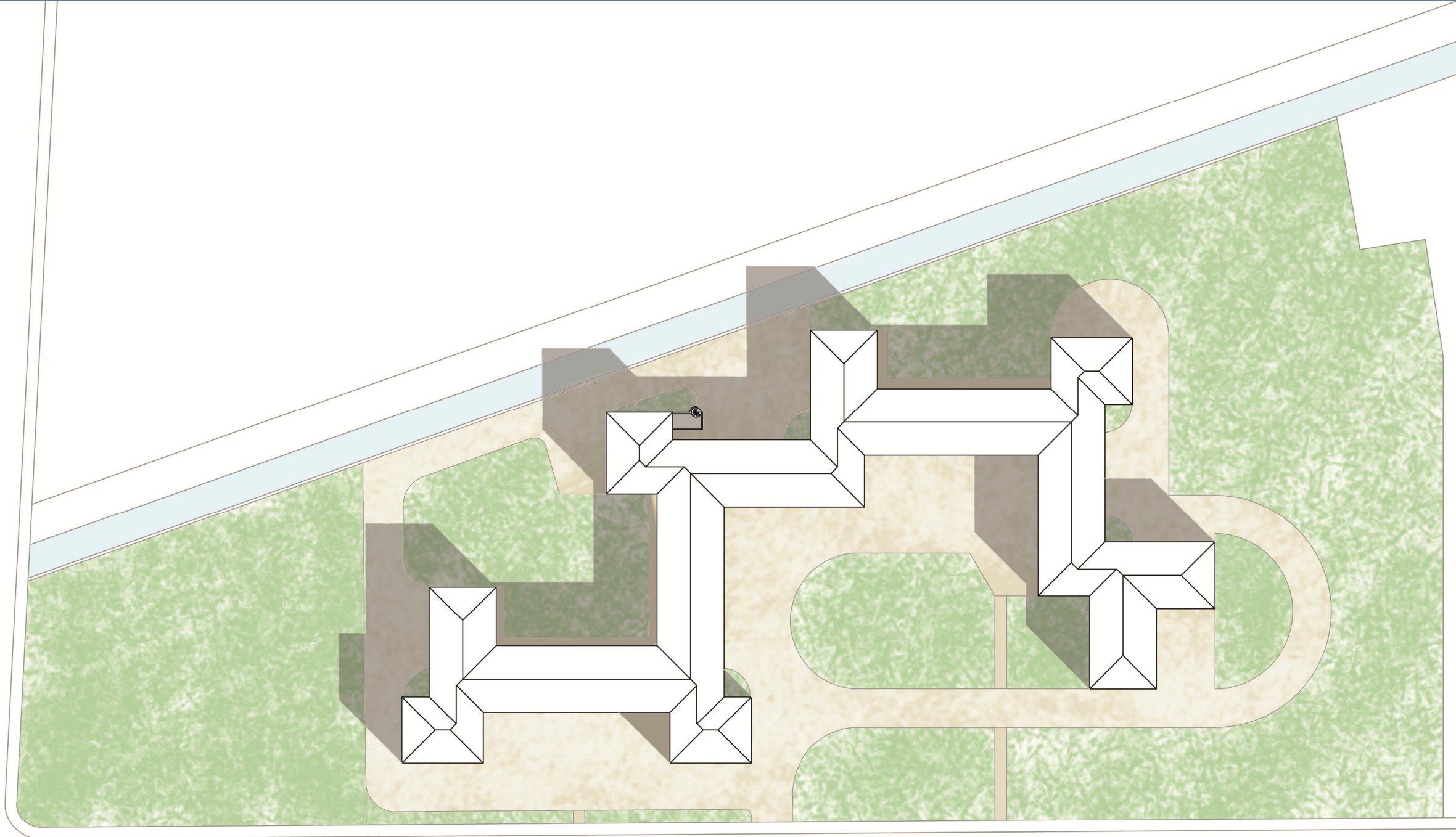


Tavola 1 Stato di fatto: Planivolumetrico

Via Bignamini

Strada consorziale detto del maglio
Roggio Mulini



Via Dei Mulini



Tavola 2 Stato di fatto: Planimetria generale

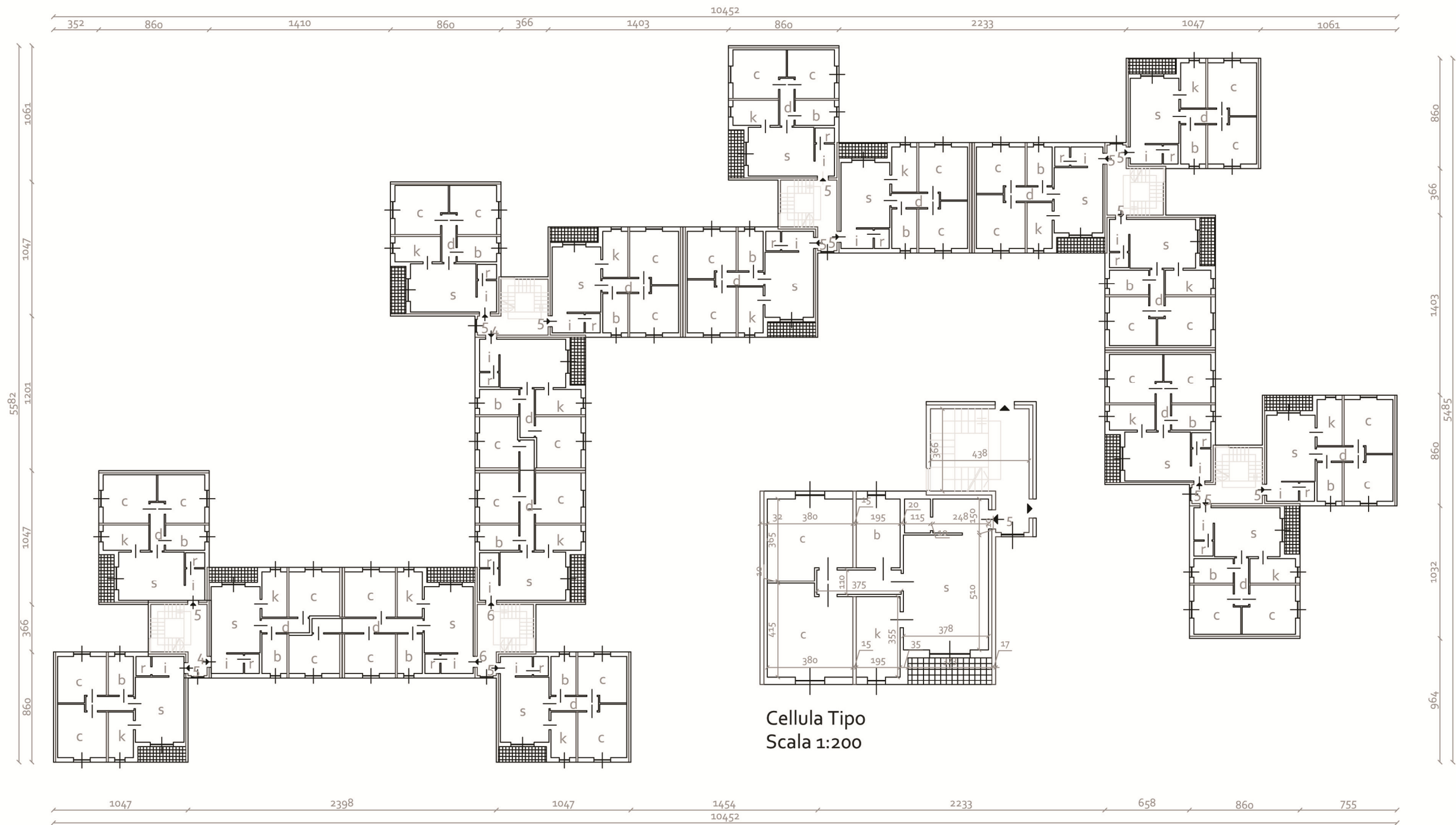
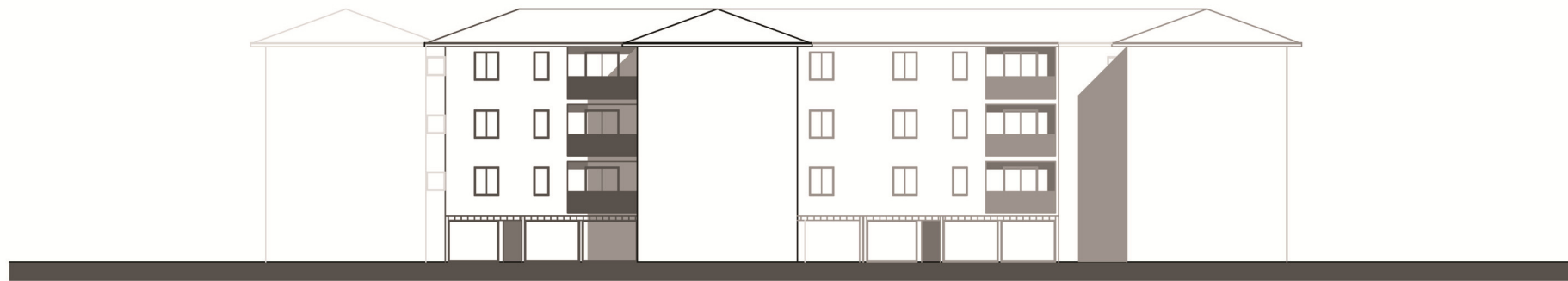


Tavola 3 Stato di fatto: Pianta piano tipo



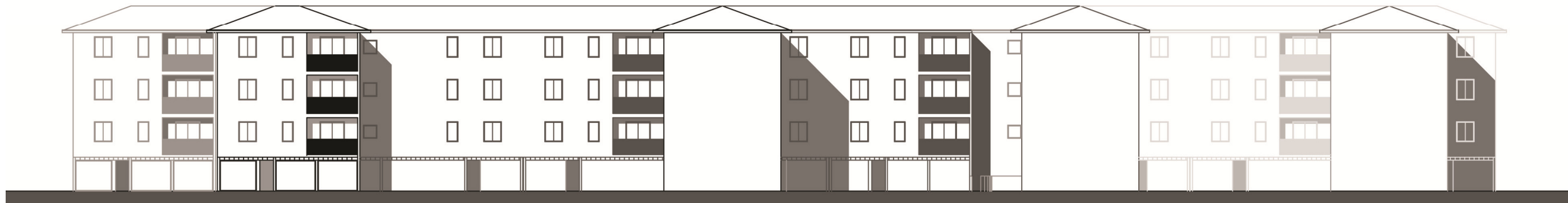
Prospetto Ovest



Prospetto Sud

0 3 6 9 12 15





Prospetto Est



Prospetto Nord

0 3 6 9 12 15



2. Obiettivi e strategie di progetto

Il fine del progetto di tesi è relazionarsi con l'esterno non solo a livello urbanistico, ma anche a livello sociale, non ultimo l'aspetto energetico che verrà ampiamente descritto nel capitolo 3. Il luogo di progetto ha a nostro avviso grandi potenzialità: ampi spazi da riprogettare e riqualificare da un punto di vista architettonico, sociale ed energetico.

Lo spazio aperto assume un'importanza significativa nel progetto: inteso come spazio pubblico, diventa momento di incontro, di scambio, di interrelazione.

Nella tavola di progetto della sistemazione esterna del 1975 è evidente la volontà del progettista, l'architetto Gobbi, di non porre alcuna recinzione all'area di proprietà dell'edificio, quasi a voler sottolineare la vera natura di una costruzione simbolo di accoglienza. Questo carattere di non inclusione diventa all'interno del nostro progetto significativo: infatti come rievocazione di una sorta di memoria storica, si è voluto enfatizzare la volontà di aprirsi verso l'esterno progettando lo spazio aperto, pubblico, come un vero spazio comune, di incontro: la piazza, vero momento di aggregazione, a ovest in posizione centrale, sulla quale si affacciano gli spazi commerciali, gli orti urbani, a sud dell'edificio, il verde per i più piccoli posizionato a est. Come su progetto dell'architetto Gobbi, a nord dell'edificio sono stati ricollocati i parcheggi di pertinenza degli inquilini dell'A.L.E.R. in modo da poter assicurare un posto auto per ciascun alloggio.

L'obiettivo preminente è scaturito da un'attenta analisi del luogo grazie al sopralluogo effettuato; ci si è immediatamente resi conto che l'area possedeva ottime potenzialità, sia per gli spazi già esistenti, come le aree verde attrezzate, che per quelle un po' più carenti e sicuramente da sviluppare, come gli spazi commerciali. Da qui la voglia e il desiderio di donare una vivibilità al luogo di progetto, perché convinti che l'abitare significhi vivere un luogo dove ci si possa sentire bene sia fisicamente che psicologicamente; per questo motivo si vuole cercare di fondere due sensibilità progettuali sicuramente molto diverse tra loro, ma che possono essere approfondite parallelamente per poi congiungersi in unico progetto: l'attenzione al risparmio energetico e contemporaneamente alla qualità degli spazi sociali.

Per ciò che concerne il risparmio energetico approfondiremo il discorso nel capitolo 3, mentre in questa precisa sede si andrà ad approfondire le linee guida del progetto di tesi. Nello specifico, all'interno dell'area da riqualificare, si hanno tre diversi momenti architettonici: gli spazi aperti, gli spazi di contaminazione e gli spazi privati.

Gli spazi aperti, come sopra solo accennati, assumono alto valore sociale: sono spazi di condivisione, di interrelazione, spazi assolutamente di non inclusione.

2.1.1 La piazza

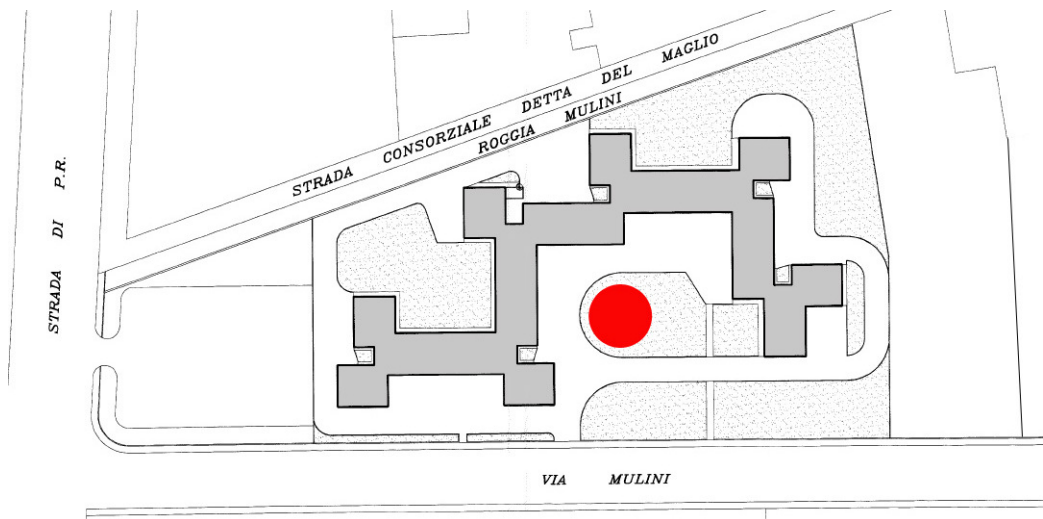


Figura 2.2 Individuazione della piazza all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.

Fulcro della riqualificazione architettonica dello spazio pubblico è la piazza sulla quale si affacciano gli spazi commerciali, ossia gli spazi di contaminazione. La "piazza" ha sempre avuto nella storia della città un ruolo rappresentativo, "civile" o "religioso"; a volte sono dei veri e propri vuoti urbani senza alcun ruolo, ma nel progetto di tesi la piazza continuerà ad avere il significato di luogo di incontro e di luogo di accoglienza, grazie alla presenza di un verde di cui godere, alle sedute per potervi sostare e ai negozi di prima necessità dislocati al piano terra, donandole così non solo un ruolo significativo all'interno del progetto, ma anche una posizione determinante al livello urbanistico cittadino.

Vi è sicuramente un richiamo alla distribuzione urbanistica della Grecia antica: la rievocazione storica del concetto di agorà (in greco ἀγορά, da ἀγείρω = raccogliere, radunare).

L'agorà greca nel suo significato etimologico possiede svariate sfumature: è sia assemblea, intesa come riunione, che luogo di riunione, intesa come piazza, che piazza del mercato. Con un unico termine si sintetizza tutto ciò che la piazza di progetto vorrebbe essere.

La piazza è stata anche ideata secondo la linea generatrice dell'acqua: la roggia che affianca l'area assume rilevanza prioritaria a livello progettuale; infatti, l'acqua come elemento primario per lo sviluppo degli spazi aperti attorno all'edificio da riqualificare, ricopre il ruolo di vera protagonista all'interno del progetto.

La piazza è innanzitutto uno spazio interamente pedonale, dotata di percorsi, di sedute e di verde. Oggi tutta l'area di progetto che circonda il complesso residenziale è completamente carrabile, dal momento che il piano terra è dedicato esclusivamente alle autorimesse. Come verrà spiegato nel paragrafo 2.1.4, si è dunque intervenuti eliminando i garage di pertinenza

degli alloggi al piano terra dell'edificio, in modo da rendere l'area che si affaccia su via dei Mulini completamente pedonale.

La piazza è attraversata da canali di scolo, paralleli e perpendicolari rispetto al corso della roggia, che suddividono lo spazio in tante grandi aree; le aree venutesi a formare, caratterizzate anch'esse dalla presenza del verde, diventeranno momenti di incontro e di scambio, grazie anche alla giustapposizione di sedute. Lo spazio in generale è a disposizione degli abitanti del quartiere e verrà ravvivato dall'organizzazione di particolari eventi.

Il verde della piazza è organizzato per richiamare gli orti dislocati a sud dell'area di progetto; la piazza infatti diventa una sorta di hortus conclusus, grazie al richiamo dell'acqua e della natura. In questo modo vogliamo che la piazza mantenga la qualifica di spazio di socializzazione, richiamando allo stesso tempo quello che succede nell'area limitrofa.

La piazza diventa anche spazio ludico-didattico: si è pensato che possa diventare un ampio "laboratorio" dove i bambini possano giocare con la terra e i suoi prodotti, per imparare e riconoscere la natura divertendosi.

Le parole chiave sono quindi "ritorno alla terra", alla tradizione, ai nostri più profondi antichi valori, non in modo temporaneo, ma perenne. Si porta alla ribalta l'uso degli orti, simbolo del prendersi cura della terra, aspetto ludico-educativo, come detto appena sopra, per bambini e ragazzi, elemento bello, utile e buono.

Ciò che si vuole fare è donare alla piazza un aspetto sobrio e naturale, perché ciò che la qualificherà sarà il singolo abitante e il suo desiderio di sostarvi.

Il significativo sforzo di riqualificazione dell'edificio A.L.E.R. a energia quasi zero, viene palesato anche dall'adagiamento dei pannelli fotovoltaici di produzione di energia elettrica degli alloggi e delle parti comuni, quali l'illuminazione degli spazi di distribuzione, l'illuminazione esterna e dei porticati ecc.. I pannelli sono sparsi nella piazza seguendo la logica distributiva dei percorsi e oltre ad avere la prima funzione di generatori di energia, diventano anche delle piccole coperture alle panchine giustapposte nelle aree verdi. Ecco quindi la volontà di mostrare fin da subito a chi entra ed esperisce dello spazio aperto e pubblico che l'edificio è stato oggetto non solo di riqualificazione architettonica, ma anche energetica.

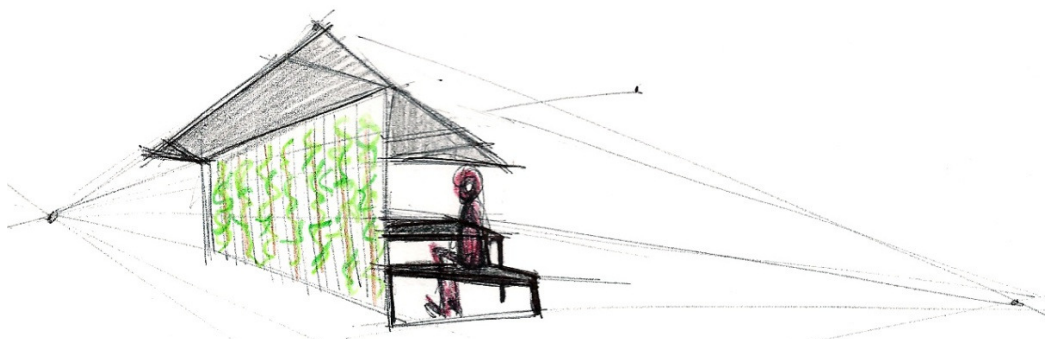


Figura 2.3 Schizzo dei pannelli fotovoltaici a copertura delle panchine nelle aree verdi

All'interno dell'agorà troviamo delle sedute in pietra lineari dettate dalla linea direttrice dei percorsi; grazie al posizionamento di queste ultime all'interno dello spazio pubblico, si può garantire ai cittadini di trarre vantaggio dalle interrelazioni e dallo scambio sociale, di cui poco fa si è detto, oltre che di godere della quiete della natura che li circonda.

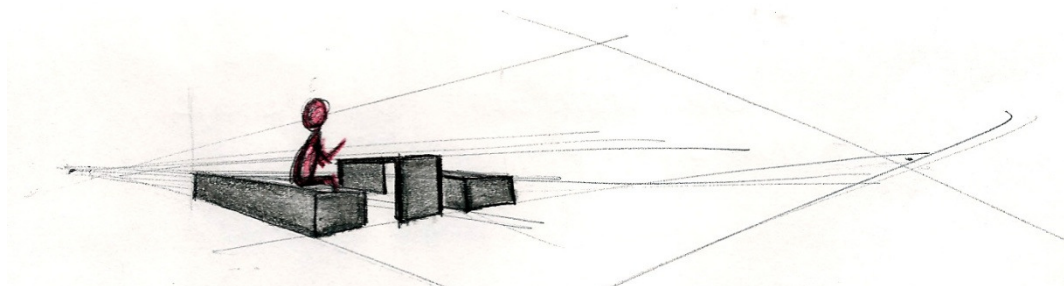







Figura 2.4 Schizzo delle sedute dislocate nell'area verde

La piazza che si affaccia su via dei Mulini ha tutte le potenzialità per poter diventare un piccolo polo attrattivo del quartiere: in primo luogo è collocato poco distante dal centro città, ma sufficientemente distante per poter essere uno spazio a tutti gli effetti utilizzato; in secondo luogo il complesso residenziale è facilmente raggiungibile grazie al passaggio nelle immediate vicinanze di viale Ortigara, strada urbana ad alto scorrimento (nonostante il traffico dovuto a una delle arterie principali che collegano la periferia al centro cittadino l'area è assolutamente vivibile grazie al verde che la qualifica); in terzo luogo la piazza e gli spazi aperti, progettati attorno all'edificio, possono diventare un valido appoggio al "mercato" che ogni mercoledì dell'anno occupa l'ampio parcheggio in via Bignamini, distante solo un centinaio di metri dalla nostra area di progetto. Possiamo quindi affermare che i due fattori principali che qualificano il nostro progetto sono lo spazio verde, in continuità con l'area circostante, e lo spazio commerciale, sempre in diretto contatto con la tradizione del mercato.



Figura 2.5 Nell'immagine sono state individuate l'area di progetto , la roggia  la affianca e le diverse tipologie di verde riscontrate dopo la nostra analisi: verde pubblico attrezzato , verde pubblico non attrezzato  e verde incolto 

Come si evince dall'immagine qui sopra (figura 2.5) l'area di progetto è localizzata in una zona del territorio dove i mq di suolo occupato dagli edifici sono pressoché uguali ai mq delle aree dedicate al verde, pertanto si ravvede un giusto equilibrio tra edificato e le zone pertinenti di asservimento.

Le zone adibite a verde hanno caratteristiche differenti:

- il verde pubblico attrezzato (figura 2.6), campito nell'immagine precedente in basso a sinistra, oggi ospita un nuovissimo campo da calcetto, una pista da skateboard, un parco ludico per ragazzi e panchine su cui rilassarsi, mentre lo spazio campito in alto nell'immagine è completamente dedicato ai bambini, un piccolo parco giochi con scivolo e altalene, il tutto coronato da un adeguato impianto di illuminazione esterno progettato tenendo conto di un grado di illuminamento superiore ai valori minimi consentiti dalla norma (5 lux/mq).



Figura 2.6 Verde pubblico attrezzato collocato a sud-ovest dell'area di progetto

- il verde pubblico non attrezzato (figura 2.7), campito nell'immagine 2.5 in posizione basso-centrale, consiste in un verde curato, ornato di piante; nonostante la presenza positiva costituisca un polmone all'interno del quartiere andrebbe qualificato per fornire maggiori spazi di vivibilità e di utilizzo da parte dei residenti del quartiere.



Figura 2.7 Verde pubblico non attrezzato collocato a sud-ovest dell'area di progetto

- il verde incolto a nord dell'area di progetto (figura 2.8) consiste oggi in uno spazio senza ruolo e senza significato che si è pensato di riqualificare, come si mostrerà nel paragrafo 2.1.4 in quanto facente parte dell'area di pertinenza all'edificio A.L.E.R..



Figura 2.8 Verde incolto a nord dell'area di progetto

Nella figura 2.9 si evince invece quali luoghi siano attualmente adibiti a mercato, all'interno della città.



Figura 2.9 Localizzazione in rosso dei mercati della città di Treviglio, mentre il quadrato arancione individua l'area di progetto

Il mercato principale è quello settimanale "merci varie" del sabato, nell'area compresa tra Piazza Cameroni, via Crivelli, via Dalmazia, via XXIV Maggio e via Diaz, evidenziato nell'immagine con il numero 1; nella stessa zona, nell'area interna dell'immobile comunale di piazza Cameroni ogni mercoledì mattina si tiene il "Mercato dei produttori agricoli" e all'interno dell'immobile ogni giorno opera un piccolo mercato ortofrutticolo. Quotidianamente, in Piazza Garibaldi, all'interno del centro storico, è presente il "mercato del centro" con soli banchi di generi alimentari,

contrassegnato nell'immagine col numero 2. Terzo e ultimo mercato, segnalato nell'immagine con il numero 3, si tiene ogni mercoledì nell'area adibita a parcheggio in via Bignamini, nella zona nord della città, a meno di cento metri dall'area di progetto.

Come si nota nell'immagine sopra riportata (figura 2.9) è plausibile pensare che la zona a nord sia un'area con un grande potenziale: un'area in espansione che ha bisogno esclusivamente di essere riqualificata.

Vista l'entità del quartiere, quasi al centro dello stesso, è stata ubicata la chiesa con antistante la piazza di ritrovo, nel mentre, poco distante, si incontra anche un istituto di scuola media inferiore e un asilo, definendosi un'area completamente attrezzata.

All'interno dello spazio progettato, la piazza risulta in realtà un vero e proprio spazio diaframmatico, una separazione tra lo spazio propriamente pubblico e uno spazio di contaminazione: la piazza come diaframma e come momento architettonico.

La piazza si interpone tra l'edificio e la strada proprio perché possa diventare l'elemento filtro del progetto; si vuole rimarcare che il complesso residenziale porta con sé ancora quel carattere di accoglienza che lo contraddistingue e il segno architettonico che sembra più rappresentativo è quello di creare uno spazio diaframmatico tra la strada e l'edificio; la strada, luogo di passaggio, è uno spazio rigorosamente pubblico, il piano terra dell'edificio residenziale è luogo di incontro e infine la piazza, allo stesso tempo pubblica e luogo dove lasciarsi contaminare, diventa il collegamento tra due spazi così diversi tra loro.

L'idea alla base del progetto della piazza è più che altro la volontà di creare una continuità tra tutti gli spazi aperti che circondano l'edificio di proprietà dell'A.L.E.R..

La piazza è un vero momento di sintesi progettuale: ha in sé le caratteristiche di tutti gli altri spazi verdi, come in primo luogo l'acqua che diventa il principio generatore dello spazio, gli orti e l'area giochi quest'ultima, aspetto ludico e didattico.

La piazza rappresenta l'unità di tutti gli spazi aperti: infatti, come in un ciclo, ciascuno spazio influenza l'altro. L'idea degli orti che nasce da molti fattori tra cui la presenza di acqua in prossimità, ha gettato le basi alla progettazione dello spazio ludico-educativo; il tutto confluisce all'interno della piazza, elemento propulsore dell'area di progetto.

Se per la progettazione architettonica degli spazi aperti la piazza ha una valenza preponderante, per la riqualificazione delle prestazioni energetiche del complesso edilizio A.L.E.R. la riduzione dei consumi rappresenta l'elemento peculiare, costituendosi un filo conduttore tra architettura e ingegneria.

2.1.2 Gli orti urbani

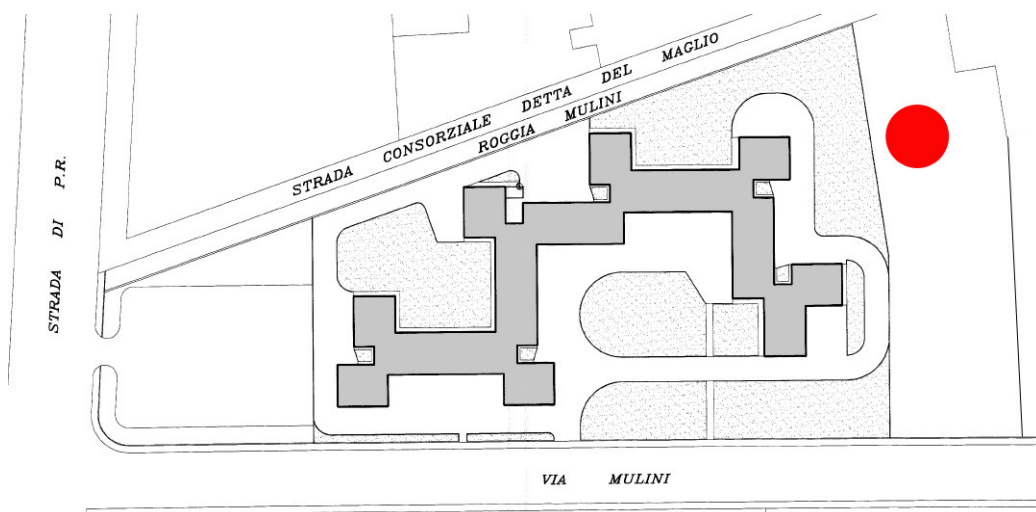


Figura 2.10 Individuazione degli orti urbani all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.

Il territorio comunale di Treviglio si estende su una superficie di circa 30 chilometri quadrati pressoché interamente pianeggiante. Esso confina con i comuni di Arcene, Castel Rozzone, Caravaggio, Calvenzano, Casirate d'Adda, Cassano d'Adda e Fara Gera d'Adda. Treviglio è uno dei comuni appartenenti all'area denominata "Gera d'Adda bergamasca" porzione di pianura compresa tra i fiumi Adda e Serio situata a sud della linea del Fosso Bergamasco, sino ai confini con il territorio provinciale cremonese. Tale area si configura come una pianura irrigua resa particolarmente fertile dell'acqua derivata dall'Adda e dal Brembo e ivi condotta attraverso un complesso sistema di rogge e canali e, nella sua porzione meridionale, dalla presenza di numerosi fontanili. Parte del territorio rientra nel Parco Regionale dell'Adda.

Le origini di questo lembo occidentale della bassa pianura bergamasca sono direttamente legate alle dinamiche fluviali dell'Adda e del Brembo, dai quali oggi derivano le numerose rogge che attraversano il territorio, come le "rogge Trevigliesi", provenienti da Brembate o le rogge Vignola, Vailata da Fara Gera d'Adda, la roggia Brambilla da Pontirolo Nuovo o, ancora, il canale Ritorto. Alcuni canali sono alimentati dai fontanili di cui è ricca l'area. La zona di Pontirolo Nuovo è interessata da consistenti interventi antropici di escavazione di sabbia e ghiaia che hanno modificato profondamente il paesaggio dell'area. Le cave che intercettano la falda freatica hanno permesso la formazione di bacini lacustri di diversa dimensione, alcuni dei quali sono stati riqualificati con la cessazione dell'attività estrattiva. La Gera d'Adda è il settore della pianura bergamasca che più ha mantenuto una ricca dotazione floristico-vegetazionale e un paesaggio vegetale diversificato. Sono ancora frequenti le fasce boscate lungo l'Adda e sulle scarpate morfologiche, così come appare consistente la rete di siepi, di macchie e fasce arboree tra i coltivi e lungo il corso dei numerosi fontanili e canali che solcano il territorio. La descritta morfologia si ripropone in scala più ridotta all'interno del quartiere ove è ubicato il complesso edilizio residenziale e di cui si è già descritto nei paragrafi precedenti.

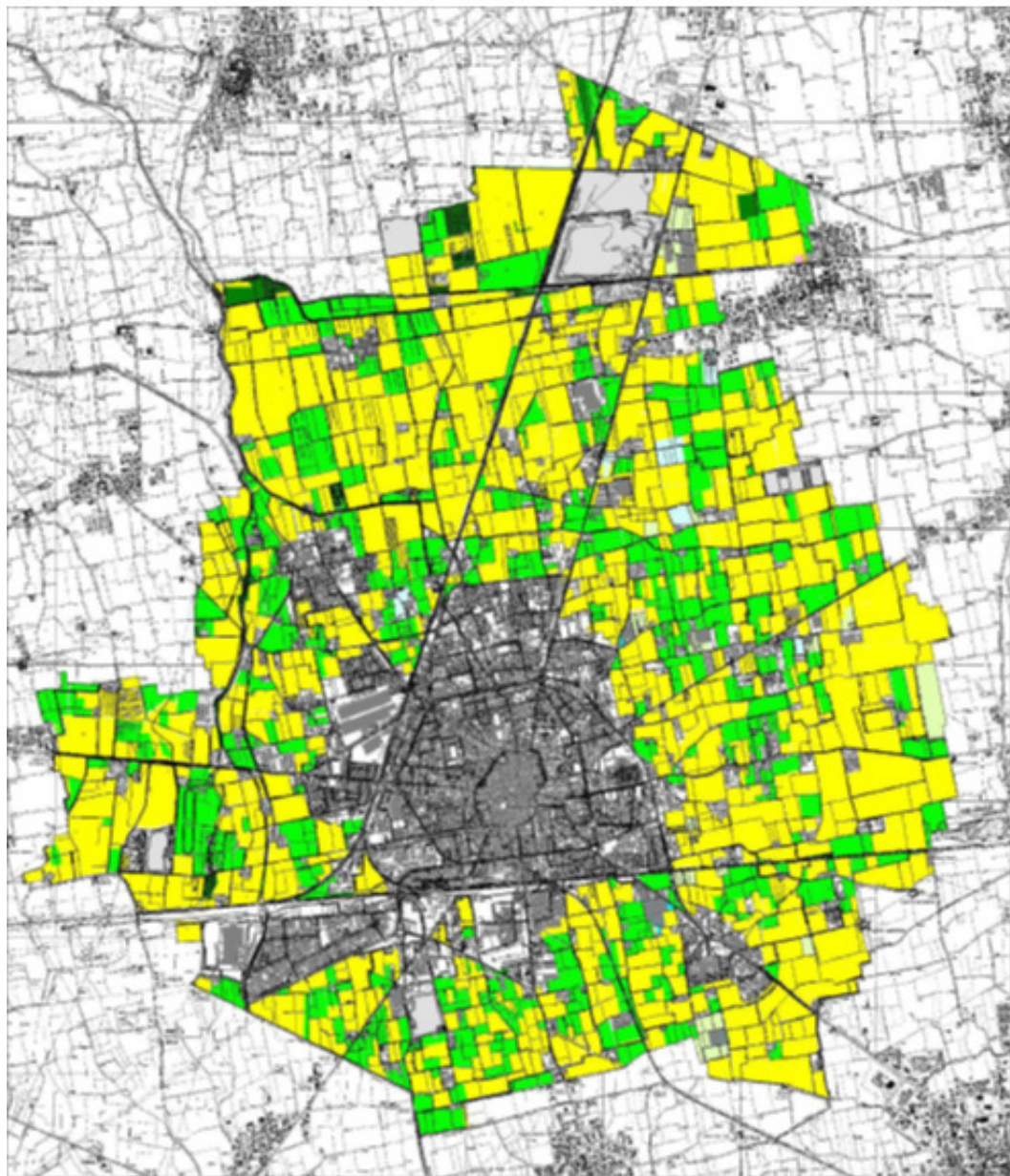


Figura 2.11 Predominanza di campi adibiti a semina (individuati con il colore giallo) e di aree dedicate a prati (nella mappa con il colore verde acido); nella zona più settentrionale del territorio trevigliese si notano anche aree boschive, individuate con il colore verde scuro

A spunto di ciò, si è quindi pensato di inserire all'interno dell'intervento di progetto uno spazio interamente dedicato agli orti urbani. Per la città di Treviglio l'agricoltura, insieme al commercio, è stata predominante fino a pochi decenni fa e ancora oggi la periferia è caratterizzata da distese di campi da coltivazione intensiva anche a livello industriale; infatti la maggior parte del territorio è coltivato a seminativo, con colture cerealicole e foraggere tipiche del comparto agricolo produttivo della pianura padana (mais, orzo, frumento, erba medica, prato stabile, ecc.),

quindi colture proteiche e oleaginose (soia, colza) ed, infine, altre colture agrarie meno diffuse (ad esempio patata). Ciò giustifica anche la presenza nel quartiere di cui trattasi di un punto di commercializzazione di prodotti agricoli biologici. È discretamente diffuso anche il prato stabile tradizionalmente inserito, per la produzione di fieno, nell'ordinamento colturale delle aziende zootecniche con bovini da latte. Una certa rilevanza ha anche la coltivazione di ortaggi sia in pieno campo che in coltura protetta, così come le coltivazioni vivaistiche, sia a pieno campo sia in serra, finalizzate alla produzione di piante ornamentali. Assolutamente trascurabile risulta, invece, la diffusione di frutteti, limitata a piccoli appezzamenti ad uso familiare.

È evidente che oggi più che mai l'attenzione ad una progettazione ecosostenibile delle città, in tutte le sue espressioni, riservando una maggiore attenzione all'individuo, diventa indispensabile. Uno degli aspetti da considerare, per rendere le città sostenibili, è la crescente domanda di recupero del rapporto tra uomo e natura.

L'idea degli orti urbani è scaturita principalmente dalla volontà di raggiungere l'obiettivo di cui abbiamo parlato in precedenza, ossia di creare nuovi rapporti tra gli abitanti, nuovi scambi e nuove interrelazioni. Gli orti urbani, infatti, possono essere il mezzo per recuperare socialmente i rapporti umani e ricucire il territorio, diventando quindi un ampliamento dello spazio della vita domestica, di condivisione e arricchimento con l'altro. Sono nuovi polmoni verdi per le città, con un ruolo importante anche dal punto di vista bioclimatico, mediante l'evapotraspirazione delle piante che contribuiscono alla mitigazione delle temperature estive, aspetto peculiare analizzato nella definizione degli ombreggiamenti quale sistema di neutralizzazione dei carichi estivi, inoltre contrastano il degrado e l'abuso di cemento degli agglomerati urbani di notevole volumetria e impatto. Sono luoghi di scambio di esperienze che aiutano a vivere in modo più sostenibile la città, quasi una sorta di terapia data da spazi educativi ambientali. Oggi è diventata quasi una moda l'orto sotto casa, sul terrazzo o sul tetto, tuttavia, mode a parte, ciò proviene dall'esigenza dettata dalla voglia di rieducarsi ad una vita qualitativamente migliore.

L'inserimento degli orti urbani diventano anche il modo per dare continuità ad un'attività già presente nel lotto di progetto: infatti gli inquilini dell'edificio dell'A.L.E.R con operosità negli anni hanno creato dei piccoli orti nella zona sud-est dell'area di progetto, come è possibile vedere nell'immagine sottostante (figura 2.12).



Figura 2.12 Gli orti sulle sponde della roggia

Il lato orientale del lotto di progetto confina con una piccola roggia (figura 2.13): è significativo sottolineare che alcuni degli orti già esistenti sono sorti proprio sulle sponde di questo piccolo canale, simbolo in qualche modo di fertilità.



Figura 2.13 Il roggio Mulini

Ripercorrendo la memoria storica del luogo si è quindi pensato di portare all'interno del lotto di progetto una radicata tradizione come quella della coltivazione, attività che gioverebbe

sicuramente agli anziani, presenza sempre più numerosa occupante gli edifici A.L.E.R. e responsabili della cura degli orti; ciò permetterebbe agli stessi di dedicare buona parte della giornata ad un'attività sana che fornisce anche l'occasione di relazionarsi con gli altri addetti alla cura dell'orto. Dato che è noto che la disponibilità degli alloggi A.L.E.R., oggi sempre in misura maggiore bacino di utenza dei cittadini stranieri per la maggior parte emigrati da paesi del continente africano, generalmente con prole numerosa, non è raro notare che la presenza e l'impegno che ne scaturisce nella coltivazione degli orti, possa diventare un momento di aggregazione sociale trovandosi a diretto contatto generazioni profondamente diverse e con tradizioni opposte e poco conosciute.

All'interno del progetto gli orti urbani sono stati collocati nella zona sud dell'area, innanzitutto per la vicinanza del corso d'acqua e in secondo luogo perchè sembra fondamentale tenere in considerazione l'esperienza di coloro che coltivano la terra e che hanno pensato di collocare gli orti proprio in quella zona; infatti il successo dell'orto dipende principalmente da quattro elementi: l'esposizione al sole, la disponibilità di acqua, la qualità della terra, ed infine il fattore umano.

Seguire l'esperienza delle persone che per anni si sono occupate della coltivazione della terra è importante e rivela che la zona dove oggi sorgono gli orti, ovvero a sud, è la migliore esposizione possibile; a sud infatti non vi sono mai zone d'ombra perché si è sempre esposti verso il sole e quindi è possibile garantire alle colture la crescita più idonea. La luce e il calore del sole sono elementi quindi fondamentali. La fruibilità di siffatta esposizione, e peraltro senza ostacoli, ha contribuito a migliorare le prestazioni energetiche del complesso edilizio potendo installare campi solari, sia essi fotovoltaici che termici, sfruttando al massimo l'irraggiamento solare della zona.

Il secondo fattore è la disponibilità dell'acqua: le piante orticole hanno bisogno di acqua ed è per questo motivo che gli orti urbani sono sorti vicino alla roggia che affianca l'area di progetto.

La qualità del terreno e la capacità dell'uomo di coltivare la terra sono anch'essi fattori importanti: gli orti rigogliosi e ben curati oggi esistenti lo dimostrano.

La collocazione degli orti è stata anche progettata, oltre che per i bisogni dell'assegnatario e della sua famiglia, per la vendita diretta degli ortaggi, dal produttore al consumatore, seguendo una filosofia di consumo a km zero. La vendita degli ortaggi è tutelata dalla presenza di uno spazio commerciale, al piano terra dell'edificio residenziale, ma considerata la presenza di tre mercati all'interno della città, di cui uno a meno di cento metri dall'area di progetto (cfr. figura 2.9), è possibile pensare di poter vendere i prodotti anche al di fuori dell'area di produzione, sempre comunque limitatamente al territorio cittadino.

Gli orti urbani sono stati pensati come l'insieme di superfici coltivabili che abbiano a loro supporto elementi di servizio, quali ad esempio strutture per il ricovero degli attrezzi, per la raccolta dei rifiuti vegetali e spogliatoi, ed elementi di protezione e delimitazione, quali tettoie e pensiline, arbusti e cespugli, recinzioni e cancellate. All'interno degli orti è previsto un impianto di irrigazione e un percorso di distribuzione interna. Per tener conto dell'aspetto energetico che

si traduce in minor consumi, sono stati inseriti pannelli fotovoltaici integrati nelle coperture per creare aree di ombreggiatura sui percorsi e sugli spazi verdi di sosta e di riposo.

Se venisse fatta una fotografia del nostro territorio, si potrebbe vedere che sono molti i comuni italiani che già da diverso tempo hanno preso coscienza della domanda e stanno cercando di dare risonanza alle richieste dei cittadini, proponendo bandi per l'assegnazione degli orti regolamentandone la gestione. Oggi è sempre maggiore la collaborazione tra i comuni italiani per favorire la diffusione delle conoscenze e delle iniziative al fine di valorizzare e riqualificare gli orti urbani.

Oggi è frequente sentir parlare di giardino/orto condiviso. Un giardino/orto condiviso (GOC) è anzitutto uno spazio pubblico con finalità socioculturali e ambientali. A differenza dei giardini pubblici tradizionali, i giardini e gli orti condivisi vedono protagonisti tutti i cittadini perché coinvolti direttamente nella realizzazione e/o nella gestione allo scopo di rendere migliore il quartiere. Molto spesso un giardino condiviso è lo spunto per fare altro: un luogo di incontro, dove far giocare i bimbi, avere un po' di relax, praticare uno sport all'aperto, fare attività culturali, imparare una lingua, fare giardinaggio, coltivare un orto per l'auto consumo, fare volontariato sociale e educazione ambientale.

L'inserimento degli orti all'interno dell'area di progetto è stato pensato per far sì che avvenga una vera e propria contaminazione tra le generazioni anche di etnie diverse. A supporto di questo concetto diventa anche importante la presenza di strutture atte alla socializzazione e alla didattica: molto formativa, soprattutto per i più piccini, sarebbe l'organizzazione di visite all'interno degli orti, condotte dagli stessi coltivatori, congiunte a lezioni ludico-educative per un apprendimento teorico e pratico.

Con il tema degli orti urbani, inoltre, si permette agli amanti della natura, giovani o anziani che siano, di vivere da vicino le stagioni e i loro frutti, riappropriandosi così del tempo biologico naturale.

Gli orti sono e vogliono essere luoghi dove ritrovare il tempo e lo spazio per attività singole o collettive.

2.1.3 L'area giochi

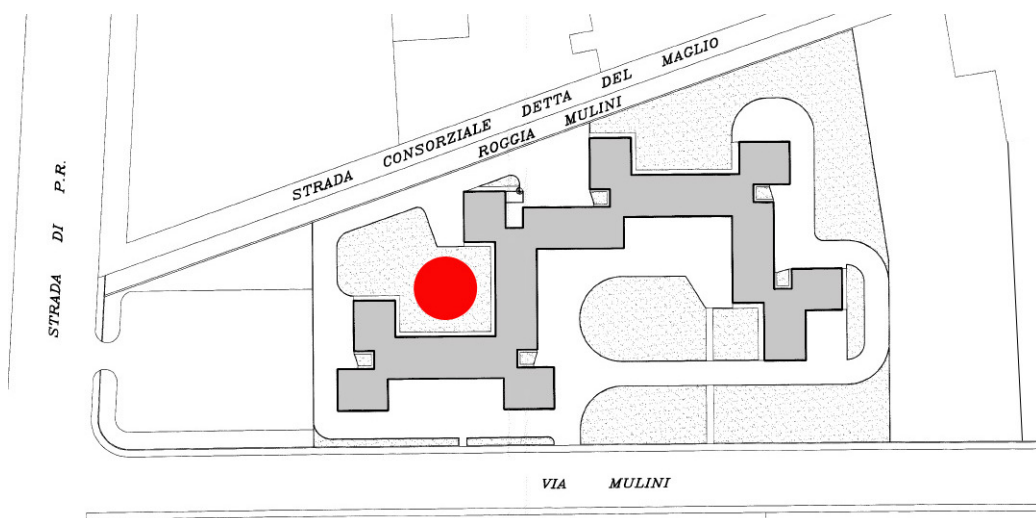


Figura 2.14 Individuazione dell'area giochi all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.

Nel sopralluogo effettuato si è notata la presenza in via Bignamini di un grande asilo nido e di fronte una piccola area verde attrezzata per bambini; questo ha indotto a pensare di inserire anche nell'area di progetto, sul lato nord-orientale, uno spazio dedicato ai più piccoli, caratterizzato da un'area verde esterna per i giochi e un'area didattica complementare interna dove i bambini possano imparare giocando. Questo spazio potrebbe anche essere usufruito come una sorta di "dopo scuola", durante il periodo scolastico, per i bambini residenti nel quartiere.

L'area giochi è caratterizzata anche dalla presenza di sei pannelli fotovoltaici che oltre a captare energia solare, assolvono anche la funzione di piccole coperture, trasformando lo spazio sottostante in "aule" all'aperto, in modo da poter sfruttare appieno lo spazio esterno, anche nei periodi di maggior calura.

L'area dedicata ai più piccoli ha la vocazione di essere considerata altresì uno spazio dove completare l'attività formativa sugli orti urbani; lo spazio potrebbe essere sfruttato per l'organizzazione di lezioni didattiche, magari condotte dagli stessi coltivatori, in modo da conciliare immediatamente la teoria con la pratica.

2.1.4 L'area parcheggio

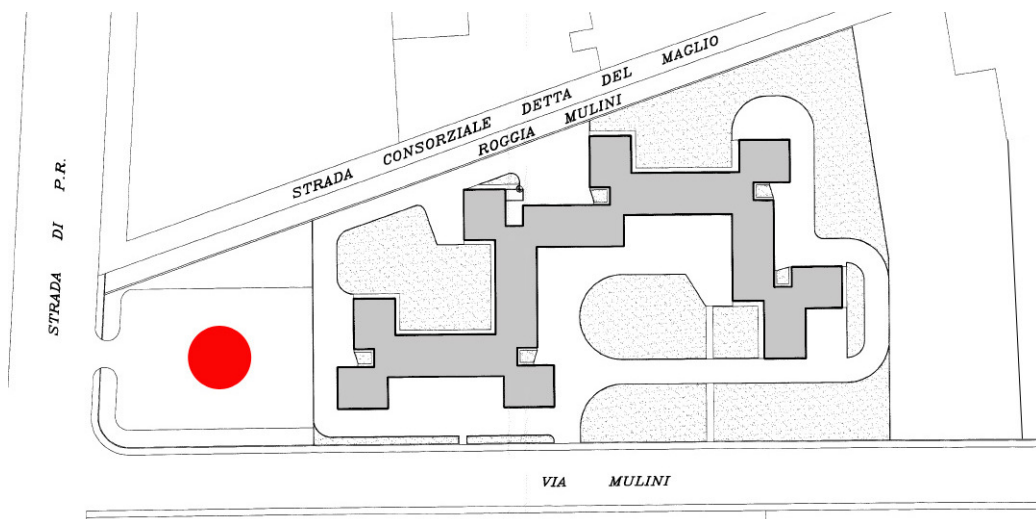


Figura 2.15 Individuazione dell'area parcheggio all'interno del complesso residenziale A.L.E.R.

Nella zona nord dell'area di progetto si è pensato di collocare un ampio parcheggio coperto, riservato agli assegnatari A.L.E.R., ove le tettoie presentano celle fotovoltaiche in superficie integrate nella struttura portante, quale sottocampo fotovoltaico dedicato alla produzione di energia elettrica per il fabbisogno degli alloggi (in totale 54) e per l'alimentazione delle apparecchiature a servizio delle parti comuni.

Questa idea è stata una delle prime ipotesi progettuali avanzate, perché consapevoli del fatto che, sventrando completamente il piano terra del complesso residenziale ai fini commerciali, si andavano a eliminare tutte le autorimesse presenti nell'area; si è di conseguenza pensato di ricollocare, su impronta del progetto redatto nel 1975 dal progettista architettonico, un ampio parcheggio a nord dell'edificio, oggi area verde senza alcuna funzione né ruolo.

I posti auto del parcheggio sono tutti coperti da pannelli fotovoltaici in grado di incamerare l'energia solare; in questo modo, si può produrre energia pulita dal sole e contemporaneamente dare copertura alle auto in sosta. Il problema delle "tettoie" per il riparo degli autoveicoli si è posto dopo aver deciso di voler sventrare completamente il piano terra dell'edificio A.L.E.R., oggi destinato ad autorimesse e, come scritto nel paragrafo 2.2.1, caratterizzato nel progetto da svariate destinazioni d'uso.

È significativo sottolineare che negli anni l'area di verde incolto che domina la zona nord dell'area di progetto ha assunto la funzione di comunicazione tra due diversi spazi: la via Bignamini e l'edificio A.L.E.R.; infatti come si può notare dalla fotografia scattata durante il sopralluogo (figura 2.16), negli anni gli abitanti della zona hanno creato un piccolo sentiero all'interno dell'area verde, facendo intuire quale ruolo avrebbe dovuto a loro avviso ricoprire quello spazio.

Si è inoltre pensato di inserire un collegamento diretto tra via Bignamini e gli orti posti a sud dell'edificio; così facendo si conferisce all'area piena permeabilità a livello pedonale e ciclabile, sottolineando ancora di più il carattere di accoglienza qualificante l'area di progetto.

Dopo il sopralluogo si è deciso quindi di trasformare quello spazio verde di risulta non solo in un'area adibita a parcheggio, ma anche in uno spazio che continui a rivestire la propria funzione, ossia mettere in comunicazione uno spazio pubblico e uno spazio di contaminazione. L'ampio parcheggio che conta quarantaquattro posti, è affiancato, nel progetto, da una strada pedonale che ripercorre le tracce del piccolo sentiero oggi presente, come visibile dall'immagine qui di seguito riportata.



Figura 2.16 Lo spazio di verde incolto a nord dell'area di progetto: è visibile il piccolo sentiero che mette in comunicazione via Bignamini con l'area presa in esame

La suddetta area assume quindi nell'ipotesi di progetto un'importanza specifica: come in un puzzle, ciascuno spazio sopra descritto compone in toto l'area di intervento, così da mostrare che ogni spazio vive grazie alla presenza degli altri; ciascuna componente progettuale "lavora" e "collabora" con le altre, dando l'immagine di unità e di continuità ad un'area che possiede grandi potenzialità.

2.2 Analisi e progettazione degli spazi di contaminazione

Immaginare uno spazio senza recinzioni, senza alcuna delimitazione fisica riprende quanto già concretamente realizzato dal progettista: scaturisce dalla profonda lettura del tessuto urbano esistente e cioè prima dell'edificazione dell'A.L.E.R..

Come descritto nei paragrafi precedenti, osservando l'area oggetto d'intervento, risulta evidente la volontà del progettista di non voler limitare e delimitare il lotto: mettere una recinzione avrebbe immediatamente comunicato il carattere introverso di quello spazio, uno spazio chiuso in se stesso che non ha in sé la volontà di relazionarsi con ciò che lo circonda, alterando i caratteri tipologici del vivere quotidiano degli abitanti dei luoghi.

L'area di progetto sin dal 1975 non ha né recinzioni né siepi che ne delimitino l'area di proprietà: questo elemento è stato fondamentale; infatti la volontà di volersi aprire agli atri, in modo che l'area di nuova progettazione possa essere momento di condivisione, di interrelazione e di scambio reciproco era un pregio già insito nel luogo e per nulla coltivato. Nella fase progettuale si è definita un'area completamente permeabile sviluppata secondo fasce di relazione:

- via dei Mulini, luogo rigorosamente pubblico, che affianca sul lato occidentale l'area di progetto;
- la piazza, luogo pubblico di relazione, che si sviluppa a ovest dell'edificio residenziale e che interagisce con gli altri due spazi ponendosi come filtro e diaframma;
- l'area commerciale al piano terra dell'edificio residenziale, vero spazio di contaminazione.

Lo spazio di contaminazione non ha nessuna delimitazione, nessun recinto, si relaziona con l'esterno ed è, a livello urbano, uno spazio intermedio di connessione tra la sfera privata e quella pubblica; inserito al piano terra dell'edificio residenziale, lo spazio di contaminazione è, concettualmente, lo zoccolo commerciale di connessione e contatto tra gli abitanti di tutte le età e di culture diverse.

Lo spazio di contaminazione è uno spazio flessibile, permeabile, che si apre sugli spazi aperti che lo circondano.

2.2.1 Le destinazioni d'uso

È necessario, in primo luogo, precisare che, al fine di dotare il piano terra del complesso residenziale di un'altezza adeguata, si è deciso di aumentare l'interpiano da 2.25 mt a 3 mt; di conseguenza si è pensato di "scavare" dalla linea di terra i 75 cm necessari al raggiungimento della quota desiderata. L'idea di dotare il piano terra di un'altezza appropriata è scaturita dalla volontà di inserire spazi commerciali, qui di seguito presentati.

Al piano terra, nella zona a sud dell'edificio, si colloca un negozio di rivendita del raccolto proveniente dagli orti, in modo da creare un filo diretto tra coltivatore e rivenditore e uno sviluppo di commercio a "km zero" (individuato nell'immagine 2.17 con il numero 2). Sempre

nell'area meridionale, di fronte all'area verde dedicata agli orti, sono stati collocati i ricoveri per gli attrezzi (individuato nell'immagine 2.17 con il numero 3).

Nel corpo centrale del piano terra è stato collocato un bar (individuato nell'immagine 2.17 con il numero 4), con posti a sedere sia al chiuso che all'aperto nella piazza. Si è ritenuto fondamentale inserire un'attività commerciale come quella di un bar, perché potesse essere un ulteriore spazio di socializzazione e di ritrovo in tutti i giorni della settimana. Il bar, inserito nello spazio di contaminazione, diventa da supporto alla piazza, reale spazio di interscambio; aprendo il bar verso lo spazio esterno, abbiamo voluto enfatizzare la volontà di influenzare lo spazio diaframmatico della piazza con il suo carattere di contaminazione.

È da ricordare che il commercio ha una valenza vitale nella dimensione urbana: è il segno dello scambio che diventa determinante nell'immagine della città.

La piazza racchiude tutto quello che in realtà caratterizza il progetto degli spazi aperti: è la sintesi progettuale del luogo.

Proseguendo verso nord, sempre al piano terra, è stato inserito uno spazio completamente destinato ai bambini e ai ragazzi (individuato nell'immagine 2.17 con il numero 5), una zona dedicata completamente ad attività ludiche ed educative; innanzitutto è uno spazio in cui si possono organizzare lezioni sulle attività rurali, per far sì che i ragazzi possano apprendere giocando. In secondo luogo potrebbe diventare uno spazio dedicato all'attività comunemente conosciuta come "dopo scuola": durante l'anno scolastico, infatti, i ragazzi del quartiere potrebbero avere un punto di riferimento prefissato per trovarsi con i compagni a fare i compiti e per aiutarsi a vicenda, il tutto coordinato da giovani educatori. Negli ultimi anni spazi di questo genere sono venuti a mancare e probabilmente la "colpa" è in parte da imputare all'avvento dei social network che permettono di comunicare anche a distanze considerevoli, penalizzando il contatto diretto e venendo meno quell'educazione a vivere, giocare e stare insieme, momenti fondamentali per la crescita di un adolescente, motivo in più per conferire allo spazio maggiore valenza sociale.

Si vorrebbe dare nuova vita a una parte di città e di conseguenza a una buona parte dei cittadini di Treviglio, permettendo loro di godere appieno degli spazi aperti e dei servizi messi a loro disposizione: per questa motivazione oltre agli spazi verdi e commerciali collocati nell'area di progetto si è pensato di integrare il tutto con la collocazione di una farmacia (individuato nell'immagine 2.17 con il numero 6) e di una banca (individuato nell'immagine 2.17 con il numero 1), come è possibile visualizzare nell'immagine 2.17 riportata di seguito.

I restanti spazi ricavati al piano terra (individuati nell'immagine 2.17 con i numeri 7 e 8) possono essere sia aperti che chiusi e possono assolvere alle funzioni più svariate: sono spazi interamente flessibili, sia da un punto di vista teorico che pratico.

Lo spazio individuato nell'immagine 2.17 con il numero 7 potrebbe diventare una piccola biblioteca per bambini e ragazzi, mentre quello individuato con il numero 8 potrebbe diventare un'emeroteca, con la possibilità di connettersi a internet; quest'ultimo spazio è veramente

flessibile perché potrebbe diventare ad esempio anche un luogo di incontro per riunirsi a discutere sulle problematiche da risolvere, sia in ambito di quartiere sia in ambito strettamente correlato all'edificio A.L.E.R. che di routine organizza gli incontri con i propri assegnatari. Questi spazi non sono stati studiati considerandoli né aperti né chiusi: superfici vetrate che si aprono e si chiudono a seconda delle esigenze. La flessibilità degli spazi può diventare un momento di continuità tra il lato occidentale e quello orientale, in modo che tutti gli spazi aperti possano essere qualificati da un'unità progettuale, da una parte, e diventare spazi di incontro, dall'altra, per poter marcare nuovamente il carattere proprio del progetto.

La volontà di non definire un ambito a questi spazi è anche stata dettata dal desiderio di poter dare agli abitanti del luogo la possibilità di decidere in cosa trasformare questi luoghi flessibili, come una sorta di progettazione partecipata.

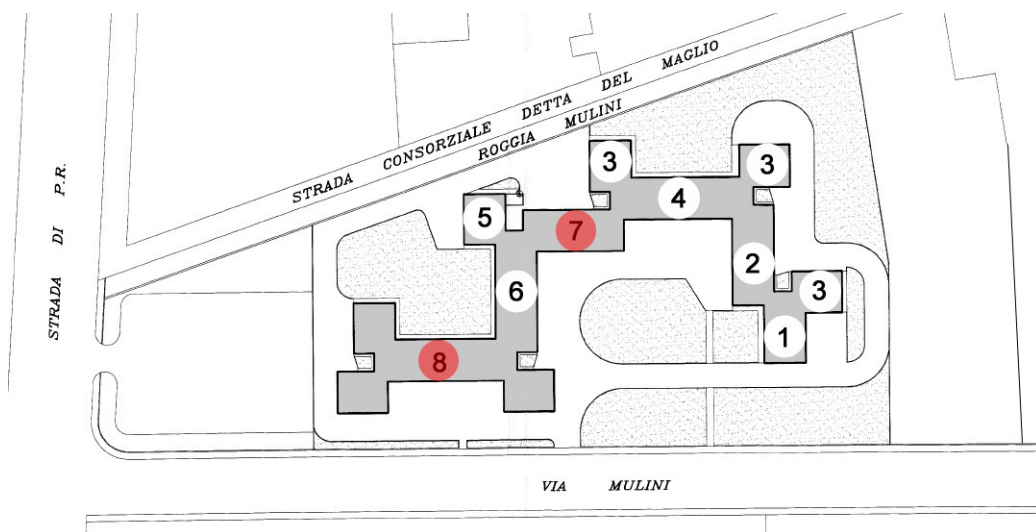


Figura 2.17 Individuazione delle destinazioni d'uso all'interno dello spazio di contaminazione

2.2.2 La flessibilità d'uso negli ZEB

Un altro aspetto della progettazione architettonica era quella di riuscire ad annoverare l'edificio qui trattato negli nZEB (nearly Zero Energy Building). Prima di giungere a conclusioni certe che hanno collocato l'edificio A.L.E.R. in classe A (partendo dalla F), si è ragionato su diversi aspetti tra cui quello di flessibilità.

Il concetto di flessibilità all'interno di un progetto di edificio a energia quasi zero è davvero molto delicato: la flessibilità e l'energia quasi zero sembrano, oggi come oggi, non trovare punto di incontro; la motivazione di questa problematica sta nel fatto che un edificio può diventare un nZEB grazie innanzitutto a un'ottima progettazione architettonica (esposizione, ventilazione, ecc.) e successivamente grazie a uno studio impiantistico che permetta di raggiungere i valori desiderati. Il fulcro del problema sta proprio alla base della progettazione architettonica e impiantistica: prima di qualsiasi altra informazione il progettista deve conoscere la funzione che quell'edificio dovrà ricoprire, con annesse indicazioni sulla quantità di persone che

frequenteranno l'edificio, per quanti giorni alla settimana, ecc., per procedere quindi a quella che si potrebbe chiamare una progettazione mirata. Tutto quanto diventa più complesso trattandosi nel caso di studio di un edificio già esistente dove non è possibile modificare determinati aspetti architettonici (vedi l'esposizione solare) senza incorrere in modifiche che andrebbero ad alterare completamente l'assetto originario dell'organizzazione degli spazi pubblici e privati tra cui anche la distribuzione degli ambienti delle cellule abitative.

Per queste motivazioni il concetto di flessibilità unitamente al concetto di nZEB è oggi difficile da concepire: uno spazio flessibile corrisponde inevitabilmente a uno spazio che non ha una funzione espressa, ma che al contrario in un certo periodo di tempo può ricoprire svariate destinazioni.

Nel progetto il piano terra non rientra nei calcoli energetici, da una parte per le motivazioni sopra esposte e dall'altra perché, se inseriti, trattandosi di zona a varie destinazioni d'uso non residenziali, non sarebbe più possibile raffrontare i risultati ottenuti con la soluzione progettuale rispetto allo stato di fatto e alla riqualificazione che l'A.L.E.R. nell'arco di un triennio intenderà realizzare.

2.3 Analisi e progettazione degli spazi privati

2.3.1 Criteri progettuali e soluzioni tecniche per uno nZEB

A livello di spazio privato e quindi di edificio, il tutto è stato coordinato dalla volontà di poter identificare l'edificio come nZEB; questo obiettivo ha dirottato la progettazione su scelte ben precise, nonostante si fosse consapevoli che agire su un edificio esistente è molto più complesso che agire su un edificio ex novo.

La regola di base è innanzitutto elaborare delle soluzioni progettuali per ridurre le necessità di energia e contemporaneamente pensare allo sviluppo di tutta la parte impiantistica necessaria per la climatizzazione grazie all'utilizzo delle fonti rinnovabili. Il procedimento per poter arrivare a un nZEB non è più un processo lineare come quello considerato sino a oggi (progettazione architettonica → progettazione impianti → costruzione), ma è un processo circolare costituito dalla progettazione architettonica, dalla progettazione degli impianti e dall'analisi energetica: queste tre componenti collaborano avendo come fine la costruzione.

Per una corretta progettazione architettonica nella logica nZEB si dovrebbe procedere ad un controllo in primo luogo degli aspetti tipologici e in secondo luogo di quelli tecnico-costruttivi.

Dal punto di vista tipologico i fattori che incidono sul comportamento energetico dell'edificio sono:

- la forma, preferibilmente compatta nella stagione invernale e aperta in quella estiva (a seconda del rapporto più vantaggioso tra superficie e volume) con eventuali spazi ad assetto variabile tra inverno ed estate (porticati, logge, patii, ecc.);

- l'orientamento e la distribuzione interna delle unità abitative e dei singoli locali costituenti l'edificio, tenendo in considerazione la destinazione d'uso;
- la distribuzione e l'orientamento delle superfici vetrate, per poter sfruttare gli apporti solari diretti nel periodo invernale e controllare l'irraggiamento nei mesi estivi, senza trascurare la valenza positiva dell'illuminazione naturale.

Trattandosi di un intervento di riqualificazione si è affrontata una situazione già predisposta: in primo luogo si dovrebbe analizzare il sito dell'area di progetto, analisi da noi condotta più che altro per individuare e studiare come far interagire l'edificio con l'esterno; in secondo luogo si dovrebbe pensare all'orientamento che in questo determinato caso è vincolato, poiché si tratta di una riqualificazione (Figura 2.18); in terzo luogo bisognerebbe individuare le strategie di intervento dando rilevanza al progetto delle facciate (illuminazione naturale, protezione solare, comfort termico e consumi energetici).

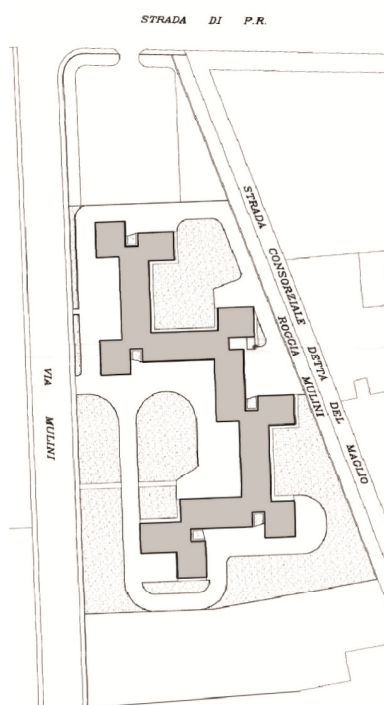


Figura 2.18 Area di progetto correttamente orientata: situazione odierna

L'area di progetto si sviluppa in direzione nord-sud, come visibile nell'immagine 2.18; l'edificio mantiene lo stesso sviluppo dell'area sulla quale giace e ha i lati più lunghi esposti in direzione est-ovest.

È evidente sin da subito che l'esposizione non è sicuramente quella ottimale: infatti, nell'ipotesi di una progettazione che implichi la costruzione dell'edificio ex novo, è da evitare l'orientamento est-ovest perché in estate il sole è basso sia alla mattina che alla sera e colpisce direttamente le superfici trasparenti causando surriscaldamento, mentre in inverno vengono irraggiate per poche ore da un sole debole che non contribuisce al guadagno solare.

A livello progettuale la migliore esposizione è quella che contempla i lati lunghi dell'edificio esposti a nord e sud, in modo da poter collocare il soggiorno e la cucina, ossia gli spazi più vivibili, nella zona meridionale, calda e soleggiata, e la zona notte sul lato settentrionale che, non essendo investita dal sole, risulta caratterizzata da temperature più fredde.

Gli aspetti tecnico-costruttivi che incidono sul comportamento energetico dell'edificio sono:

- l'efficacia dell'isolamento termico e di finestre ad alte prestazioni;
- l'uso passivo dell'energia solare tramite lo sfruttamento degli apporti solari in maniera diretta (finestre) o indiretta (accumulatori di calore);
- la presenza di un'adeguata massa capacitiva (e inerzia termica) per conservare il calore degli apporti solari in inverno e smorzare i picchi di temperatura in estate (smorzamento e sfasamento).

Per ottenere una buona riqualificazione energetica, si è intervenuti, quindi, con l'aggiunta di un sistema a "cappotto" grazie all'utilizzo di uno strato in polistirene espanso che circonda interamente l'edificio, in modo da isolarlo termicamente.

È importante anche garantire una permeabilità all'aria all'interno dell'edificio, considerando che sui lati posti a sud, sud-est e sud-ovest si favorisce l'ingresso di aria calda, mentre sul lato posto a nord l'ingresso di aria fredda. Ai giorni nostri si progettano edifici che sono caratterizzati da alta efficienza energetica anche per la presenza di serramenti a tenuta d'aria in modo da evitare le dispersioni termiche: in questo modo però si riducono i ricambi d'aria.

A tal proposito, il progetto di riqualificazione contempla anche la posa in opera di serramenti in alluminio a taglio termico, con camera ad argon per contenere le dispersioni termiche, congiuntamente all'inserimento, a livello impiantistico, di apparecchi per la ventilazione meccanica controllata e recupero di calore, in modo da garantire un ricambio d'aria pari a 0,58 vol/h ed un ulteriore risparmio energetico.

I serramenti scelti riducono le dispersioni termiche, come già scritto precedentemente, ma producono un notevole apporto positivo in termini di schermatura per la presenza di tripli vetri basso emissivo. L'effettivo viene enfatizzato soprattutto sul lato esposto a sud il quale è in grado di captare molta energia solare durante il giorno, ma di disperderla in egual misura di notte e d'inverno senza creare surriscaldamenti agli ambienti interni.

Ultima, ma non per importanza, è la rilevanza delle protezioni solari che sono necessarie per ridurre gli effetti indesiderati della radiazione attraverso le superfici trasparenti, causati da una parte dall'abbagliamento causato dalla luce entrante e dall'altra dal surriscaldamento estivo.

2.3.2 Le schermature solari

Come detto in precedenza, nell'approcciarsi a un progetto è fondamentale innanzitutto analizzare l'esposizione dell'edificio al sole. Il problema dell'orientazione degli edifici comprende

molti fattori: la topografia locale, i requisiti di privacy, il piacere di una veduta, la riduzione del rumore e i fattori climatici dovuti alla radiazione solare.

L'architetto ha quindi come compito fondamentale quello di studiare approfonditamente il luogo di progetto in modo tale da sfruttare nel modo migliore il valore del sole per l'effetto termico, l'igiene e i benefici psicologici.

Si approfondirà, in particolare, qui di seguito la tematica dell'irraggiamento solare sugli edifici e si mostrerà quali possano essere le tecnologie migliori per ovviare al problema.

Come già più volte è stato detto, il clima è un aspetto fondamentale all'interno della progettazione architettonica. Per vari motivi le condizioni climatiche locali possono subire leggere variazioni in base alle particolari zone microclimatiche in cui si vengono a trovare. Se gli edifici sono veramente messi in relazione con l'ambiente circostante, devono essere progettati in base a quel particolare microclima che caratterizza la zona in cui sono inseriti. I principali fattori, di cui si parlerà di seguito, sono molto importanti per capire quali variazioni climatiche si possono verificare all'interno del macroclima.

I principali fattori sono:

- quota sul livello del mare;
- orografia del terreno;
- dimensioni, forma e vicinanza di masse d'acqua;
- tipo di suolo;
- vegetazione;
- strutture create dall'uomo.

In particolare, gli ultimi quattro fattori elencati sono stati molto significativi durante l'approccio progettuale. Della presenza di acqua e della tipologia del suolo si è già parlato approfonditamente nel paragrafo 2.1.2, a cui si rimanda. In merito alla vegetazione si ricorda che l'ombreggiatura e la traspirazione possono ridurre significativamente la temperatura del terreno e dell'aria, ma contemporaneamente possono essere le artefici di un incremento del tasso di umidità. Infine, sulle strutture create dall'uomo è bene ricordare che gli edifici, le strade e le aree a parcheggio con le loro dimensioni incidono significativamente sul microclima. L'ombra portata dagli edifici può dar vita a una fascia fredda sulle zone orientate a sud che altrimenti sarebbero state più soggette alla radiazione solare e quindi più calde. Ma gli edifici possono anche portare ombra nei caldi mesi estivi e riparare dai venti freddi invernali. Grandi superfici pavimentate, soprattutto se presentano una colorazione scura, possono invece provocare un forte innalzamento della temperatura e l'aria calda può raggiungere gli edifici circostanti.

L'organizzazione del sito e la progettazione del verde possono migliorare le condizioni microclimatiche intorno agli edifici; sfruttando le caratteristiche topografiche del terreno, la presenza di edifici attigui e tramite la presenza di vegetazione, si possono ottenere efficaci livelli di protezione solare.

Per impedire che la radiazione solare intercetti tutto o parte dell'involucro murario o delle finestre di un edificio si possono elencare le seguenti categorie di schermature:

- presenza di edifici contigui;
- configurazione degli spazi aperti dell'immediato intorno;
- presenza di pendii rivolti a nord, in collina e nelle valli;
- presenza di schermature fisse e/o mobili.

Come dice l'architetto Alexandros N. Tombazis in uno dei suoi scritti, le dimensioni fondamentali all'interno di un progetto sono tre:

- *Il **tempo**, primo fattore, si dice sia la quarta dimensione dello spazio architettonico, di vitale importanza perché al di fuori nessun oggetto potrebbe esistere. Il tempo è in relazione al susseguirsi dei giorni, delle diverse stagioni, al clima, al modo in cui si comporta e risponde un edificio nel momento in cui entra in relazione con la natura e l'ambiente circostante. L'edificio inoltre entra a far parte del ciclo della natura, del suo dinamismo, contrariamente all'idea statica e immobile, generalmente diffusa, dell'architettura;*
- *L'**aria**, secondo elemento, è importante e invisibile. Noi progettiamo uno spazio e pretendiamo che questo sia vuoto, incuranti del fatto che sarà avvolto e riempito d'aria. Le correnti d'aria lo attraversano, con movimenti generati dalla differenza di pressione e temperatura. È proprio in funzione e in relazione ai movimenti d'aria che si possono progettare la forma dell'edificio, la sua sezione, l'altezza, l'orientamento, le dimensioni e la posizione delle aperture;*
- *La **luce**, e in particolar modo la luce naturale, è il terzo elemento. Senza la luce l'architettura non avrebbe motivo di esistere. Ma nel tempo l'uomo è stato capace di sostituire la luce naturale con quella artificiale e così molti edifici e parecchie architetture si sono impoveriti qualitativamente. Non è un'esagerazione dire che non dovrebbe essere il progettista a decidere quale sia la forma migliore da dare a un'architettura, ma la luce stessa.*

Tre sono i parametri importanti a cui le schermature devono rispondere e che permettono l'ottimizzazione di un progetto in relazione al soleggiamento e alla verifica del suo comportamento:

- il clima: la valutazione del clima locale, accompagnata dall'analisi delle variazioni di temperatura media dell'aria nei periodi dell'anno, dei mesi e dei giorni, identifica i periodi in cui è possibile evitare l'apporto solare diretto;
- il movimento del sole: la rappresentazione dei percorsi solari permette di avere una migliore conoscenza dell'angolo della radiazione solare alle diverse ore del giorno, alle diverse stagioni, nei differenti periodi dell'anno;
- le caratteristiche dell'edificio: l'orientamento delle facciate, l'ubicazione, la dimensione e il tipo di aperture, l'uso dei differenti spazi e la conformazione dell'intorno sono elementi importanti per ottenere un buon livello progettuale.

Come si è detto in precedenza, per impedire che la radiazione solare intercetti tutto o parte dell'involucro murario o delle finestre di un edificio si può ipotizzare l'aggiunta di sistemi di schermatura. Si definiscono sistemi di schermatura quei dispositivi costruttivi che fungono da barriera esterna regolatrice della radiazione solare senza impedire per questo l'illuminazione e la ventilazione degli ambienti interni.

Più in generale i sistemi di schermatura sono costituiti sia da elementi funzionali e strutturali che decorativi al tempo stesso, che, oltre a schermare la luce solare, ne graduano la luminosità senza creare fenomeni di abbagliamento o zone completamente ombreggiate; la loro struttura può costituire anche una barriera di sicurezza.

Il disegno architettonico, analizzato secondo il principio schermante dei suoi componenti, si può scomporre in tre differenti categorie: la prima, caratterizzata da una vera e propria "struttura" esterna, ne classifica il design, la seconda classifica i sistemi applicati internamente agli ambienti e la terza invece classifica gli stessi componenti edilizi dell'involucro come sistemi schermanti, ad esempio vetrate intelligenti, oppure sistemi di pareti trasparenti o semitrasparenti a duplice valenza, schermante e isolante.

L'intervento progettuale in riferimento alla riqualificazione dell'edificio in esame si annovera all'interno della prima categoria. I frangisole inseriti hanno una duplice funzione: da una parte evitano i problemi di surriscaldamento negli ambienti interni, dall'altra provvedono alla diffusione dei raggi solari all'interno degli edifici.

Da sottolineare è che differenti soluzioni di ombreggiamento forniscono diversi livelli di protezione dai guadagni solari; le schermature esterne, ad esempio, offrono maggiore protezione di quelle interne, e garantiscono un efficace controllo solare soprattutto in estate, senza tuttavia ridurre i guadagni solari in inverno.

2.3.2.1 Forma e orientamento dei sistemi di schermatura

Sono possibili innumerevoli forme di frangisole, con uso differenti di materiali, dimensioni e angolature di esposizione. Il frangisole ideale bloccherà al massimo la radiazione solare, mentre permetterà alla brezza di entrare attraverso le finestre e manterrà un contatto visivo tra interno ed esterno.

Nell'edificio oggetto del progetto di tesi le schermature solari sono posizionate sulle facciate sud, come le regole della bioclimatica impongono, ma si è provveduto a collocarne ulteriori sulla facciata ovest: la piazza, delimitata su tre lati dalle facciate dell'edificio oggetto di riqualificazione, è caratterizzata infatti dalla presenza di frangisole che da terra svettano sino al quarto e ultimo piano residenziale.

Per una maggiore comprensione dell'influenza dell'orientamento dell'edificio nei confronti dell'elemento schermante, analizzeremo con le tabelle 2.1 e 2.2 le differenti soluzioni architettoniche ottenibili.

ORIENTAMENTO DEI SISTEMI DI SCHERMATURA					
NORD	SUD	OVEST	EST	SUD-EST	SUD-OVEST
verticale	orizzontale	orizzontale o verticale a lamelle	orizzontale o verticale a lamelle	orizzontale o verticale a lamelle	orizzontale o verticale a lamelle

Tabellaz.1 Orientamento dei sistemi di schermatura

FRONTE NORD	-
FRONTE SUD [schermatura orizzontale]	I sistemi di schermatura orizzontali sulla facciata sud sono ottimi in estate, quando il sole è alto nel cielo. Lo stesso sistema è meno efficace se posizionato sulle facciate est, sud-est e sud-ovest.
FRONTE OVEST [schermatura verticale]	Le facciate a est e a ovest sono difficilmente schermabili a causa dei raggi di incidenza del sole, bassi al mattino e al pomeriggio; la soluzione migliore è data da sistemi a lamelle sia orizzontali che verticali.
FRONTE EST [schermatura verticale]	

Tabella 2.2 Sistemi di schermatura in base all'esposizione

2.3.2.2 Tipologie di schermature

Le schermature solari possono essenzialmente di due tipologie:

- schermature fisse;
- schermature mobili.

Schermature fisse

I sistemi fissi di schermatura comprendono elementi strutturali quali i balconi, gli aggetti o elementi non strutturali quali i tendoni esterni, le tende alla veneziana, gli scuri, i frangisole, gli avvolgibili e gli schermi.

Solitamente gli elementi schermanti orizzontali vengono applicati alle facciate rivolte a sud (così come mostrato nelle tabelle precedenti), mentre alette o frangisole ad asse verticale o diagonale sono spesso più efficienti quando posti sulle facciate est e ovest; l'angolo di inclinazione terrà conto della direzione dei raggi solari rispetto a ciascuna facciata in diversi momenti della giornata.

I sistemi fissi di schermatura vengono posti all'esterno della facciata in modo da poter intercettare la radiazione incidente prima che raggiunga le superfici vetrate.

Schermature mobili

I sistemi mobili di schermatura possono agire in modo più adeguato alle variazioni climatiche, rispetto ai sistemi fissi; è difficile infatti ottenere un'ombreggiatura totale delle aperture tramite sistemi fissi di schermatura. Durante il periodo di maggiore insolazione l'ombreggiatura schiererà la facciata in modo costante, impedendo a volte la penetrazione dei raggi solari anche in inverno quando ciò risulterebbe vantaggioso. Solo con i sistemi mobili si può ovviare a questo tipo di problema; è possibile infatti orientare il sistema a seconda delle variazioni del raggio di incidenza e consentire inoltre la totale penetrazione del sole in inverno. Alcuni elementi mobili possono essere orientati giornalmente tramite automatismi manuali o meccanici.

Esistono altri svariati sistemi di schermatura solare mobili come i rotolanti e le veneziane. I rotolanti, posti esternamente alle finestre, sono particolarmente adatti nei casi in cui è difficile ombreggiare le superfici esposte a est e a ovest; le veneziane invece consentono contemporaneamente la ventilazione e l'ombreggiamento, sono regolabili attraverso il movimento delle lamelle e permettono anche di riflettere la luce naturale sulle superfici adiacenti, come ad esempio verso il soffitto.

I principi base che regolano la progettazione dei sistemi di schermatura mobili, sono uguali a quelli da seguire per il dimensionamento delle strutture fisse. Comunque per utilizzare efficacemente i sistemi solari passivi è necessario che la schermatura sia efficiente solo durante il periodo di irraggiamento massimo potendo invece variare la sua posizione nell'arco dell'anno, permettendo ai raggi solari invernali di entrare liberamente attraverso la superficie vetrata ed apportare benefici interni. Il modo più semplice di utilizzare i frangisole mobili è di determinare la posizione invernale ed estiva del sole in modo che l'elemento possa variare di conseguenza la sua posizione per ottenere un irraggiamento maggiore durante l'inverno e minore per il periodo estivo in cui la superficie vetrata è già surriscaldata. L'altezza del sole al solstizio estivo determina l'angolo di massimo irraggiamento possibile sulla finestra: sia quando il sole è più basso rispetto a questa posizione che durante l'inverno nessun elemento frangisole impedirà ai raggi solari di entrare. Ma l'altezza solare varia in base alla latitudine del sito e risente anche delle variazioni climatiche regionali.

2.3.2.3 Nozioni di geografia astronomica

A tal proposito è doveroso richiamare alcune nozioni fondamentali della geografia astronomica, utili nell'approccio alla progettazione architettonica ed energetica.

La Terra, lungo la sua orbita, raggiunge il 21 marzo e il 23 settembre due posizioni diametralmente opposte rispetto al Sole; questi due giorni dell'anno, chiamati rispettivamente equinozio di primavera ed equinozio d'autunno, sono contraddistinti dalla stessa durata delle ore notturne su tutta la Terra.

La Terra, lungo la sua orbita, raggiunge altre due posizioni intermedie e opposte tra loro nelle date del 21 giugno e del 21 dicembre. La prima condizione, nota con il nome di solstizio d'estate, avviene quando il polo nord si trova nel punto più vicino al Sole, mentre la seconda, nota come il

solstizio d’inverno, avviene quando il polo nord si trova nel punto più lontano dal Sole. Come detto in precedenza, l’altezza del sole al solstizio estivo determina l’angolo di massimo irraggiamento possibile, dal momento che nella giornata del 21 giugno il Sole si trova ad un’altezza superiore rispetto alla posizione che assume in tutti gli altri giorni dell’anno.

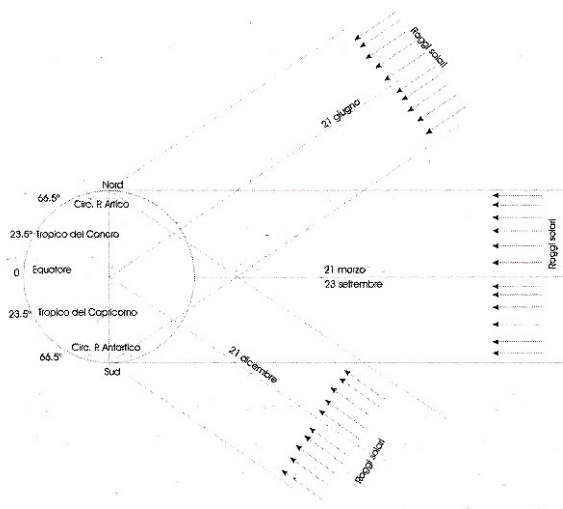


Figura 2.19 Equinozi e solstizi

Ad esempio, per fini progettuali, è stato calcolato che l’angolo del sole durante il solstizio d’estate incidente sulla città di Treviglio è di 68° al culmine, ossia alle ore 13.23 (figura 2.20), mentre durante il solstizio d’inverno l’angolo di incidenza è pari a 21° al culmine, ossia alle ore 12.20 (figura 2.21).



Figura 2.20 Incidenza dei raggi solari durante il solstizio d’estate

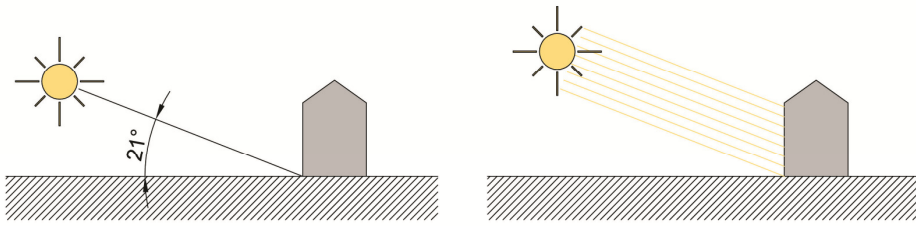


Figura 2.21 Incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'inverno

Si è pensato inoltre di approfondire brevemente le definizioni di latitudine e longitudine, dal momento che a livello energetico sono state fondamentali per individuare la zona climatica di ubicazione dell'edificio e quindi ottenere i risultati ricercati.

La posizione assoluta di un luogo sulla superficie terrestre si determina per mezzo delle coordinate geografiche, ossia la latitudine e la longitudine.

La latitudine è la distanza angolare misurata sull'arco meridiano compreso tra l'equatore e il luogo considerato. Essa può essere boreale o australe e si considera da 0° a 90°, dall'equatore ai poli nord e sud. Gli elementi di riferimento per la latitudine sono, oltre all'equatore e ai poli, gli ottantanove paralleli tracciati su ogni emisfero (figura 2.22).

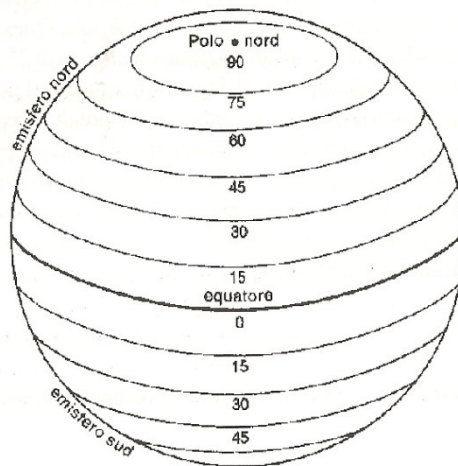


Figura 2.22 Elementi di riferimento della sfera terrestre: l'equatore e i paralleli

La longitudine è, invece, la distanza misurata sull'arco di parallelo compreso tra il meridiano fondamentale e il luogo considerato. Essa può essere orientale e occidentale e si considera da 0° a 180°, ossia dal meridiano fondamentale (Greenwich) all'antimeridiano. Gli elementi di riferimento per la longitudine sono i 360 meridiani geografici (figura 2.23). I meridiani con l'equatore e i paralleli si intersecano formando una rete nella quale la distanza tra un meridiano e il successivo, e tra un parallelo e l'altro è la 360a parte di un cerchio. La Terra è infatti divisa in un numero finito di zone, ossia ventiquattro spicchi, chiamati fusi orari, dei quali ognuno è limitato da due meridiani che distano l'uno dall'altro 15° di longitudine ($360:24=15^\circ$).

Ogni fuso comprende quindici meridiani geografici, ossia quelli che passano in un ora davanti al sole.

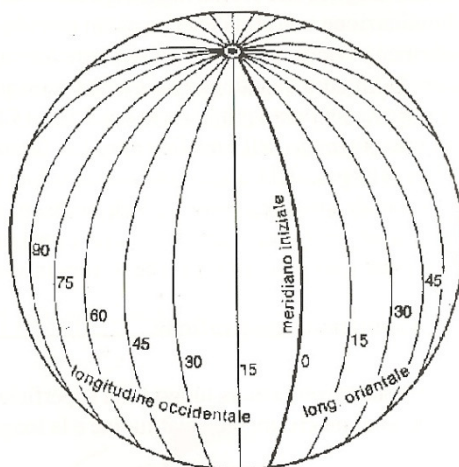


Figura 2.23 Elementi di riferimento della sfera terrestre: i meridiani

Ad esempio per la città di Bergamo la latitudine è $45^{\circ} 42'$ e la longitudine è di $9^{\circ} 40'$. Più specificatamente per la città di Treviglio la latitudine è di $45^{\circ} 31'$ e la longitudine è di $9^{\circ} 35'$.

2.3.2.4 Progettazione dei sistemi di schermatura

Riconducendosi al discorso progettuale il primo passo da compiere in fase di ideazione dei sistemi di schermatura è decidere se utilizzare un sistema fisso o mobile.

Per le facciate rivolte a sud bisogna considerare che:

- se interessa maggiormente ottenere un buon livello di ombreggiamento, trascurando in parte il guadagno termico che si potrebbe avere dal soleggiamento diretto sulla parete vetrata, allora conviene adottare un sistema fisso, ad esempio un aggetto;
- se invece è importante mantenere sia l'irraggiamento diretto per il riscaldamento passivo, sia un buon livello di schermatura, allora è meglio utilizzare un sistema mobile.

Nel progetto si è infatti portata avanti l'idea di schermatura solare fissa. L'edificio da riqualificare non ha nessun aggetto in facciata: è caratterizzato da logge scavate all'interno del volume. Il progetto prevede che le facciate dell'edificio prospicienti la piazza siano qualificate da balconi aggettanti: questi ultimi non sono percepibili immediatamente per la presenza di una struttura fissa esterna caratterizzata da lamelle orientate in legno colorato; i balconi rimangono volontariamente celati per seguire l'impronta progettuale dell'esistente.

La scelta di un sistema fisso è stata dettata inoltre dalla volontà di voler dare priorità alla protezione dai raggi solari, anziché al guadagno termico; infatti nei calcoli riguardanti la riqualificazione energetica non sono stati presi in considerazione gli apporti, sicuramente

vantaggiosi, derivanti dall'ombreggiamento dai raggi solari grazie alla giustapposizione di appositi frangisole in legno.

Il passo successivo è scegliere o progettare un particolare tipo di aggetto orizzontale. In un caso di riqualificazione come quello qui presentato, si è dovuto necessariamente mantenere la conformazione strutturale esistente che, come scritto nel precedente paragrafo, presenta delle logge caratterizzate da superfici vetrate arretrate rispetto alla facciata. Ciò permette, come mostra l'immagine sottostante (figura 2.24), un'ottima schermatura delle finestre dai raggi solari, ma per ovviare in toto al problema dell'irraggiamento si è poi deciso di inserire e qualificare le facciate tramite l'utilizzo di appositi frangisole.

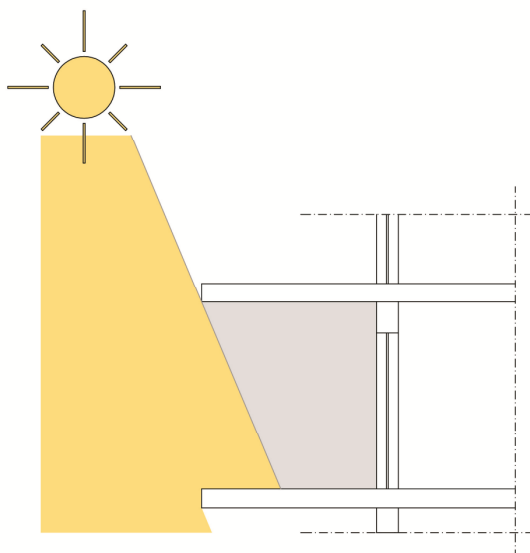


Figura 2.24 Sezione della facciata dell'edificio esistente rivolta a sud: incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'estate

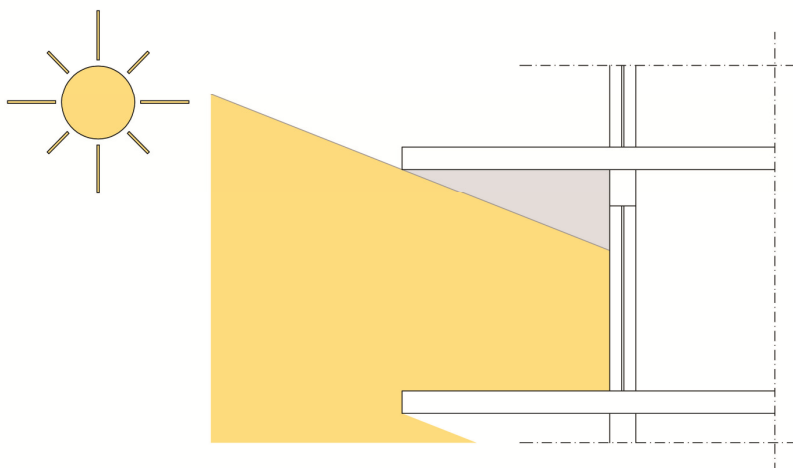


Figura 2.25 Sezione della facciata dell'edificio esistente rivolta a sud: incidenza dei raggi solari durante il solstizio d'estate

A differenza delle finestre rivolte a sud, non è possibile schermare totalmente dalla radiazione solare estiva una finestra esposta a est o a ovest con un sistema fisso, quale ad esempio un aggetto. Tuttavia un sistema di schermatura solare fisso, anche se non è in grado di schermare i raggi solari per l'intero periodo di maggiore insolazione, può controllare la radiazione diretta in un certo arco di tempo. E poiché in inverno non si punta molto sul guadagno termico che deriverebbe dal soleggiamento delle finestre esposte a est o a ovest, i sistemi di schermatura possono essere dimensionati sulla base delle richieste e dei dati climatici estivi.

Per avere una migliore schermatura sulle pareti esposte a est o a ovest, in alternativa agli aggetti orizzontali si possono utilizzare gli schermi verticali.

Come mostra lo schema che rappresenta il percorso solare (figura 2.26), ogni giorno in una certa fascia oraria più o meno lunga, sia di mattino che di pomeriggio, i raggi solari provengono direttamente da est e da ovest: si ha così un irraggiamento diretto su queste superfici dell'edificio per sei mesi all'anno, dal 21 marzo al 21 settembre.

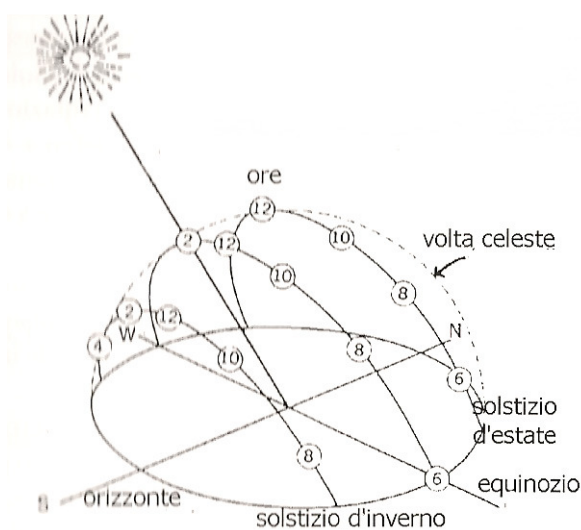


Figura 2.26 Volta celeste con i tre percorsi del Sole durante equinozi e solstizi

Per minimizzare questa radiazione solare c'è bisogno di valutare e controllare l'inclinazione degli schermi: ciò si può ottenere diminuendo lo spazio tra gli elementi, le dimensioni o la profondità. Per raggiungere migliori prestazioni gli elementi dovrebbero essere così vicini tra loro e così inclinati da rendere però impossibile la visione all'esterno.

Una migliore soluzione sarebbe utilizzare schermi verticali inclinati verso nord in modo tale da bloccare completamente la radiazione solare diretta, ma anche questa ipotesi progettuale comporterebbe una notevole riduzione della visione esterna. L'alternativa a soluzioni di schermature verticali con frangisole fissi sarebbe l'utilizzo di schermi caratterizzati da lamelle

rotanti, in modo da poter sia intercettare la radiazione diretta, favorendo in tal senso il comfort degli spazi interni, che permettere a chi vive all'interno degli ambienti di godere della vista dello spazio esterno che lo circonda.

I frangisole scelti in sede di progetto per proteggere le superfici vetrate delle facciate est e ovest sono inclinati verso nord in modo da garantire una buona protezione dai raggi solari estivi; allo stesso tempo non si tratta di un'inclinazione tale da ostruire completamente la visione dello spazio esterno, perché sin dall'inizio si è voluto sottolineare l'importanza della relazione che si instaura tra gli spazi chiusi e quelli aperti; si è pensato, di conseguenza, di conferire una sorta di equilibrio tra la sfera della privacy e quella della continuità visiva tra interno ed esterno, entrambi aspetti rilevanti nell'ambito del comfort abitativo.

Ancora di più la presenza delle logge attribuisce all'edificio un valore aggiunto: gli schermi verticali, infatti, riescono a bloccare la radiazione solare laterale, caratterizzata da inclinazioni medio basse presenti di mattina o di pomeriggio a est e a ovest, ma sono incapaci di ostacolare la radiazione che proviene dall'alto. Il maggior vantaggio si ottiene invece con la combinazione dei due sistemi, come avviene nel nostro progetto di riqualificazione; gli elementi verticali e quelli orizzontali diventano così complementari, raggiungendo risultati superiori rispetto all'utilizzo singolo dell'uno o dell'altro sistema.

Le schermature fisse che, come piante rampicanti, nascono dalla piazza e si intrecciano sui balconi degli alloggi sino al quarto e ultimo piano dell'edificio, svolgono una duplice funzione: al piano terra diventano elementi che scandiscono il porticato, ai piani superiori divengono parapetti e protezioni solari.

I frangisole assumono uno sviluppo verticale per creare un collegamento concettuale tra la sfera privata e quella pubblica, per dare continuità e unità alle idee che hanno animato tutto il progetto. In questo senso anche il colore vuole ricordare la vivacità e la spensieratezza dei bambini e dei ragazzi che animeranno la piazza durante la settimana. Inoltre l'ampliamento dei balconi coincide allo stesso tempo con la volontà dello spazio privato di entrare a far parte della vita pubblica propria della piazza: quest'ultima, come abbiamo detto precedentemente, è il momento di sintesi di tutti i concetti che fondano il nostro progetto, e così oltre ad essere spazio diaframmatico, pubblico, di scambio e di interrelazione, di gioco, di cultura, ospita in sé anche la complessità della sfera privata.

La piazza, ancor più, diventa momento di sintesi progettuale.

All'interno degli spazi privati è stata apportata qualche modifica distributiva: oltre ad essere stati inseriti gli ascensori per ciascuno dei sei corpi scala, sono state uniformate le dimensioni degli appartamenti a 75 mq; infatti gli alloggi sono oggi di due diverse tipologie: l'una quadrilocale con bagno annesso e l'altra pentalocale sempre con bagno. Altre modifiche sono state apportate a livello tecnico-impiantistico, integrando ciascun alloggio con un impianto di riscaldamento e raffrescamento a pavimento (con la conseguente eliminazione dei termosifoni) serramenti a taglio termico e apparecchiature per la ventilazione meccanica controllata ed infine eliminazione delle caldaie presenti in ogni appartamento.

Il soggetto fondamentale all'interno del progetto è l'uomo. Come avviene per gli ambienti esterni, dove si è studiato lo spazio per far sì che gli abitanti, sia soli che in aggregazione, possano sentirsi a proprio agio, così nello spazio privato la persona o la famiglia che vi abita deve avvertire un comfort generale, dettato da una serie di fattori enunciati brevemente nei precedenti paragrafi. Le idee progettuali profondamente radicate e visibili nell'esito del progetto sono state pensate tenendo sempre ben presente il fine ultimo dell'azione progettuale: la persona che vive ed esperisce lo spazio riqualificato.

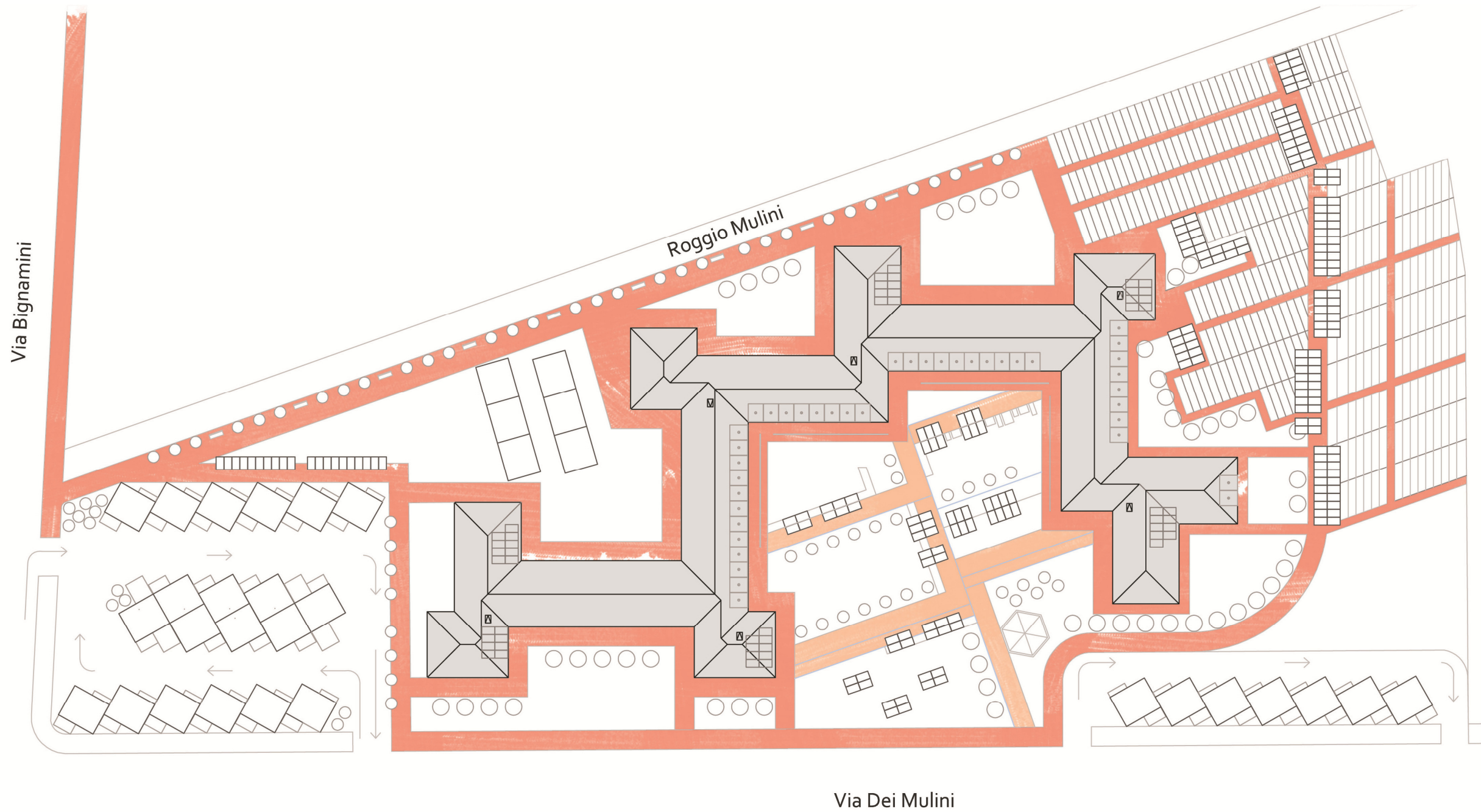
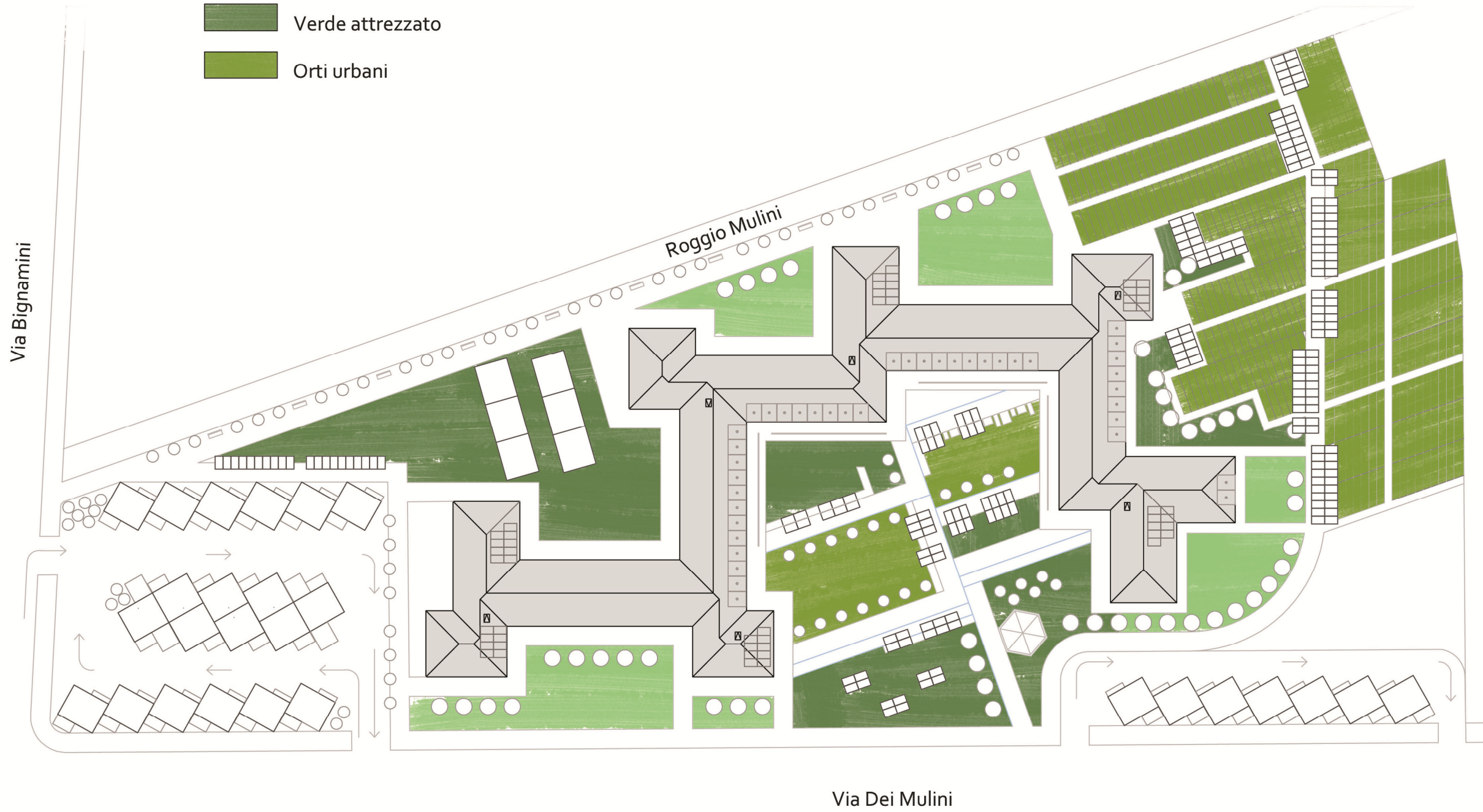


Tavola 5 Tavole di progetto: Studio dei percorsi

- Verde
- Verde attrezzato
- Orti urbani



0 5 10 15 20 25



Tavola 6 Tavole di progetto: Studio del verde

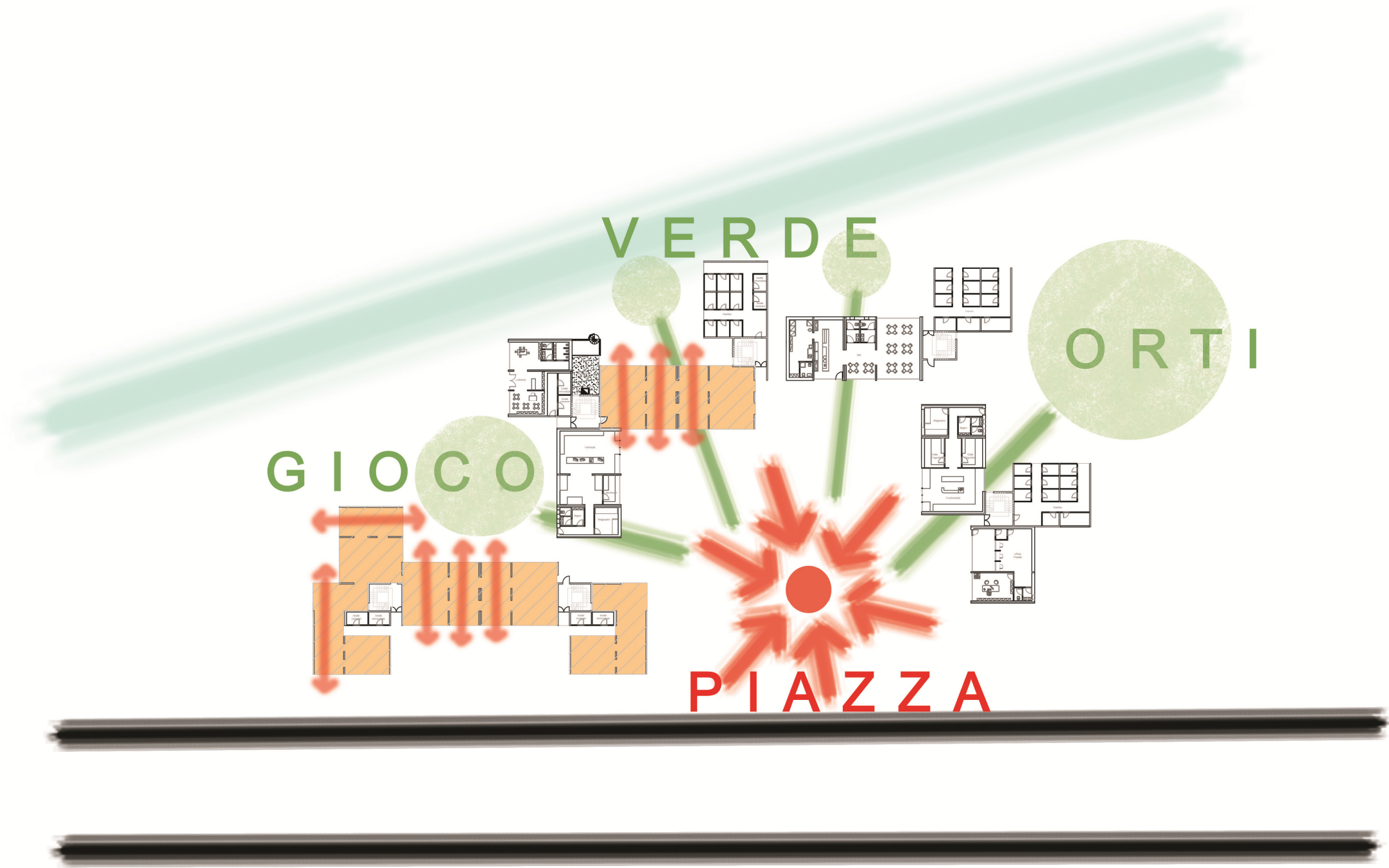


Tavola 7 Tavole di progetto: Spazi flessibili negli spazi di contaminazione

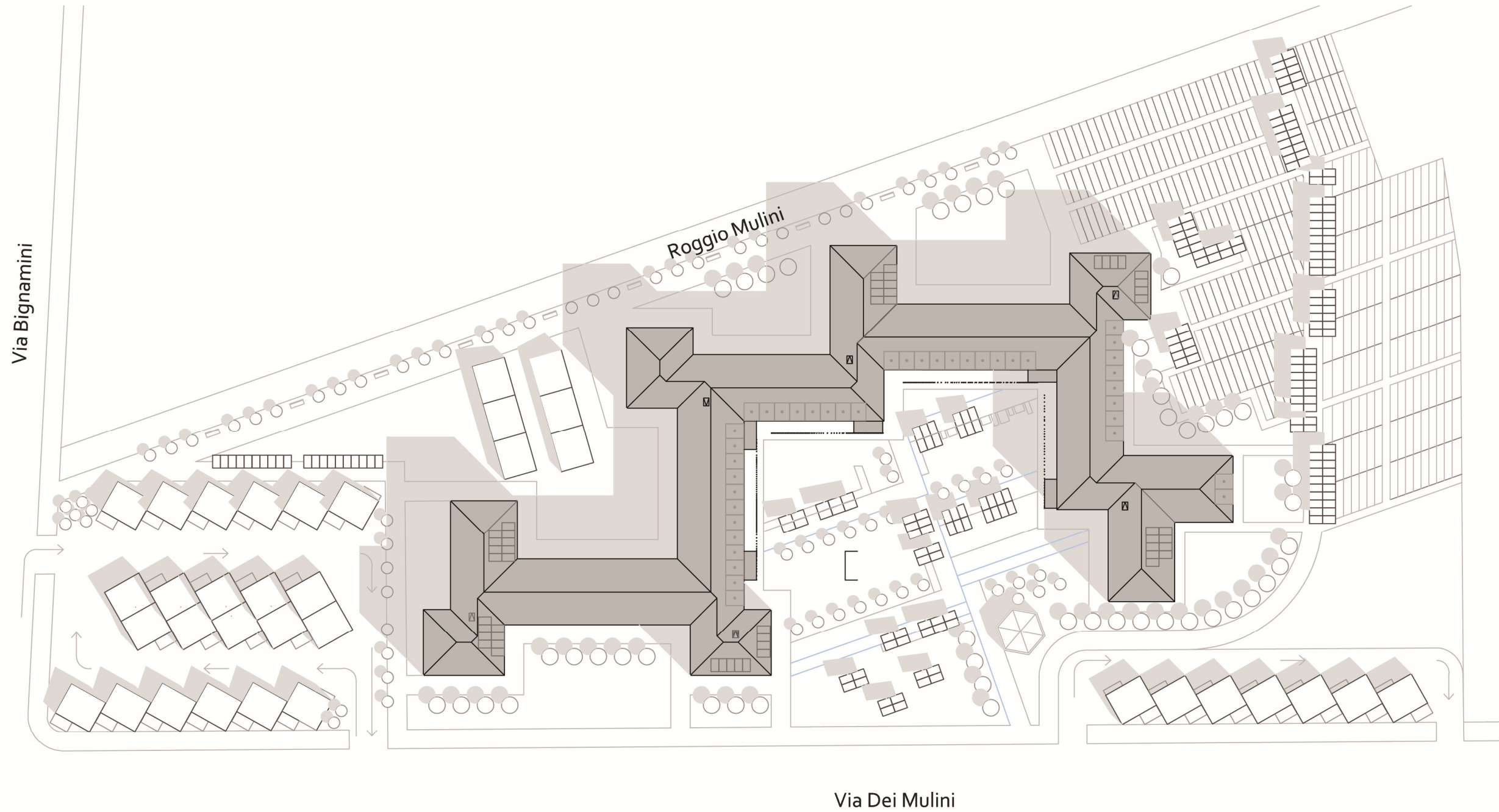


Tavola 8 Tavole di progetto: Planivolumetrico

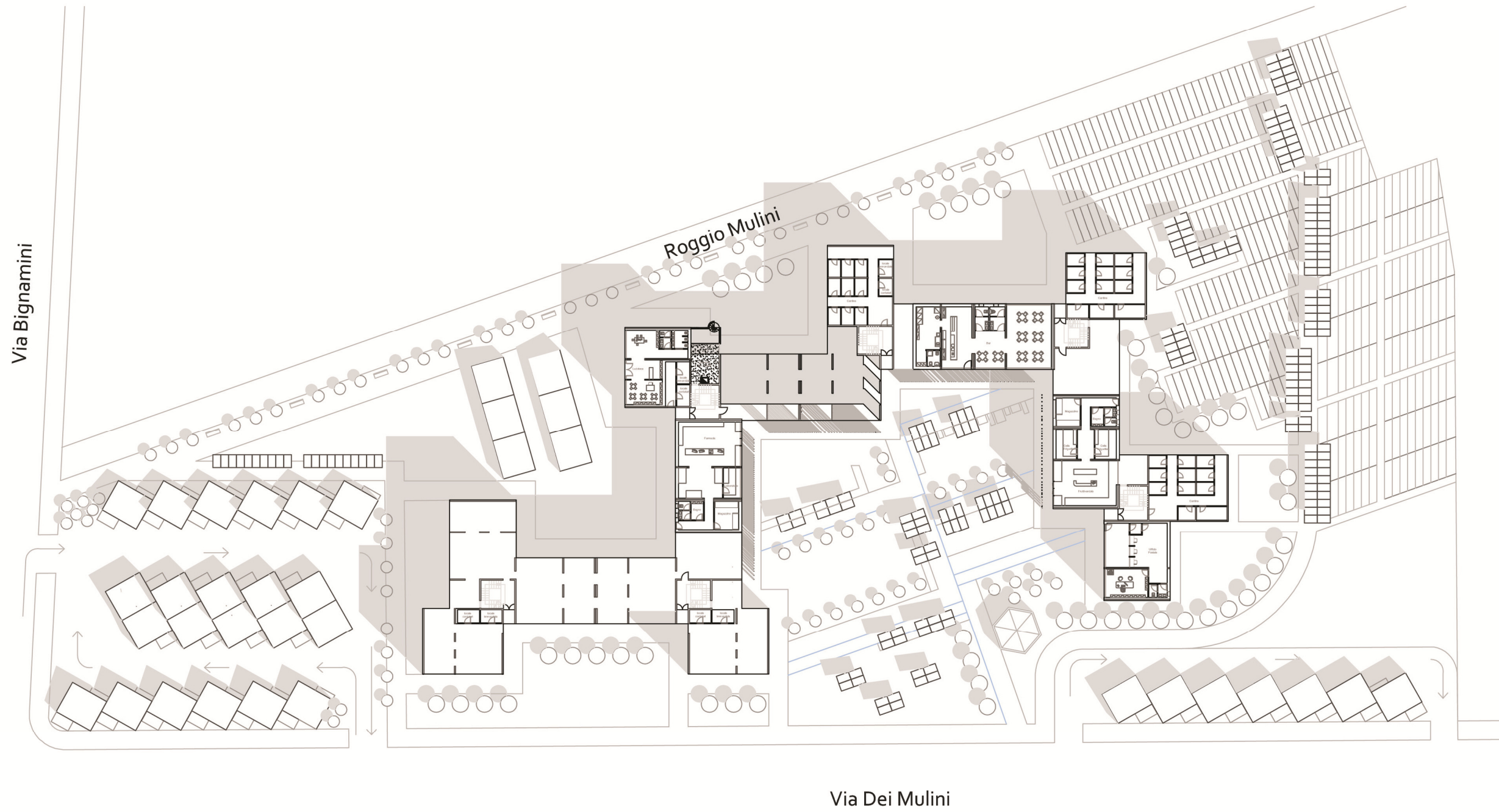


Tavola 9 Tavole di progetto: Planimetria generale



Tavola 10 Tavole di progetto: Pianta piano tipo

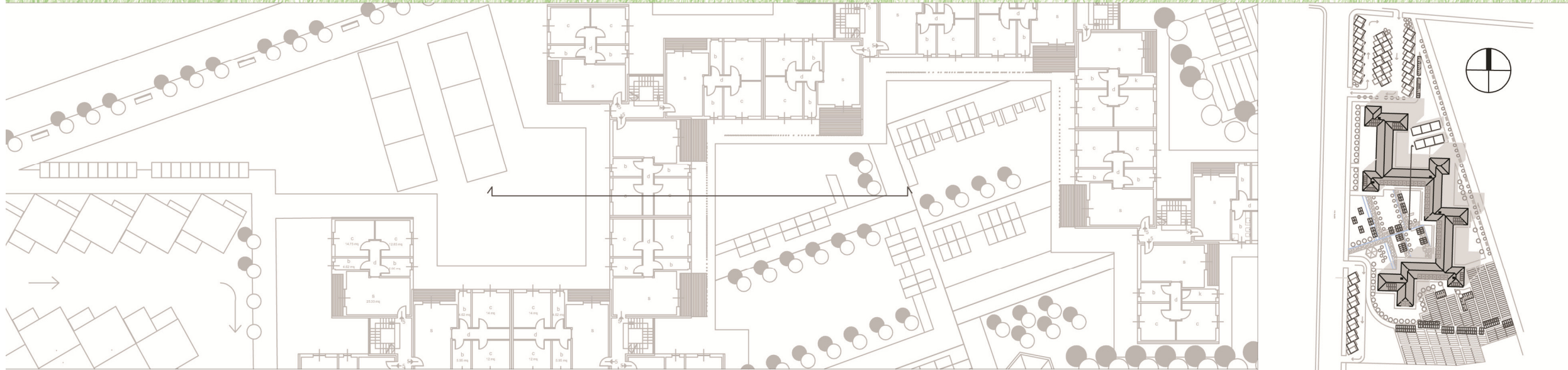
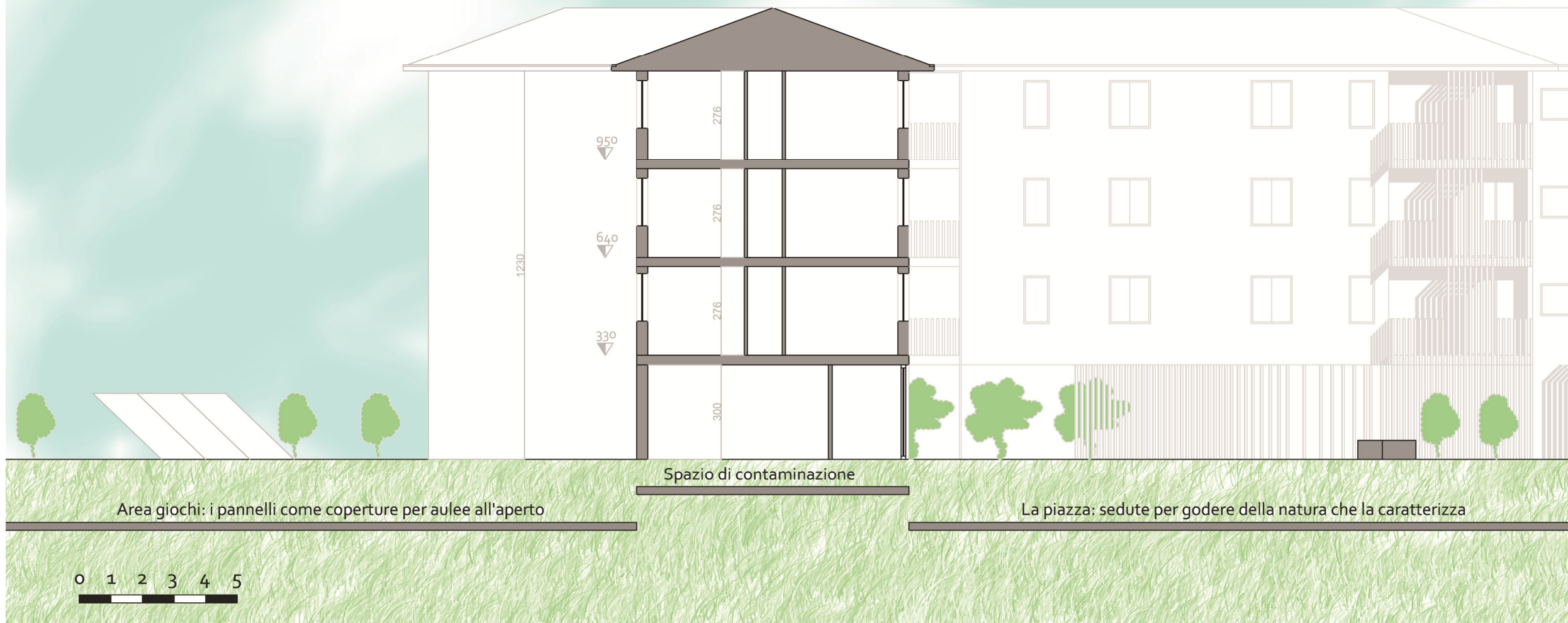


Tavola 11 Tavole di progetto: Sezione

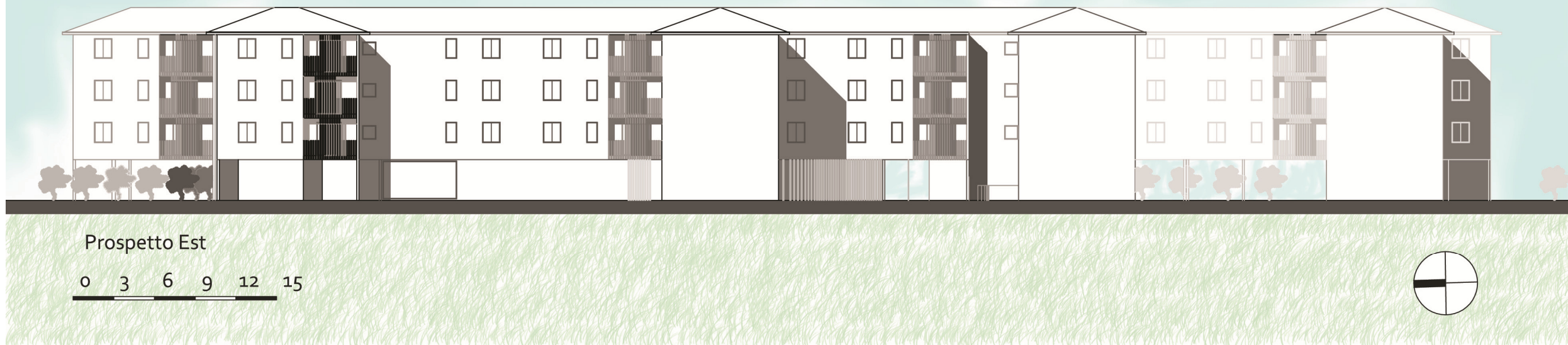


Tavola 12a Tavole di progetto: Prospetti



Tavola 12b Tavole di progetto: Prospetti

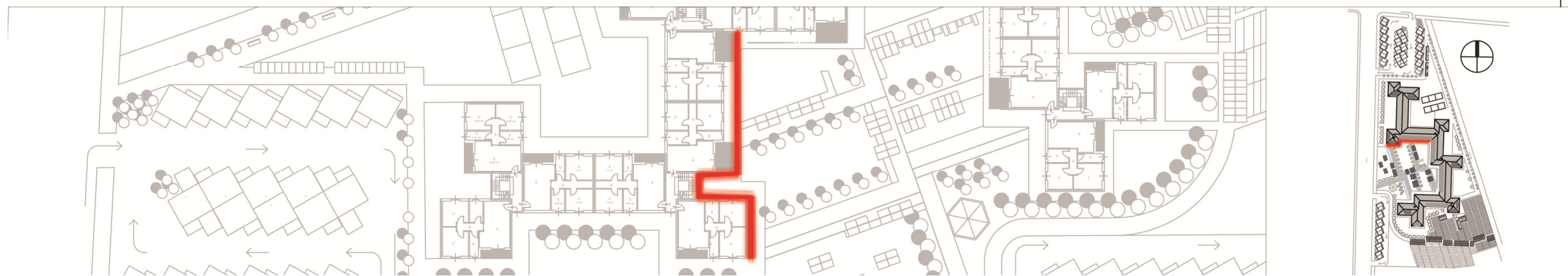


Tavola 12c Tavole di progetto: Prospetto sud – corte interna

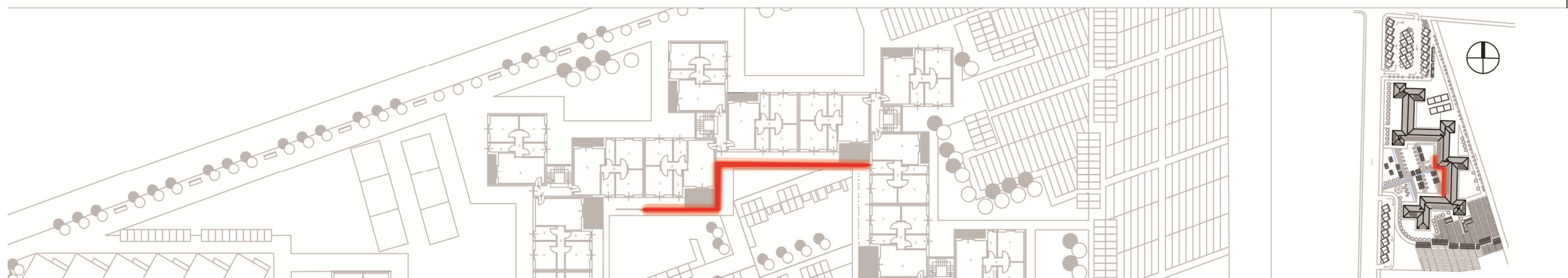


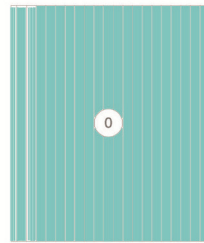
Tavola 12d Tavole di progetto: Prospetto ovest – corte interna



CAMPO FOTOVOLTAICO 1 (copertura)

Fabbisogno di energia elettrica delle apparecchiature impiantistiche (per riscaldamento, acs e raffrescamento)

installazione di 53 pannelli fotovoltaici posti a sud per 12,2 kW di potenza per un consumo di 10790 kWh/a



COLLETTORI SOLARI (copertura):

40 collettori solari posti a sud

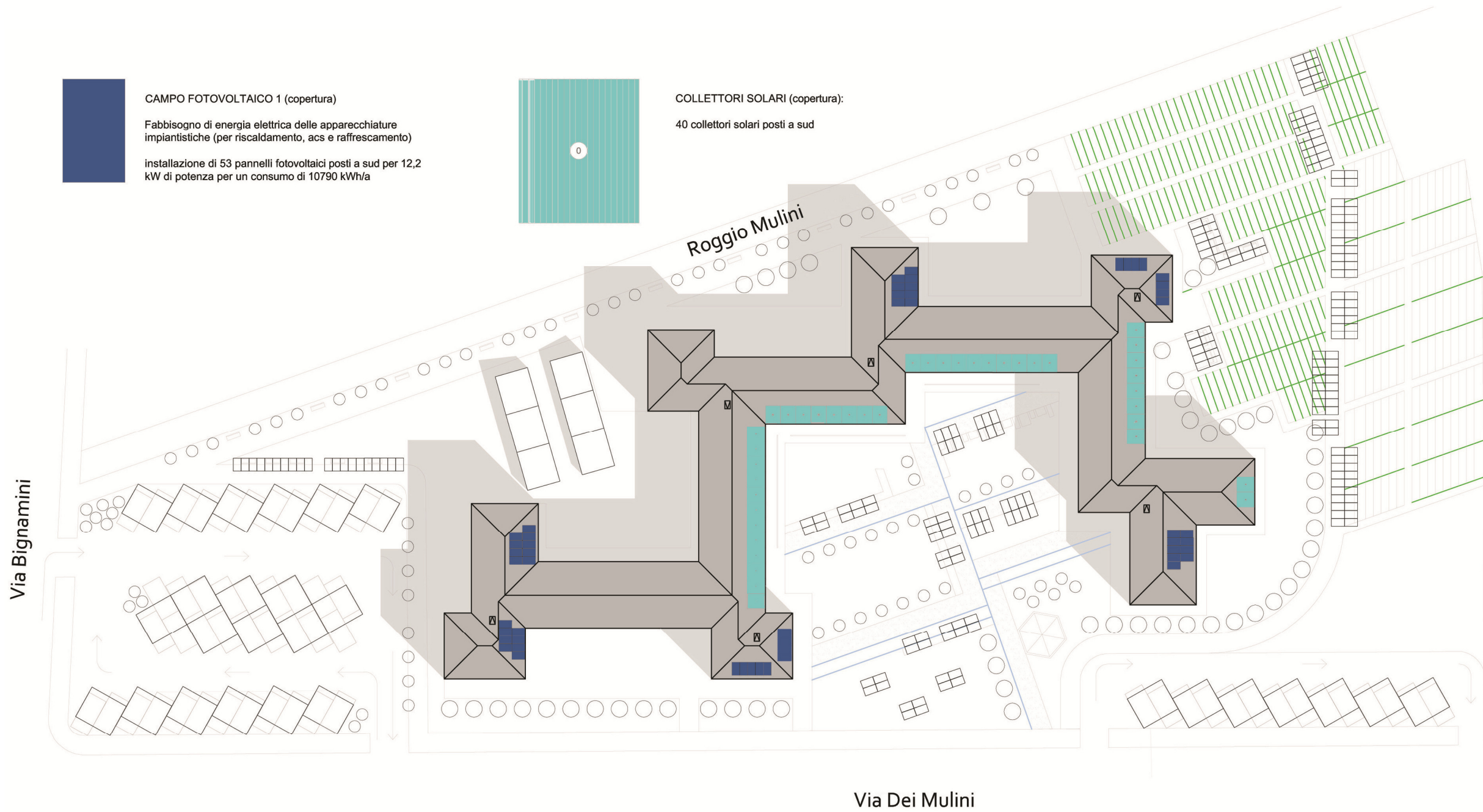


Tavola 13a Tavole di progetto: Campo fotovoltaico 1



CAMPO FOTOVOLTAICO 2 (spazi aperti)

Fabbisogno di energia per alloggi e parti comuni (Illuminazione, ascensori, ecc.)

667 pannelli fotovoltaici posti negli spazi aperti della residenza per 150 kW di potenza per un consumo di 159200 kWh/a

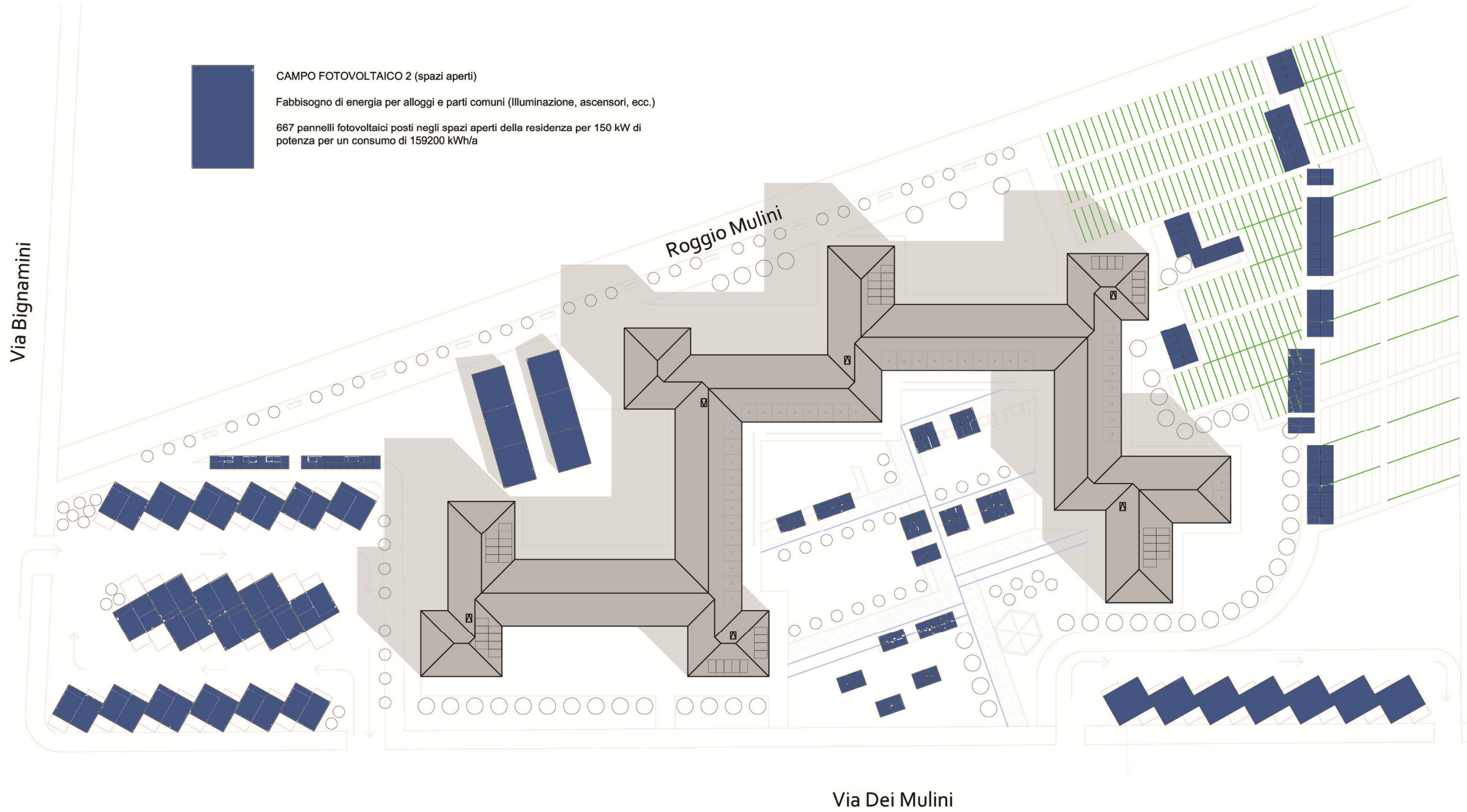


Tavola 13b Tavole di progetto: Campo fotovoltaico 2

3. Gli aspetti energetici

In questo capitolo viene descritto in dettaglio l'iter procedurale svolto per la valutazione delle prestazioni energetiche dell'edificio esistente preso in esame e facente parte del patrimonio A.L.E.R. Bergamo, complesso residenziale ubicato in Treviglio (BG) in via Dei Mulini n. 10/20 e composto da 54 alloggi su tre piani fuori terra.

L'obiettivo della tesi, non privo di difficoltà, sarà quello di progettare un edificio a consumo quasi zero così come definitivo stabilito dalla recente direttiva europea.

Infatti, la Direttiva 2010/31/UE apre un nuovo scenario di possibili decreti e prescrizioni sull'efficienza energetica degli edifici. Pubblicata sulla Gazzetta ufficiale dell'Unione Europea del 18 giugno 2010 la nuova *Energy performance building directive* è entrata in vigore il 9 luglio 2010, abrogando la Direttiva 2002/91/CE dal 1° febbraio 2012 sul rendimento energetico e recepita in Italia il 19 agosto 2005 con il decreto legislativo 192.

La direttiva recita che entro il 31 dicembre 2020 tutti gli edifici di nuova costruzione dovranno essere a energia quasi zero. Gli edifici di nuova costruzione occupati da enti pubblici e di proprietà di questi ultimi dovranno rispettare gli stessi criteri a partire dal 31 dicembre 2018.

Come riportato nel testo della stessa, risulta che il 40 % del consumo globale di energia dell'Unione è dovuto alla climatizzazione degli edifici ed essendo il settore in espansione ciò comporterà ulteriori aumenti.

Indi per cui ciascuno stato membro dell'Unione Europea dovrà promuovere l'incremento degli edifici di questo tipo tramite l'attuazione di piani nazionali, che comprendono:

- l'indicazione del modo in cui lo Stato membro applica la definizione di edifici a energia quasi zero;
- gli obiettivi intermedi di miglioramento della prestazione energetica degli edifici di nuova costruzione entro il 2015;
- le informazioni sulle politiche e sulle misure finanziarie o di altro tipo adottate per promuovere il miglioramento della prestazione energetica degli edifici.

Resta dunque un punto fermo l'obbligo degli Stati membri di stabilire requisiti armonizzati e una metodologia di calcolo sulle prestazioni energetiche degli edifici per raggiungere l'obiettivo di costruire fabbricati ad altissima prestazione energetica, determinata tenendo conto dei consumi legati al riscaldamento, raffrescamento, ventilazione, illuminazione e produzione di acqua calda sanitaria.

La direttiva fornisce il tema da sviluppare dando una definizione di *"edificio a energia quasi zero"*, delineandolo come *"edificio ad altissima prestazione energetica"* in cui *"il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compreso quella prodotta in loco o nelle vicinanze"*.

Ad oggi, l'Italia ha recepito la direttiva europea 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili attraverso il decreto legislativo del 3 marzo 2011 n. 28, il quale specifica la necessità di ricorrere alle fonti energetiche rinnovabili per la copertura percentuale

del fabbisogno energetico per riscaldamento, raffrescamento e produzione di acqua calda sanitaria.

L'applicazione del decreto corre parallela al decreto legislativo 192/05 e s.m.i. e integra le parti del D.P.R. 59/09 dedicate alle rinnovabili abrogandone i contenuti.

I nuovi limiti da rispettare sono descritti nell'Allegato 3 richiamato dall'articolo 11 del D.Lgs 28/11, dove viene introdotto l'obbligo di integrazione delle fonti rinnovabili negli edifici di nuova costruzione e negli esistenti sottoposti a ristrutturazioni rilevanti (intendendosi tali quando il costo complessivo per quanto riguarda l'involucro e gli impianti supera il 25 % del valore dell'edificio) per la copertura di consumi di calore, elettricità e per il raffrescamento.

I nuovi obblighi si applicano a partire dal 31 maggio 2012 con regole più severe dal 2014 e poi dal 2017.

Per il rinnovabile termico il punto 1 dell'Allegato 3 specifica che dal 31/05/2012 al 31/12/2013, gli impianti di produzione di energia termica devono garantire il rispetto della copertura, tramite il ricorso a fonti rinnovabili, del:

$$50\% EP_{acs} + 20\% (EP_i + EP_e + EP_{acs})$$

dove:

EP_{acs} Fabbisogno di energia primaria per la produzione di acqua calda sanitaria (calcolo in accordo con UNI TS 11300-2 e 4);

EP_i Fabbisogno di energia primaria per il riscaldamento (calcolo in accordo con UNI TS 11300-1 e 3);

EP_e Fabbisogno di energia primaria per il raffrescamento (calcolo in accordo con UNI TS 11300-1 e 3).

Nel punto 2 dell'Allegato 3 del D.Lgs 28/11, il legislatore chiarisce altresì che gli obblighi non possono essere assolti tramite impianti da fonti rinnovabili che producano esclusivamente energia elettrica la quale alimenti, a sua volta, dispositivi o impianti per la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento e il raffrescamento.

Per il rinnovabile elettrico, il legislatore obbliga l'installazione di impianti alimentati da fonti rinnovabili installati sopra o all'interno dell'edificio o nelle relative pertinenze, di potenza elettrica (kW):

$$P = \frac{S}{K}$$

dove S è la superficie in pianta dell'edificio al livello del terreno, misurata in m² e K è un coefficiente (m²/kW) che assume il valore 80 dal 31/05/2012 al 31/12/2013.

Il legislatore ribadisce ancora che in caso di utilizzo di pannelli solari termici o fotovoltaici disposti sui tetti degli edifici, i predetti componenti dovranno essere aderenti o integrati nei tetti medesimi, con la stessa inclinazione e lo stesso orientamento della falda.

In effetti, la nuova normativa europea (ne tanto meno quella nazionale di recepimento ancora in fase di sviluppo), non indica le metodologie da adottare e i requisiti prestazionali minimi da soddisfare, affinché un edificio esistente possa essere catalogato come “*edificio a energia quasi zero*”.

Pertanto, nella progettazione dell'edificio di tesi si è fatto riferimento al D.Lgs 28/11, attualmente vigente sul territorio lombardo con gli obblighi sopra citati, oltre che alla normativa regionale (D.G.R. VIII/8745 del 22/12/2008) sulla certificazione energetica. Per il calcolo delle prestazioni energetiche si è fatto riferimento alle norme UNI TS 11300 attualmente vigenti.

Mancando un riferimento normativo vero e proprio, ci si è rifatti ad una recente ricerca dell'ENEA che con un'analisi di molti esempi di edifici ha portato a definire un nuovo standard energetico quello appunto di *edificio passivo* con indice di prestazione energetico attestato a $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{anno})$. Questo valore è pari a circa il 20% dell'energia consumata in un edificio normale, cioè costruito secondo gli standard attuali e rispondente alle specifiche della L. 10/91.

Lo standard CasaClima® definisce edifici in classe *Gold* quelli con un consumo di $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{anno})$. Si può allora pensare che per edifici ad alte prestazioni energetiche e definibili a energia quasi zero, si possa avere un consumo specifico di $15/10 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{anno})$, corrispondente grossolanamente ad un consumo di 1 litro di gasolio per unità di superficie e per anno.

Si tratta, pertanto, di una riduzione notevole rispetto agli $80\div 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{anno})$ consumati negli edifici normali o ai $150\div 240 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{anno})$ degli edifici non coibentati.

Si fa presente, inoltre, che già un consumo di $25\div 60 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{anno})$ è considerato basso e il raggiungimento di questo obiettivo richiede notevoli sforzi nella coibentazione degli edifici e nella progettazione degli impianti.

3.1 Approccio operativo

Grazie alla collaborazione del responsabile dell'ufficio di progettazione impianti dell'A.L.E.R. (Azienda Lombarda per l'Edilizia Residenziale della Provincia di Bergamo), per gli aspetti progettuali delle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto, come accennato in precedenza, abbiamo potuto accedere agli archivi storici e quindi risalire ai dati progettuali e di appalto dell'edificio residenziale di loro proprietà sito in Treviglio, in via Dei Mulini n. 10/20 e costruito a metà degli anni '70. In particolare, sono stati forniti i dati progettuali consistenti in elaborati grafici e particolari esecutivi, le relazioni descrittive dei materiali all'epoca utilizzati e di calcolo degli impianti di riscaldamento, i capitolati speciali d'appalto, i consumi annuali degli ultimi quattro anni di combustibile metano e di elettricità dell'impianto di riscaldamento centrale. Per il reperimento dei consumi di gas metano per la produzione di acqua calda sanitaria, trattandosi di impianti autonomi costituiti da boiler a camera aperta di potenza termica al focolare di circa 15 kW, si è proceduto all'audit a campione presso gli assegnatari. In questo modo, fin da subito, abbiamo avuto ben chiaro il quadro generale della situazione progettuale e gestionale; ciò che mancava era una panoramica delle condizioni attuali in cui versava l'edificio. Il passo successivo è stato dunque quello di procedere con uno o più rilievi in sito per verificare quali fossero le criticità delle prestazioni energetiche del complesso residenziale, a distanza di quasi quarant'anni dalla costruzione, e quindi analizzare lo stato degli elementi disperdenti, anche attraverso le immagini termografiche, per riscontrare, con la scorta dei particolari progettuali, le reali caratteristiche termiche ed igrometriche dei componenti opachi e trasparenti e l'effettiva presenza dei ponti termici. La raccolta dei dati costituenti l'involucro dell'edificio e di quelli relativi agli impianti di riscaldamento centrale e di produzione autonoma di acqua calda sanitaria entrambi alimentati a metano, ci hanno consentito poi di calcolare il fabbisogno di potenza termica e quelli di energia utile e primaria, attraverso la ricostruzione di un modello termico valido e cioè molto vicino alle condizioni reali d'esercizio, con il supporto del programma Edilclima in dotazione all'A.L.E.R. di Bergamo.

Una volta noto l'indice di prestazione energetica del sistema edificio-impianto e quindi la classe energetica di appartenenza (in particolare si è calcolato con il software CENED⁺ un valore di E_{p_h} pari a 156,57 kWh/m²anno, corrispondente alla classe energetica F), abbiamo simulato gli interventi di risparmio energetico sia sull'impianto e sia sull'edificio.

L'individuazione dei possibili interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche è stata eseguita in prima battuta assieme all'A.L.E.R. di Bergamo, che ha già in programma nel prossimo triennio, l'esecuzione di lavori di riqualificazione energetica su alcuni edifici definiti "energivori" (tra cui appunto quello preso in esame ed oggetto di tesi). La strategia attuata dall'A.L.E.R., anche in base alle disponibilità economiche di bilancio, ha riguardato dapprima la ristrutturazione impiantistica (componente ritenuta oramai obsoleta e ai limiti dell'affidabilità) visti gli elevati consumi di metano e le disposizioni vigenti della normativa regionale in materia di efficienza energetica. La nuova modellazione è stata prodotta modificando lo stato di fatto del sistema edificio-impianto, inserendo i seguenti interventi ritenuti necessari e quindi prioritari:

- nuovi sistemi di termoregolazione (centralina climatica in centrale termica, cronotermostati ambiente in ciascun alloggio e valvole termostatiche sui radiatori);
- implementazione del sistema di contabilizzazione diretta dei consumi di energia termica utile per il riscaldamento (con modifica del collettore di piano);
- sostituzione del generatore di calore esistente con nuovo a condensazione e a modulazione totale della potenza e delle pompe esistenti di circolazione del fluido termovettore con nuove del tipo elettronico a portata variabile.

Sempre con l'ausilio del software Edilclima, una volta note le modalità d'intervento e le apparecchiature in campo, si è proceduto a:

- calcolare i nuovi fabbisogni di potenza ed energia;
- calcolare i nuovi rendimenti dell'impianto;
- calcolare il fabbisogno di energia primaria (consumo).

Di conseguenza, a definire la nuova certificazione energetica : classe E, a cui corrisponde $E_{p,n}$ pari a 137,84 kWh/m²anno.

La spesa economica degli interventi quantificati dall'A.L.E.R., a fronte di un modesto miglioramento della classe energetica, risulta ammortizzabile e remunerativa sia in termini di risparmio energetico sia in termini di vantaggio economico dell'investimento.

Il secondo intervento programmato dall'A.L.E.R. nel triennio riguarda il miglioramento delle prestazioni termiche dell'involucro edilizio.

La strategia d'intervento attuata ha tenuto conto di vari aspetti:

- invasività e sicurezza (gli alloggi sono tutti occupati);
- i costi di realizzazione e possibili ammortamenti;
- lo stato manutentivo e di usura dei componenti edilizi.

Nello specifico, pur verificandosi con l'esame termografico presenza di ponti termici e di zone scarsamente isolate (come i sottofinestra sui quali sono alloggiati i caloriferi e i cassonetti dei serramenti), l'azienda lombarda della provincia di Bergamo ha optato per la sostituzione dei serramenti a taglio termico con nuovi cassonetti isolati (entrambi in alluminio) e nuovi elementi oscuranti (agendo sul 28 % delle dispersioni totali). Infatti, come è evidenziato nelle foto, risulta che l'intonaco esterno plastico sia uniforme e non deteriorato, la trama dei mattoni integra e, come indicato nei particolari di progetto dei componenti disperdenti opachi, i muri di tamponatura a doppia fodera dotati di isolamento e camera d'aria, pertanto con un grado di isolamento appena sufficiente.

La sostituzione dei serramenti comporta anche un miglioramento del confort abitativo durante la stagione estiva, in quanto l'inserimento di elementi filtranti ad attenuazione delle radiazioni solari, quali appunto i vetri stratificati e basso emissivi, riducono i fenomeni di surriscaldamento ambientale.

In contemporanea si è programmato di intervenire anche:

- sui muri sottofinestra aventi spessori ridotti rispetto alla restante parte della muratura di coronamento, con l'inserimento dal lato interno di pannelli riflettenti per contenere il fenomeno delle dispersioni termiche enfatizzato dalla presenza dei radiatori, riducendo di conseguenza le dispersioni di calore verso l'esterno durante il periodo invernale;
- sul solaio di sottotetto sprovvisto di isolamento termico, inserendo un materassino sull'estradosso, consistente in un pannello di polistirene sinterizzato dello spessore di 10 cm, riducendo le dispersioni di circa il 10,5 % del totale;
- sul pavimento confinante con i box al piano terra sprovvisto di isolamento termico, inserendo un materiale isolante di alta qualità dello spessore di 1 cm, costituito da rivestimento in polipropilene pressofuso a un pannello di fibra di vetro ad altissima resistenza, riducendo le dispersioni di circa il 5,2 % del totale.

Ancora con il software Edilclima, si è proceduto a:

- calcolare i nuovi fabbisogni di potenza ed energia;
- calcolare i nuovi rendimenti dell'impianto;
- calcolare il fabbisogno di energia primaria (consumo).

Di conseguenza, la nuova certificazione energetica : classe C, a cui corrisponde E_{ph} pari a 84,85 kWh/m²anno.

La terza ipotesi invece riguarda un intervento progettuale di riqualificazione globale del sistema edificio-impianto con l'obiettivo finale di raggiungere la dizione di "*edificio a energia quasi zero*", introdotta da ultimo dalla direttiva europea 2010/31/UE sul rendimento energetico.

L'obiettivo finale della tesi sarà quello di effettuare un intervento progettuale fattibile, in relazione ai costi d'intervento e all'ottimizzazione dei rendimenti.

L'intento sarà duplice: da un lato quello di progettare tenendo conto di tutti i vincoli esistenti, in modo accurato ed unitario, interventi che producano effetti efficaci sulle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto preso in esame e che incidano in modo pesante sui fabbisogni energetici riducendoli drasticamente, dall'altro quello di analizzare i costi di realizzazione che, seppure rilevanti, per essere sostenibili non dovranno comunque eccedere il 50 % del costo di realizzazione ex novo del complesso edilizio A.L.E.R..

Si può ritenere raggiunto l'obiettivo della tesi se l'edificio A.L.E.R. attestato inizialmente in classe energetica F, possa essere collocato, dopo gli interventi di riqualificazione, in classe energetica A.

3.2 Diagnosi energetica del sistema edificio-impianto esistente A.L.E.R.

Prima di entrare nello specifico della metodologia operativa seguita per la costruzione del modello energetico di base del sistema edificio-impianto dell'A.L.E.R. preso in esame, è doveroso riportare la definizione di "diagnosi energetica".

Il D. Lgs 30 maggio 2008, n. 115, attuazione della Direttiva 2006/32/CE relativa "all'efficienza degli usi finali dell'energia" definisce la diagnosi energetica come la "procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di un'attività o impianto industriale o di un servizi pubblici o privato, a individuare e a quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati".

Più semplicemente, la diagnosi energetica rappresenta un insieme di attività professionali funzionali atte ad individuare "lo stato di salute del sistema edificio-impianto" del complesso residenziale A.L.E.R. in Treviglio (BG). E' equiparabile, da un punto di vista medico, ad un completo check-up comprensivo di una cartella medica completa ed esaustiva con indicazione esplicita della "terapia" consigliata, ovvero le cosiddette indicazioni per il miglioramento. In effetti, un edificio che consuma troppa energia è un edificio malato. In analogia alla diagnosi medica, quella energetica dell'edificio prevede una serie di analisi sui suoi elementi costitutivi, edili ed impiantistici, per ricavarne i parametri che caratterizzano la sua qualità energetica. Tali parametri sono confrontati con i "valori normali", ossia con quelli prescritti dalla legislazione vigente per i nuovi edifici che, poiché conformi allo stato dell'arte, rappresentano gli edifici "sani".

I parametri più rilevanti oggetto di confronto e verifica sono:

- la trasmittanza degli elementi costruttivi, che definisce il grado di isolamento dell'involucro;
- il rendimento globale degli impianti di climatizzazione, che definisce la loro efficienza;
- il fabbisogno di energia primaria, ossia il consumo di vettori energetici che, in quanto conseguenza delle caratteristiche di cui ai punti a) e b), definisce la prestazione energetica dell'edificio.

Assieme al responsabile dell'ufficio progettazione impianti dell' A.L.E.R., abbiamo individuato per il complesso residenziale in via Dei Mulini n. 10/20, come accennato, gli elementi "malati" e studiata una cura che sia "efficace sotto il profilo dei costi". La cura è efficace quando i risparmi ripagano ampiamente i costi dell'intervento, ossia quando il capitale impegnato è remunerato con interessi allettanti. Nella fattispecie, si è trattata di una cura che durerà tre anni, in quanto solo una parte degli interventi ed in particolare quelli relativi alla ristrutturazione impiantistica, saranno remunerativi in un periodo di ritorno accettabile, comportando un vantaggio economico per il capitale impegnato da A.L.E.R..

La procedura seguita per l'attuazione della diagnosi energetica sviluppata sull'edificio A.L.E.R. è stata la seguente:

- acquisizione presso l'archivio A.L.E.R. dei dati e degli elaborati esistenti relativi all'edificio e agli impianti del complesso edilizio in Treviglio (BG);
- rilievo delle caratteristiche dell'involucro edilizio (dati dimensionali, stratigrafie ecc.), conferma della documentazione progettuale acquisita presso l'ufficio tecnico dell'A.L.E.R. di Bergamo mediante verifiche in loco ed eventuali verifiche strumentali in caso di dubbi;
- rilievo delle caratteristiche degli impianti (schemi funzionali, caratteristiche delle apparecchiature e dei componenti, utili all'esecuzione dei calcoli energetici), conferma della documentazione progettuale acquisita presso A.L.E.R. mediante verifiche in loco ed eventuali verifiche strumentali in caso di dubbi;
- elaborazione del modello con il software Edilclima-EC700 versione 4.1.0 ai fini della diagnosi energetica e sua validazione con riferimento ai consumi storici:

Consumo storico medio gas metano 66.965,60 Nm³/anno

Potere calorifero inferiore del gas metano 9.940 kWh/Nm³

Consumo prima degli interventi		
Reale [kWh]	Calcolato [kWh]	Errore [%]
665.638	678.697	1,92

Il modello è attendibile in quanto l'errore è ridotto e comunque inferiore al valore massimo tollerato del 5%;

- quantificazione degli importi di massima per la realizzazione degli interventi proposti;
- definizione del capitolo raccomandazioni nelle quali vengono riportati:
 - la descrizione sintetica di ciascun intervento;
 - il costo di ciascun intervento;
 - il risparmio energetico previsto per ciascun intervento;
 - il raggruppamento in pacchetti di interventi indipendenti (ad es. termoregolazione e contabilizzazione);
 - le priorità di intervento, intese come successione obbligata di interventi propedeutici e conseguenti;
 - la procedura da mettere in atto per attuare gli interventi;
 - le modalità per verificare i risparmi energetici effettivamente conseguiti.

Tranne gli ultimi due punti delle raccomandazioni che vengono tralasciati perché argomenti non interessanti l'oggetto della tesi, tutti gli altri elementi della procedura sono stati puntualmente assecondati.

Di seguito si riporta la tabella riepilogativa dei principali risultati di calcolo della diagnosi energetica effettuata sul sistema edificio-impianto, costituito dal complesso residenziale A.L.E.R. ubicato a Treviglio (BG) in via Dei Mulini n. 10/20.

Tabella riepilogativa dei risultati della diagnosi energetica di alta qualità							
Simulazioni	Consumo gas risc. [Nm ³]	Consumo Enel [kWh]	Consumo gas a.c.s. [Nm ³]	Classe energ. [kWh/m ² a]	Risp. Energ [%]	Costo di massima [€]	Tempo di ritorno [anno]
Stato di fatto	67174	5056	17501	F (EP _H = 156,57)	-	-	-
Ristrutturazion e impianti (caldaia a condensazione)	50035	3648	17501	E (EP _H = 137,84)	25,5	118.360,00	12
Ristrutturazion e impianti (caldaia a condensazione e pompe di calore)	40003	3366	17501	D (EP _H = 92,81)	40,4	156.310,00	10
Ristrutturazion e impianti (caldaia a condensazione) e interventi sull'involucro	36230	2841	17501	C (EP _H = 84,85)	46,0%	662.706,00	Non calcola bile
Riqualificazion e tesi (edificio a energia quasi zero)	3245	zero	3456	A (EP _H = 17,36)	92,1 %	1.967.400,00	Non calcola bile

Nella suddetta tabella vengono evidenziate anche le classi energetiche calcolate con il programma CENED⁺ versione 1.20, a seguito delle varie simulazioni. Infatti, secondo la Direttiva Europea 2002/91/CE, la certificazione si considera equivalente a una diagnosi quando individua misure di miglioramento dell'efficienza energetica degli edifici e degli immobili esistenti.

Nella tabella vengono indicati in ordine di esecuzione gli interventi di riqualificazione del complesso esistente e ciò è fondamentale, in quanto il risparmio deve essere calcolato in sequenza per ogni intervento, rispetto al fabbisogno dopo l'intervento precedente.

Si può notare che l'intervento di sostituzione della caldaia esistente e di implementazione del sistema di termoregolazione e contabilizzazione del calore comporta già da solo un risparmio, cautelativamente dell'ordine del 25 %, dovuto all'ottimizzazione dei fabbisogni di energia termica per la presenza di un generatore a condensazione e a modulazione totale della potenza termica richiesta, all'utilizzo degli apporti gratuiti (solari ed interni) e all'eliminazione degli sbilanciamenti dell'impianto (con l'inserimento delle valvole termostatiche abbinata a circolatori elettronici a portata variabile).

Il risparmio raggiunge il 40 % se in abbinamento al generatore di calore a condensazione si collega in parallelo la pompa di calore ad assorbimento modulante a condensazione.

Ripercorrendo la strategia dell'A.L.E.R. di Bergamo, la quale come detto provvederà in prima battuta alla ristrutturazione impiantistica con caldaia a condensazione e in seconda battuta a migliorare le prestazioni energetiche dell'involucro dei fabbricati, provvedendo alla sostituzione dei serramenti e all'isolamento dei solai sottotetto e sui box, è possibile verificare un risparmio energetico del 46%.

A titolo esemplificativo, la sostituzione dei serramenti e l'isolamento dei solai sottotetto e sui box, non comporterebbero risparmio, ma solo surriscaldamento dell'edificio, se l'impianto di riscaldamento non fosse in grado di adattarsi al minor fabbisogno di calore.

Mantenendo inalterata la sequenza degli interventi fin qui elencati, si è proceduto poi a verificare attraverso numerose simulazioni delle prestazioni energetiche, la possibilità di trasformare il complesso edilizio residenziale esistente di proprietà dell'A.L.E.R. in "edificio a consumo quasi zero". A tale scopo e in aggiunta, si è proposto per il miglioramento del comfort e delle prestazioni termiche dell'involucro, sia nel periodo invernale che in quello estivo, la realizzazione del cappotto esterno.

Per il raggiungimento di elevate prestazioni energetiche in termini di fabbisogno per riscaldamento, raffrescamento, ventilazione e produzione di acqua calda sanitaria, si è previsto altresì l'utilizzo per una parte molto significativa delle fonti energetiche rinnovabili.

Prima di mostrare in dettaglio le applicazioni operative delle suddette procedure di calcolo, a partire dallo stato di fatto e via via seguendo le ipotesi di riqualificazione dell'edificio preso in esame, vogliamo chiarire alcuni parametri fondamentali che entrano in gioco nelle fasi di analisi e nel calcolo finale dell'indice di prestazione energetica EP_H , utile a comprendere se il complesso edificatorio preso in esame necessita di modifiche all'involucro e agli impianti.

3.2.1 L'indice di prestazione energetica EP_H

L'indice di prestazione energetica EP_H esprime il consumo di energia primaria totale dell'edificio. Le limitazioni su questo parametro riguardano per ora la sola climatizzazione invernale e pertanto il valore di EP_H da verificare rappresenta il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale, ovvero è "la quantità di energia primaria globalmente richiesta, nel corso di un anno, per mantenere negli ambienti riscaldati la temperatura di progetto, in regime di attivazione continuo" (definizione del comma 11, Allegato A, DLgs 311). L'unità di misura di EP_H è il kWh/m²anno nel caso di edifici residenziali o il kWh/m³anno negli altri casi.

Prima di procedere con il metodo di il calcolo di EP_H , è necessario chiarire alcuni concetti fondamentali presenti nella definizione.

Il **periodo di riscaldamento** è il periodo dell'anno in cui per legge è consentita l'accensione dell'impianto termico per proteggersi dal freddo. Questo periodo è definito all'art.9 del DPR 412/93 e varia in funzione della zona climatica della località di riferimento come si vede dalla tabella 3.1.

La **temperatura di progetto** è definita dall'art.4 del DPR 412/93 e per l'edilizia residenziale è fissata a 20°C all'interno degli ambienti riscaldati (Tabella 3.2).

Con **regime di attivazione continuo** si intende la continuità di funzionamento dell'impianto di riscaldamento, senza previsione di interruzione durante il periodo di riscaldamento. Infine con **superficie utile dell'edificio** si intende l'area di pavimento calpestabile e con **volume lordo** il volume delle parti di edificio riscaldate.

Limiti massimi del periodo annuale d'esercizio dell'impianto termico	
Zona A	Dal 1° Dicembre al 15 Marzo per 6 ore giornaliere
Zona B	Dal 1° Dicembre al 31 Marzo per 8 ore giornaliere
Zona C	Dal 15 Novembre al 31 Marzo per 10 ore giornaliere
Zona D	Dal 1° Novembre al 15 Aprile per 12 ore giornaliere
Zona E	Dal 15 Ottobre al 15 Aprile per 14 ore giornaliere
Zona F	Nessuna limitazione

Tabella 3.1 Limiti d'esercizio degli impianti termici

Limiti massimi per la temperatura ambiente	
Edifici di categoria E8	18°C + 2°C
Edifici di categoria diversa da E8	20°C + 2°C

Tabella 3.2 Valori massimi delle temperature ambiente

La verifica della prestazione energetica prevista dal decreto si basa sul confronto tra il valore di EP di progetto e il valore di EP_H limite, ovvero:

$$EP_H < EP_{H \text{ lim}}$$

Si intendono rispettati i limiti imposti dalla legge sul fabbisogno energetico fin tanto che tale relazione è verificata. In caso contrario il progettista deve pensare alle modifiche da apportare per far rientrare il fabbisogno di energia primaria nei limiti stabiliti. Questa verifica, sebbene non particolarmente complessa da un punto di vista matematico, richiede una discreta pazienza da parte del progettista nel recuperare una grande quantità di dati e nel completare la lunga catena di calcoli (la qual cosa si è puntualmente verificata e riscontrata durante le numerose simulazioni di calcolo). Per questo è ormai prassi l'affidamento a strumenti informatici e fogli di calcolo che automatizzano la gran parte dei conti e portano agilmente al risultato finale. È buona cosa però essere consapevoli di come le scelte progettuali influenzino il calcolo di EP_H, di come i parametri siano correlati fra loro e di come questi diversamente pesino sul risultato finale.

3.2.1.1 Calcolo di EP_H limite

L'indicatore di prestazione energetica va verificato sul consumo annuo di energia primaria per il riscaldamento, normalizzato rispetto alla superficie di pavimento (per gli edifici residenziali). La

tabella di riferimento per il nostro progetto di studio è la Tabella 1.3 dell'Allegato C del DLgs 311 riportata di seguito. Il valore limite si ricava a partire da due parametri:

- Il valore di S/V dell'edificio;
- Il valore dei Gradi Giorno della zona climatica.

La tabella riportata nel decreto indica i valori limite, applicabili dal 1 Gennaio 2010, per due classi di S/V e sei classi di Gradi Giorno. Per tutti gli altri casi i valori limite si trovano mediante interpolazione lineare dei dati presenti nella tabella.

Tabella per il calcolo di EP limite										
S/V	Zona climatica									
	A	B		C		D		E		F
	<600 GG	601 GG	900 GG	901 GG	1400 GG	1401 GG	2100 GG	2101 GG	3000 GG	> 3000 GG
≤ 0,2	8,5	8,5	12,8	12,8	21,3	21,3	34	34	46,8	46,8
≤ 0,9	36	36	48	48	68	68	88	88	116	116

Tabella 1.3 Valori limite per il fabbisogno annuo di energia primaria per la climatizzazione invernale per metro quadrato di superficie utile dell'edificio espresso in kWh/m²anno

3.2.1.2 I Gradi Giorno della località

I gradi giorno di una località rappresentano il parametro convenzionale indicativo delle condizioni climatiche locali, utilizzato per stimare il fabbisogno energetico necessario per mantenere gli ambienti ad una temperatura prefissata. I gradi giorno sono dati dalla somma delle differenze tra la temperatura dell'ambiente riscaldato e la temperatura media giornaliera esterna per tutti i giorni del periodo di riscaldamento. Il territorio nazionale italiano è suddiviso, in funzione dei gradi giorno, in sei zone climatiche.

- Zona A comuni che presentano: $GG \leq 600$
- Zona B comuni che presentano: $600 \leq GG \leq 900$
- Zona C comuni che presentano: $900 \leq GG \leq 1400$
- Zona D comuni che presentano: $1400 \leq GG \leq 2100$
- Zona E comuni che presentano: $2100 \leq GG \leq 3000$
- Zona F comuni che presentano: $GG > 3000$

L'elenco completo dei valori di Gradi Giorno di ogni comune italiano è riportato nell'Allegato A del DPR 412/93 con le modifiche introdotte dai decreti successivi. Pertanto è bene sempre verificare presso il comune tale valore.

Per il calcolo dei gradi giorno si assume una temperatura interna di riferimento di 20°C, mentre la temperatura esterna media giornaliera è determinata per ogni giorno con la media dei seguenti quattro valori di temperatura:

- temperatura massima giornaliera;
- temperatura minima giornaliera;

- temperatura alle ore 8;
- temperatura alle ore 19.

Convenzionalmente in Italia si è assunto che la durata del periodo di riscaldamento corrisponde ai giorni in cui la temperatura media esterna risulta inferiore ai 12°C. L'impianto di riscaldamento interverrà quindi solo quando la temperatura media esterna risulta inferiore ai 12°C.

3.2.1.3 Il rapporto S/V dell'edificio

S/V è il rapporto fra:

- S, espressa in metri quadrati, superficie che delimita verso l'esterno (o verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) il volume riscaldato V;
- V, espresso in metri cubi, volume lordo delle parti di edificio riscaldate, definito dalle superfici che lo delimitano.

Questo rapporto di forma è una proprietà geometrica dell'edificio e serve per caratterizzarne il livello di "compattezza". Un edificio poco compatto per sua natura ha una proporzione fra volume e superficie disperdente che lo porta ad avere un rapporto S/V alto, ovvero ha tanta superficie disperdente rispetto al volume riscaldato; al contrario un edificio molto compatto, come il nostro, ha poca superficie disperdente rispetto al volume e quindi ha un rapporto S/V basso. I limiti del DLgs 311 assecondano questa naturale tendenza alla dispersione legata alla forma degli edifici, prevedendo valori da rispettare meno severi al crescere di S/V. Per il calcolo di S e V bisogna determinare in modo univoco quali sono gli ambienti riscaldati e le superfici disperdenti.

3.2.1.4 Calcolo di EP_H di progetto

Il calcolo dell'indice di prestazione energetica EP_H è disciplinato dalla norma UNI EN ISO 13790, che prevede una procedura basata sul bilancio energetico fra flussi di energia ricevuti e dispersi dall'edificio. Il calcolo di EP_H tiene conto della dispersione energetica dell'involucro e della ventilazione, dell'energia persa dall'impianto nelle fasi di produzione, regolazione, distribuzione e di emissione del calore, dell'apporto di energia primaria immessa nella centrale termica attraverso i vettori energetici, e degli apporti gratuiti interni e solari. In sintesi EP è il rapporto tra la somma dei fabbisogni mensili di energia primaria (Q) e la superficie utile dell'edificio considerato (S_{utile}):

$$EP_H = \frac{Q}{S_{utile}}$$

Come anticipato, procediamo ora a mostrare in modo dettagliato l'applicazione delle diverse fasi di analisi prima sullo stato di fatto e in seguito sulle due ipotesi di riqualificazione dell'edificio preso in esame.

3.3 Stato di fatto

3.3.1 Dati edificio

Caratteristiche geografiche

Edificio	Edificio Residenziale
Indirizzo	Via Dei Mulini, 10/20 – 24047 – Treviglio
Località	Treviglio
Provincia	Bergamo
Altitudine s.l.m.	125 m
Latitudine nord	45° 31'
Longitudine est	9° 35'
Gradi giorno	2237
Zona climatica	E

Caratteristiche dell'edificio

Volume lordo	15125.35 mc
Numero piani	3
Rapporto S/V	0.58 m ⁻¹
Numero alloggi	54
Consumi storici gas metano dell'impianto di riscaldamento centrale	Anno 2007/2008 70410.00 Nmc/anno Anno 2008/2009 65600.00 Nmc/anno Anno 2009/2010 67407.00 Nmc/anno Anno 2010/2011 64445.00 Nmc/anno Valore medio 66965.50 Nmc/anno
Consumi storici energia elettrica dell'impianto di riscaldamento centrale	Valore medio 5000.00 (kW/h)/anno

Località di riferimento

Per la temperatura	Bergamo
Per l'irradiazione	I località: Bergamo II località: Lodi
Per il vento	Bergamo

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto	- 5.0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 15 Ottobre al 15 Aprile

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto	31.0 °C
Temperatura esterna bulbo umido	22.7 °C
Umidità relativa	50.0 %
Escursione termica giornaliera	13 °C

Caratteristiche del vento

Regione di vento	A
Direzione prevalente	Nord – Est
Distanza dal mare	> 40 km
Velocità media del vento	1.9 m/s
Velocità massima del vento	3.8 m/s

Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	3,8	5,6	9,6	14,0	17,7	22,0	24,4	23,9	20,6	14,9	9,3	5,2

Irradiazione solare media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,4	3,6	5,3	7,6	9,2	9,1	6,4	4,2	2,9	1,8	1,4
Nord-Est	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Est	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Sud-Est	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Sud	MJ/m ²	6,7	8,9	10,9	10,5	9,8	9,6	10,5	11,2	11,7	10,9	7,0	6,4
Sud-Ovest	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Ovest	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Orizzontale	MJ/m ²	4,0	6,8	11,3	15,9	19,5	21,6	23,2	19,1	13,9	8,7	4,6	3,6

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione 269 W/m²

3.3.2 Rilievo e analisi degli elementi disperdenti

Il rilievo degli elementi disperdenti consiste principalmente nel calcolo della trasmittanza termica. Essa viene definita dal D. Lgs 192/05 come "Flusso di calore che passa attraverso una parete per m² di superficie della parete e per grado K di differenza tra la temperatura interna ad un locale e la temperatura esterna o del locale contiguo"

Le verifiche di trasmittanza per le strutture opache vengono prescritte dal DPR 02.04.2009, n. 59, all'articolo 4 comma 4.

4. Nei casi di ristrutturazione o manutenzione straordinaria, previsti all'articolo 3, comma 2, lettera c), numero 1), del decreto legislativo, consistenti in opere che prevedono, a titolo esemplificativo e non esaustivo, rifacimento di pareti esterne, di intonaci esterni, del tetto o dell'impermeabilizzazione delle coperture, si applica quanto previsto alle lettere seguenti:

a) per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, il valore della trasmittanza termica (U) per le strutture opache verticali, a ponte termico corretto, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, in funzione della fascia climatica di riferimento. Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite della trasmittanza termica riportati nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico; nel caso di pareti opache verticali esterne in cui fossero previste aree limitate oggetto di riduzione di spessore, sottofinestre e altri componenti, devono essere rispettati i limiti previsti nella tabella 2.1 al punto 2 dell'allegato C al decreto legislativo, con riferimento alla superficie totale di calcolo;

b) per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, il valore della trasmittanza termica (U) per le strutture opache orizzontali o inclinate, a ponte termico corretto, delimitanti il volume riscaldato verso l'esterno, ovvero verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento, deve essere inferiore o uguale a quello riportato nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo, in funzione della fascia climatica di riferimento. Qualora il ponte termico non dovesse risultare corretto o qualora la progettazione dell'involucro edilizio non preveda la correzione dei ponti termici, i valori limite della trasmittanza termica riportati nelle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo, devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, parete corrente più ponte termico. Nel caso di strutture orizzontali sul suolo i valori di trasmittanza termica da confrontare con quelli di cui alle tabelle 3.1 e 3.2 del punto 3 dell'allegato C al decreto legislativo, sono calcolati con riferimento al sistema struttura-terreno;

c) per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'articolo 3 del decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, ad eccezione della categoria E.8, il valore massimo della trasmittanza (U) delle chiusure apribili ed assimilabili, quali porte, finestre e vetrine anche se non apribili, comprensive degli infissi, considerando le parti trasparenti e/o opache che le compongono, deve rispettare i limiti riportati nelle tabelle 4.a e 4.b al punto 4 dell'allegato C al decreto legislativo. Restano esclusi dal rispetto di detti requisiti gli ingressi pedonali automatizzati, da considerare solo ai fini dei ricambi di aria in relazione alle dimensioni, tempi e frequenze di apertura, conformazione e differenze di pressione tra l'ambiente interno ed esterno.

Affinché la verifica risulti positiva i valori di trasmittanza media delle strutture opache verticali, orizzontali o inclinate, delimitanti l'ambiente riscaldato verso l'esterno (tipo T e G) e verso locali

non dotati di impianto di riscaldamento (tipo U), devono essere inferiori o uguali a quelli riportati nell'allegato C al DLgs n. 311/06 (in funzione della zona climatica di appartenenza della località).

Punto 2 allegato C. Trasmittanza termica delle strutture opache verticali

Tabella 2.1 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache verticali espressa in W/m²K

Zona Climatica	Dall'1 Gennaio 2006 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2008 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2010 U(W/m ² K)
A	0.85	0.72	0.62
B	0.64	0.54	0.48
C	0.57	0.46	0.40
D	0.50	0.40	0.36
E	0.46	0.37	0.34
F	0.44	0.35	0.33

Punto 3 allegato C. Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali o inclinate

3.1 Coperture

Tabella 3.1 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura espressa in W/m²K

Zona Climatica	Dall'1 Gennaio 2006 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2008 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2010 U(W/m ² K)
A	0.80	0.42	0.38
B	0.60	0.42	0.38
C	0.55	0.42	0.38
D	0.46	0.35	0.32
E	0.43	0.32	0.30
F	0.41	0.31	0.29

3.2 Pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno

Tabella 3.2 Valori limite della trasmittanza termica U delle strutture opache orizzontali di pavimento espressa in W/m²K

Zona Climatica	Dall'1 Gennaio 2006 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2008 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2010 U(W/m ² K)
A	0.80	0.74	0.65
B	0.60	0.55	0.49
C	0.55	0.49	0.42
D	0.46	0.41	0.36
E	0.43	0.38	0.33
F	0.41	0.36	0.32

Punto 4 allegato C. Trasmissione termica delle chiusure trasparenti

Tabella 4a Valori limite della trasmittanza termica U delle chiusure trasparenti comprensive degli infissi espressa in W/m²K

Zona Climatica	Dall'1 Gennaio 2006 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2008 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2010 U(W/m ² K)
A	5.5	5.0	4.6
B	4.0	3.6	3.0
C	3.3	3.0	2.6
D	3.1	2.8	2.4
E	2.8	2.4	2.2
F	2.4	2.2	2.0

Tabella 4b Valori limite della trasmittanza termica U dei vetri espressa in W/m²K

Zona Climatica	Dall'1 Gennaio 2006 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2008 U(W/m ² K)	Dall'1 Gennaio 2010 U(W/m ² K)
A	5.0	4.5	3.7
B	4.0	3.4	2.7
C	3.0	2.3	2.1
D	2.6	2.1	1.9
E	2.4	1.9	1.7
F	2.3	1.7	1.3

I valori limite devono essere rispettati dalla trasmittanza termica media, ovvero dalla media, pesata rispetto alle superfici, della struttura corrente, del ponte termico e di eventuali strutture oggetto di riduzione di spessore (sottofinestra ed altri componenti sottratti).

La trasmittanza U (UNI EN ISO 6946) si definisce come il flusso di calore che attraversa una superficie unitaria sottoposta a differenza di temperatura pari ad 1°C ed è legata alle caratteristiche del materiale che costituisce la struttura e alle condizioni di scambio termico liminare; si assume pari all'inverso della sommatoria delle resistenze termiche degli strati.

Pertanto si ha:

$$U = \frac{1}{R_t}$$

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Con:

- R_{si} Resistenza superficiale interna
- R₁; R₂; ... R_n Resistenze termiche utili di ciascuno strato
- R_{se} Resistenza superficiale esterna

Dove:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Con:

d Spessore dello strato di materiale nel componente
 λ Conduttività termica utile ricavata da valori tabulati

La trasmittanza termica del componente edilizio finestrato U_w (UNI EN ISO 10077-1) composta da singolo serramento e relativo componente trasparente risulta essere pari a:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + I_g \Psi_g}{A_g + A_f}$$

Con:

U_g Trasmittanza termica del componente vetrato [W/m^2K]
 U_f Trasmittanza termica del telaio [W/m^2K]
 Ψ_g Tramittanza lineare [W/mK]
 I_g Perimetro totale della vetrata [m]
 A_g Area del vetro [m^2]
 A_f Area del telaio [m^2]

Dove la trasmittanza termica del componente trasparente U_g , nel caso di vetrate multiple, è pari a:

$$U_g = \frac{1}{R_{se} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \sum_j R_{s,j} + R_{si}}$$

Con:

R_{se} Resistenza termica superficiale esterna [m^2K/W]
 λ Conduttività termica del vetro [W/mK]
 d Spessore del vetro [m]
 $R_{s,j}$ Resistenza termica dell'intercapedine [m^2K/W]
 R_{si} Resistenza termica superficiale interna [m^2K/W]

La trasmittanza termica risultante U_{ws} [W/m^2K] dell'infilso completo di tapparella esterna risulta essere pari a:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R}$$

Il valore di R, resistenza termica addizionale, si desume dal punto (10) paragrafo 5.3 della UNI EN ISO 10077-1 ed è pari a $0.55 R_{sh} + 0.11$ [m^2K/W]; R_{sh} si ricava dall'appendice G della stessa ed è uguale a 0.10 [m^2K/W], da cui:

$$\Delta R = 0.55 \cdot R_{sh} + 0.11 \text{ [m}^2\text{K/W]}$$

Il valore medio della trasmittanza del componente trasparente U_m viene calcolato tenendo conto della variazione della trasmittanza nel tempo utilizzando i valori t_w , periodo di tempo in cui il componente ha trasmittanza U_w , e t_{ws} , periodo di tempo in cui il componente ha trasmittanza U_{ws} e risulta pari a:

$$U_{wm} = \frac{U_w \cdot t_w + U_{ws} \cdot t_{ws}}{t_w + t_{ws}}$$

3.3.3 Calcolo delle trasmittanze termiche delle strutture

L'edificio A.L.E.R. ubicato in Treviglio (BG) è costituito da 7 diverse tipologie di pacchetti murari (muro perimetrale, quinta perimetrale, muro sotto finestra, muro su vano scala, cassonetto, quinta con giunto divisorio alloggio, quinta divisorio alloggio), tutti elementi critici della struttura, in quanto nessuno di essi rispetta i valori di trasmittanza termica stabiliti da normativa ($U = 0.34$ W/m^2K , allegato C al DLgs n. 311/06).

Prima di presentare in dettaglio le caratteristiche termiche e igrometriche dei diversi pacchetti disperdenti, costituenti l'involucro del complesso residenziale A.L.E.R., diamo un breve accenno riguardo i diversi parametri che entrano in gioco per limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva o il raffrescamento e per il contenimento della temperatura interna degli ambienti: massa superficiale, trasmittanza periodica, sfasamento dell'onda termica a garanzia del comfort ambientale.

3.3.3.1 Massa superficiale

La località di ubicazione del complesso residenziale Treviglio in provincia di Bergamo, ha un valore medio mensile di irradianza sul piano orizzontale di massima insolazione di 269 W/m^2 (ricavato dai dati della UNI 10349) inferiore al valore limite di 290 W/m^2 prevista dal comma 9, Allegato I, DLgs 311/06, quindi non è richiesta la verifica che la massa superficiale (M_s) delle pareti opache (verticali, orizzontale, inclinate) sia maggiore di 230 W/m^2 .

3.3.3.2 Trasmittanza periodica e sfasamento dell'onda termica

In condizioni stazionarie, ovvero con temperatura costante sui due lati di una parete, il flusso è costante in ogni punto della struttura e la distribuzione della temperatura dipende solo dalla conduttività dei materiali. Il comportamento termico è quindi completamente caratterizzato dalla trasmittanza termica U, definita come "flusso termico per una unità di superficie e per una unità di differenza di temperatura":

$$U = \frac{q}{\Delta T}$$

dove q è il flusso per unità di superficie e ΔT è la differenza tra le temperature dell'ambiente sui due lati delle pareti.

Nella pratica però difficilmente le condizioni stazionarie sono verificate, normalmente ci si trova in regime dinamico, con condizioni al contorno variabili nel tempo. Di conseguenza il flusso varia all'interno del corpo e la distribuzione di flusso e temperatura dipendono anche dall'inerzia termica dei materiali, cioè dalla loro capacità di accumulare calore per poi rilasciarlo successivamente.

A titolo esemplificativo si riporta un caso di studio di una parete opaca dove le simulazioni sono state effettuate con il software PAN 5. Innalzando gradualmente la temperatura dell'ambiente esterno, la struttura si riscalda a partire dal lato sollecitato e solo successivamente verso l'interno. Contemporaneamente anche il flusso aumenta sempre a partire dall'esterno.

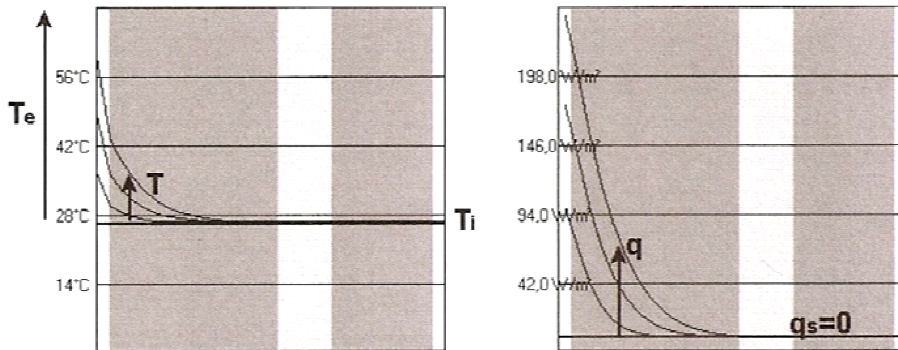


Figura 3.1 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia.
Passo 1: l'aumento della temperatura sulla facciata esterna inizia a coinvolgere i primi strati

Raggiunto un certo livello, la temperatura esterna rimane costante, ma in ogni punto del corpo la temperatura continua a crescere, fino a raggiungere la distribuzione stazionaria, lineare a tratti. Il flusso invece, appena cessata la sollecitazione, comincia a decrescere nella parte di struttura più esterna, mentre verso l'interno, dove era ancora nullo, inizia a crescere fino a stabilizzarsi su un valore costante corrispondente a:

$$q_s = U \cdot \Delta T$$

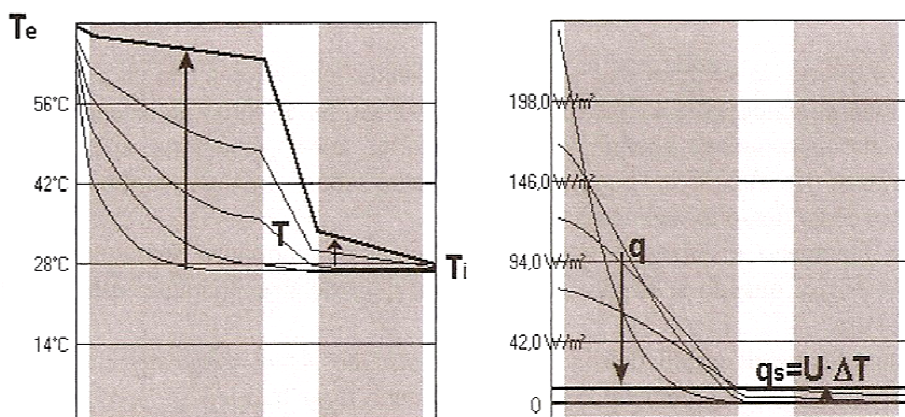


Figura 3.2 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia.
 Passo 2: temperatura esterna costante, il flusso inizia a decrescere

Analogamente se la temperatura esterna T_e , inizia a decrescere, a poco a poco anche quella interna diminuisce, sempre a partire dal lato esterno. In questo caso il massimo della temperatura è in un punto interno della struttura, in corrispondenza del quale il flusso si annulla. Si ha quindi un'inversione di verso del flusso e il calore accumulato esce dal lato esterno della parete.

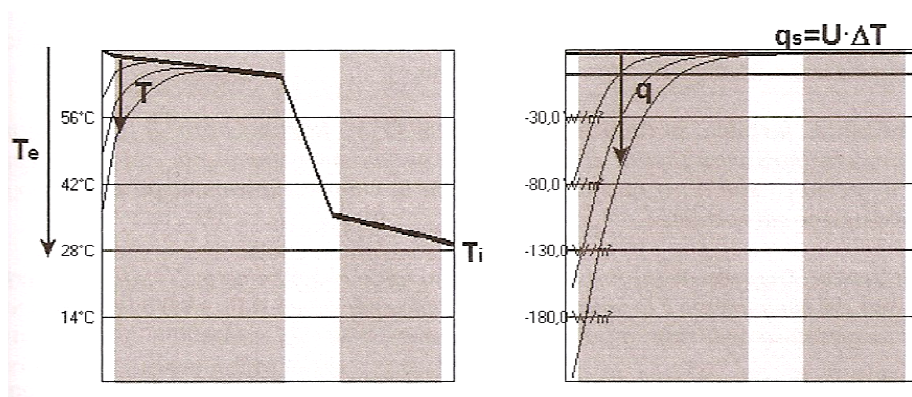


Figura 3.3 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia.
 Passo 3: temperatura esterna decrescente, il calore accumulato inizia ad uscire dal lato esterno

Questa situazione continua anche quando la temperatura esterna torna ad essere costante, uguale a quella interna, fino a quando tutto il calore viene disperso e il flusso torna ad essere nullo.

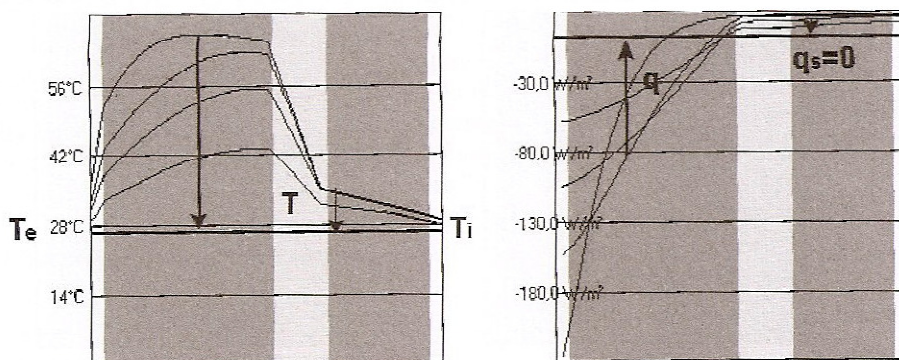


Figura 3.4 Variazioni di temperatura (a sinistra) e flusso (a destra) all'interno di una stratigrafia.
 Passo 4: la temperatura esterna costante e uguale a quella interna, la struttura dissipa tutto il calore accumulato

Come si è visto nell'esempio, la struttura reagisce ad una sollecitazione esterna con un certo ritardo, la variazione di temperatura interna non è istantanea, ma il corpo ha bisogno di un certo tempo per accumulare energia e per rilasciarla, questo comporta che, a parità di temperature, il flusso in condizioni dinamiche abbia modulo molto superiore al corrispondente flusso in regime stazionario.

Questo fenomeno è chiamato inerzia e ha notevole importanza soprattutto durante il periodo estivo, quando si hanno maggiori variazioni della temperatura esterna nell'arco delle 24 ore.

Per quantificare gli effetti dell'inerzia, si definiscono alcuni parametri che regolano le relazioni tra le diverse temperature e i corrispondenti flussi termici.

La norma, D.P.R. 59/09 impone dunque, oltre la verifica dei valori limite di trasmittanza stazionaria U , anche un limite della trasmittanza periodica o dinamica Y_{ie} e cioè:

- pareti verticali opache : $Y_{ie} \leq 0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$
- strutture opache orizzontali e inclinate: $Y_{ie} \leq 0.20 \text{ W/m}^2\text{K}$.

La normativa per il calcolo della trasmittanza periodica o dinamica Y_{ie} fa esplicito riferimento alla norma UNI EN ISO 13786:2008 (*"Prestazione termica dei componenti per l'edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo."*) che definisce una procedura basata sul metodo delle ammettenze (*"rapporto tra il flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica periodica sullo stesso lato nell'ipotesi che la temperatura ambiente sul primo lato del componente sia costante"*).

In generale si hanno due ammettenze diverse sui due lati di un componente, si parla quindi di ammettenza interna (Y_{ii}) e ammettenza esterna (Y_{ee}), mentre la trasmittanza termica periodica Y_{ie} , definita come: *"rapporto tra il flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica periodica sull'altro lato nell'ipotesi che la"*

temperatura ambiente sul primo lato del componente sia costante”, non varia scambiando le condizioni tra i due lati.

Nel grafico che segue, sono rappresentate la temperatura esterna $T_e(t)$ sinusoidale con periodo di 24 ore e ampiezza ΔT_e e interna $T_i(t) = T_i$ costante.

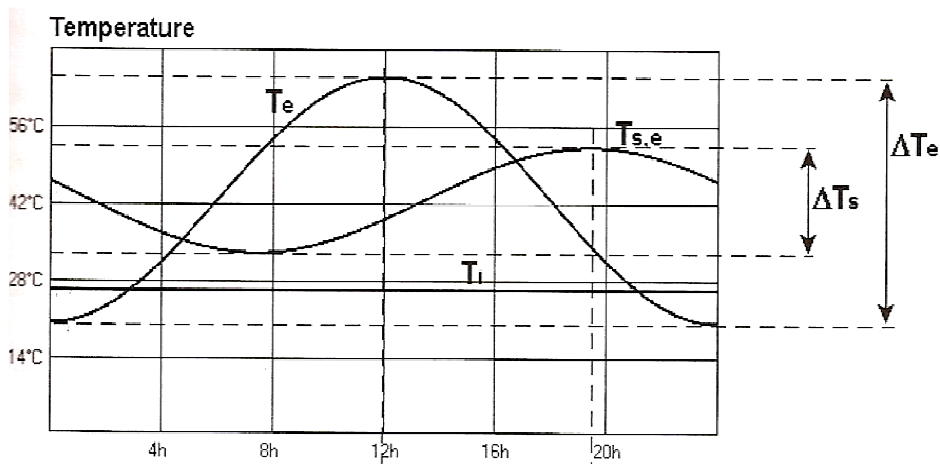


Figura 3.5 Il grafico mostra l'andamento sinusoidale della temperatura esterna $T_e(t)$, con periodo di 24 ore e ampiezza ΔT_e e interna $T_i(t) = T_i$ costante

Nel grafico seguente sono invece raffigurati i flussi esterno e interno e le rispettive ampiezze:

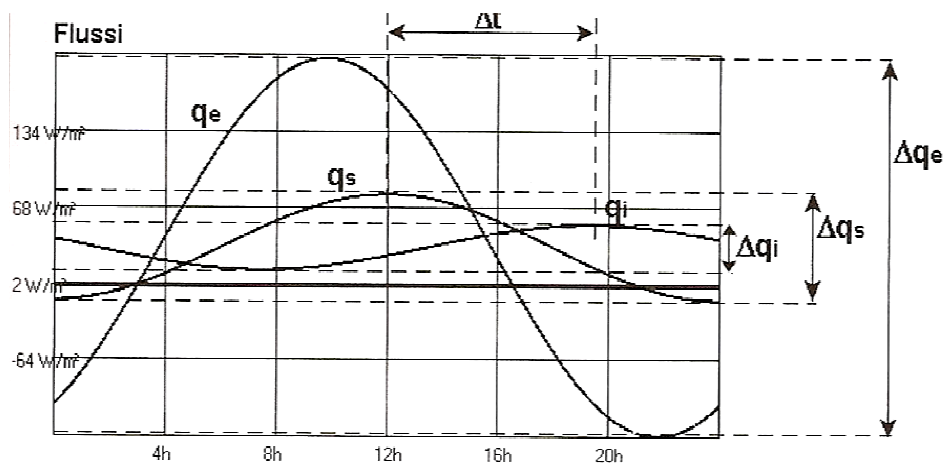


Figura 3.6 Il grafico mostra i flussi esterno e interno e le rispettive ampiezze

Secondo le definizioni sopra riportate, si ha:

$$Y_{ii} = \frac{\Delta q_i}{\Delta T_i} \qquad Y_{ee} = \frac{\Delta q_e}{\Delta T_e}$$

e per calcolare l'ammettenza interna occorre invertire le condizioni sui due lati.

Tralasciando la dimostrazione rigorosa analitica della risoluzione dell'equazione del calore in regime dinamico, possiamo affermare che, secondo il citato metodo delle ammettenze, ogni strato costituente l'elemento costruttivo è rappresentato da una matrice di numeri complessi, detta matrice di trasferimento termico, i cui elementi dipendono dalla densità, dallo spessore, dal calore specifico e dalla conducibilità termica del materiale. Moltiplicando tra loro le matrici dei vari strati, si ottiene la matrice di trasferimento termico dell'elemento opaco disperdente nel suo insieme, dalla quale si possono estrapolare tre grandezze caratteristiche della parete:

- la trasmittanza periodica : Y_{ie} (W/m^2K);
- il fattore di attenuazione: f_a ;
- lo sfasamento dell'onda termica: φ_α (h).

Il fattore di attenuazione f_a (numero adimensionale) è definito come il "rapporto tra la trasmittanza periodica Y_{ie} e la trasmittanza stazionaria U ".

Lo sfasamento dell'onda termica φ_α è definito come il "lasso di tempo tra la massima ampiezza di una causa e la massima ampiezza del suo effetto".

Nel grafico che segue sono riportate un'ipotetica onda di ampiezza α , che rappresenta la sollecitazione termica su un lato di un elemento costruttivo e l'onda che ne consegue sull'altro lato di ampiezza α' . Sono inoltre rappresentati graficamente i coefficienti di sfasamento e di attenuazione.

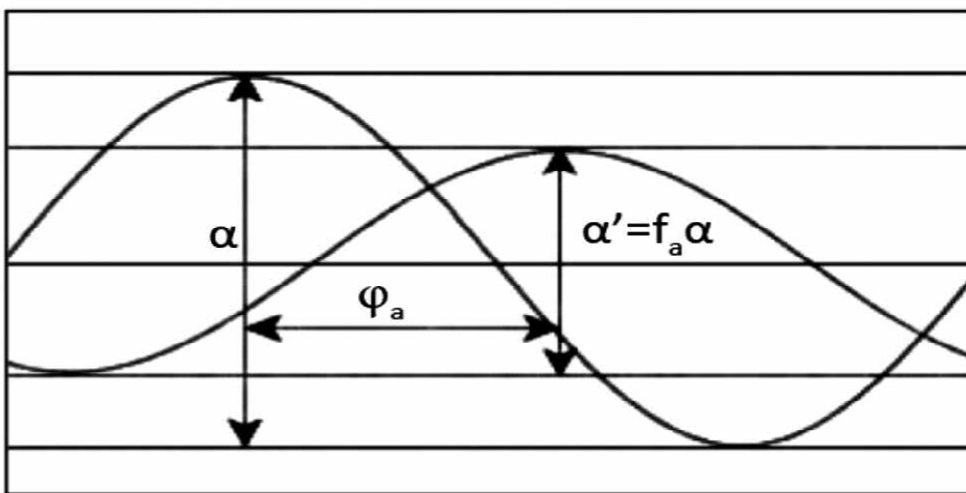


Figura 3 .7 Il grafico mostra l'andamento dell'onda termica sui due lati di una parete, specificando i coefficienti di sfasamento e di attenuazione

I parametri termici dinamici dipendono, oltre che dalle caratteristiche fisiche dell'elemento costruttivo, anche dal periodo dell'onda termica che può essere orario, giornaliero o annuale. A ciascun periodo corrispondono diversi parametri termici dinamici. Le condizioni al contorno invece non rientrano nel calcolo, quindi si può dire che, fissato il periodo di riferimento i parametri termici dinamici sono una caratteristica intrinseca della parete. In generale per la

valutazione del comfort e dei consumi energetici il periodo più significativo è quello dell'oscillazione giornaliera. Va sottolineato che il prodotto tra matrici non gode della proprietà commutativa, quindi, a differenza di quanto avviene nel caso stazionario, per determinare le caratteristiche termiche dinamiche è necessario svolgere i calcoli seguendo un preciso ordine (dall'esterno, ovvero lato dove l'elemento costruttivo è sottoposto a una forzante termica armonica, verso l'interno, ovvero il lato opposto a temperatura costante).

Per la stessa ragione non è possibile calcolare il valore della trasmittanza periodica di singoli strati di materiale per poi ottenere quella di una stratigrafia come semplice somma delle componenti (cosa che invece è possibile nel caso della resistenza termica stazionaria R).

Per meglio chiarire questo concetto si riportano nella tabella 3.3 i valori dei parametri termici dinamici (Y_{ie} , f_a e φ_a) e della trasmittanza termica stazionaria (U) per tre stratigrafie costituite dagli stessi materiali disposti in ordine diverso.

I valori sono stati calcolati secondo la UNI EN ISO 13786 usando il software PAN 5 distribuito da ANIT.

Vengono di seguito riportate le tre stratigrafie dello stesso elemento opaco disperdente, ma con l'ordine degli elementi variati:

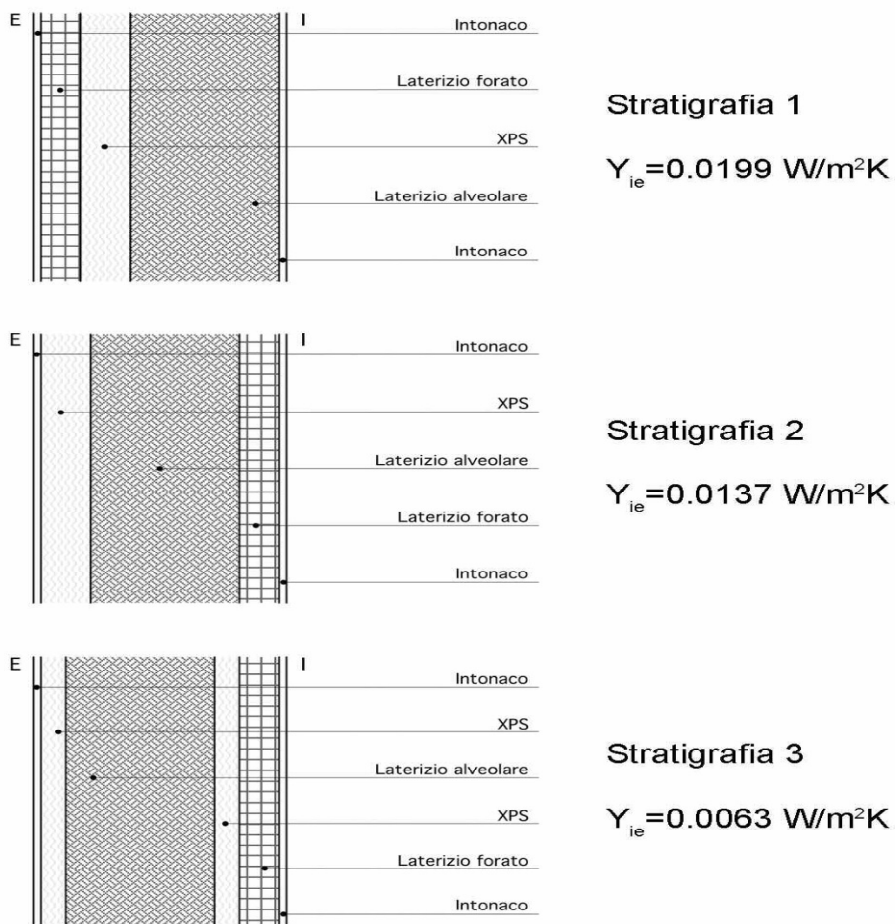


Figura 3.8 Tre stratigrafie dello stesso elemento opaco disperdente con l'ordine degli elementi variati

La tabella dei risultati riportanti i risultati di calcolo è la seguente:

Stratigrafia	U [W/m ² k]	Y _{ie} [W/m ² k]	f _a [-]	φ _a [h]
1	0.2243	0.0199	0.0885	15h 11'
2	0.2243	0.0137	0.0612	15h 10'
3	0.2243	0.0063	0.0282	16h 44'

Tabella 3.3 Valori dei parametri termici dinamici (Y_{ie}, f_a e φ_a) e della trasmittanza termica stazionaria (U) per le tre stratigrafie

Dalla tabella si nota che la trasmittanza periodica varia del 68% tra la stratigrafia 1 e quella 3, mentre la trasmittanza stazionaria è uguale in tutti i casi. Anche il fattore di attenuazione e lo sfasamento si differenziano tra un caso e l'altro. Pertanto, se ne deduce che la valutazione del comportamento dinamico, oltre quello stazionario, induce il progettista ad una maggiore attenzione sia nella scelta dei materiali componenti l'elemento e sia nella loro giusta collocazione. Inoltre si può osservare che i parametri termici dinamici sopra individuati non sono solo indici del comportamento di un elemento costruttivo a sé stante, ma sono soprattutto dati fondamentali per il calcolo della temperatura interna di un edificio.

La norma UNI 10375 "Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti", prevede che ad ogni elemento dell'involucro edilizio sia associato, ad una data ora "t" del giorno, un flusso termico dato dalla:

$$\Phi = UA [(\vartheta_{e,t-\varphi_a} - \vartheta_{em})f_a + \vartheta_{em}]$$

Dove

U	Trasmittanza termica in regime stazionario [W/m ² K]
A	Area dell'elemento preso in considerazione [m ²]
ϑ _{e,t-φ_a}	Temperatura dell'aria esterna all'ora t-φ _a [°C]
ϑ _{em}	Temperatura esterna media giornaliera [°C]
φ _a	Sfasamento dell'onda [h]
f _a	Fattore di attenuazione del flusso termico .

Da questa relazione si capisce immediatamente che un componente edilizio ha un comportamento tanto migliore quanto più il fattore di attenuazione si riduce. Più complessa è l'analisi dello sfasamento, perché l'obiettivo da perseguire è far sì che l'onda termica causata dal picco di temperatura dell'aria esterna, arrivi all'interno sfasata di un numero di ore tale da permettere l'evacuazione del calore in eccesso, grazie alla ventilazione notturna. Nel caso del nostro edificio ubicato nel nord Italia, lo sfasamento ottimale dipendente dalle condizioni climatiche locali, si attesta intorno alle 12-14 ore. Sfasamenti eccessivi non sono quindi utili e possono rivelarsi anzi controproducenti.

Il D.M.26 giugno 2009 recante "linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici" indica come metodo di valutazione della qualità termica estiva dell'involucro opaco degli edifici oltre quello basato sulla valutazione dell'indice di prestazione energetica estivo EP_e (in analogia alla stagione invernale con la determinazione di EP_h), anche quello che si basa sulla valutazione

degli indici prestazionali sopra descritti e cioè il fattore f_a di attenuazione del flusso termico e lo sfasamento φ_a dell'onda termica.

Dalle "linee guida dell'edilizia sostenibile della regione Toscana" si trae la seguente tabella:

Qualità prestazionale	Prestazioni	Attenuazione f	Sfasamento τ (h)
I	Ottime	$f < 0.15$	$\tau > 12$
II	Buone	$0.15 \leq f < 0.30$	$12 \geq \tau > 10$
III	Medie	$0.30 \leq f < 0.40$	$10 \geq \tau > 8$
IV	Sufficienti	$0.40 \leq f < 0.60$	$8 \geq \tau > 6$
V	Mediocri	$f \geq 0.60$	$\tau \leq 6$

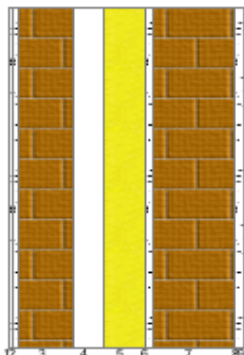
Tabella 3.4 Valori dei coefficienti di attenuazione e di sfasamento dell'onda termica secondo le "linee guida dell'edilizia sostenibile della regione Toscana"

Nella quale si assumono come indicatori di prestazione del requisito "inerzia termica", i valori medi del fattore di attenuazione e dello sfasamento dell'onda termica, stilando una classifica della qualità in relazione alla combinazione dei valori ivi riportati.

3.3.3.3 Trasmittanze termiche delle strutture opache

Descrizione della struttura: Muro perimetrale

Trasmittanza termica	0.529 W/m ² K
Spessore	350 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	199.005 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	231 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	149 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.215 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.410 -
Sfasamento onda termica	- 8.6 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	-	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	9
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	45,00	-	-	-	-	-
5	Fibra di vetro - Feltro resinato	60,00	0,053	-	11	0,84	-
6	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	-
7	Mattone forato	120,00	0,387	-	717	0,84	-
8	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
9	Intonaco plastico	5,00	0,300	-	1300	0,84	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

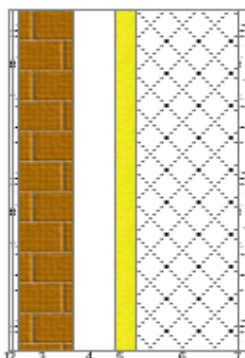
Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Negativa
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.796 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.653 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Quinta perimetrale

Trasmittanza termica	0.868 W/m ² K
Spessore	350 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	199.005 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	478 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	422 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.252 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.296 -
Sfasamento onda termica	- 9.0 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	-	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	9
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	60,00	-	-	-	-	-
5	Fibra di vetro - Feltro resinato	30,00	0,053	-	11	0,84	-
6	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,910	-	2400	1,00	-
7	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$) Negativa

Mese critico Gennaio

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI,max}$ 0.796 -

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} 0.653 -

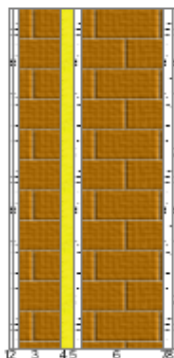
Umidità relativa superficiale accettabile 80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Muro sotto finestra

Trasmittanza termica	0.926 W/m ² K
Spessore	245 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	79.051 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	205 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	122 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.510 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.562 -
Sfasamento onda termica	- 6.9 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	0,014	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
3	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	60,00	0,360	0,167	600	0,84	7
4	Fibra di vetro - Feltro resinato	20,00	0,053	0,377	11	0,84	1
5	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
6	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
7	Malta di cemento	15,00	1,400	0,011	2000	1,00	23
8	Intonaco plastico	5,00	0,300	0,017	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Negativa
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.796 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.792 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

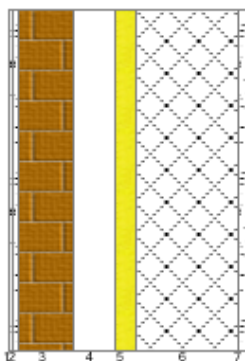
Verifica del rischio di condensa interstiziale

Verifica condensa interstiziale Negativa

Quantità massima di condensa durante l'anno	M_a	232 g/m ²
Quantità di condensa ammissibile	M_{lim}	4 g/m ²
Verifica di condensa ammissibile ($M_a \leq M_{lim}$)		Negativa
Mese con massima condensa accumulata		Febbraio
L'evaporazione a fine stagione è		Completa

Descrizione della struttura: Muro su vano scala

Trasmittanza termica	0.811 W/m ² K
Spessore	350 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	8.0 °C
Permeanza	199.005 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	478 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	422 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.155 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.191 -
Sfasamento onda termica	- 9.6 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	-	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	9
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	60,00	-	-	-	-	-
5	Fibra di vetro - Feltro resinato	30,00	0,053	-	11	0,84	-
6	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,910	-	2400	1,00	-
7	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

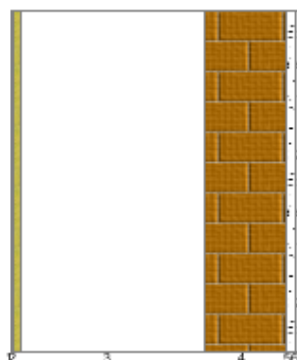
Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.574 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.653 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Cassonetto

Trasmittanza termica	1.122 W/m ² K
Spessore	422 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	0.010 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	139 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	102 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.911 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.930 -
Sfasamento onda termica	- 3.8 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Acciaio	2,00	52,000	-	7800	0,45	9999999
2	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	10,00	0,040	-	30	1,25	60
3	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	270,00	-	-	-	-	-
4	Mattone forato	120,00	0,387	-	717	0,84	-
5	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
6	Intonaco plastico	5,00	0,400	-	1400	0,84	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$) Negativa

Mese critico Gennaio

Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$	0.796 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI}	0.667 -
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Porta ingresso alloggio

Trasmittanza termica	1.911 W/m ² K
Spessore	45 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	8.0 °C
Permeanza	0.010 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	20 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	20 kg/m ²
Trasmittanza periodica	1.899 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.994 -
Sfasamento onda termica	- 0.6 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	5,00	0,120	0,042	450	2,70	643
2	Acciaio	1,00	52,000	0,000	7800	0,45	9999999
3	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	33,00	0,183	0,180	-	-	-
4	Acciaio	1,00	52,000	0,000	7800	0,45	9999999
5	Legno di abete flusso perpend. alle fibre	5,00	0,120	0,042	450	2,70	643
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

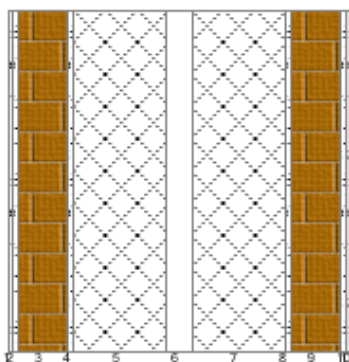
Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.574 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.673 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Quinta con giunto divisorio alloggio

Trasmittanza termica	1.001 W/m ² K
Spessore	550 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20.0 °C
Permeanza	12.434 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	937 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	844 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.039 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.039 -
Sfasamento onda termica	- 15.6 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	-	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	9
4	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
5	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,910	-	2400	1,00	99
6	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	40,00	-	-	-	-	-
7	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,910	-	2400	1,00	-
8	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	-
9	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	-
10	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	-
11	Intonaco di calce e gesso	5,00	0,700	-	1400	1,00	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

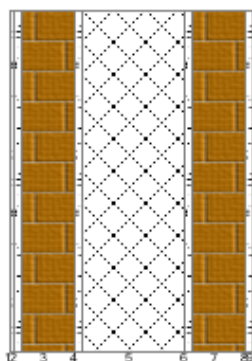
Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Ottobre
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.000 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.690 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Quinta divisorio alloggio

Trasmittanza termica	1.268 W/m ² K
Spessore	360 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20.0 °C
Permeanza	11.547 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	577 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	484 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.177 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.139 -
Sfasamento onda termica	- 10.2 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	0,014	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	0,200	775	0,84	9
4	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
5	C.I.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,910	0,079	2400	1,00	99
6	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
7	Mattone forato	80,00	0,400	0,200	775	0,84	9
8	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
9	Intonaco di calce e gesso	5,00	0,700	0,007	1400	1,00	11
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,130	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Ottobre
Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI,max}$	0.000 -
Fattore di temperatura del componente f_{RSI}	0.757 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

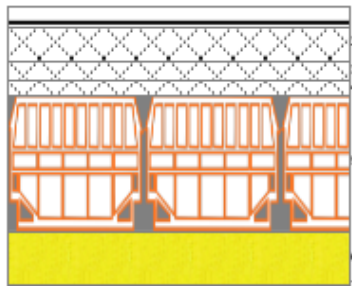
Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

3.3.3.4 *Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali*

Le strutture orizzontali presenti nell'edificio sono il pavimento su porticato, il pavimento su box, il pavimento intermedio, il soffitto sotto tetto e il soffitto intermedio. Anche in questo caso, si tratta di strutture critiche in quanto nessuno di essi rispetta i valori di trasmittanza termica stabiliti da normativa ($U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno, $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le coperture, allegato C al DLgs n. 311/06). Riportiamo di seguito, le caratteristiche termiche e igrometriche delle diverse strutture orizzontali presenti nell'edificio.

Descrizione della struttura: Pavimento su porticato

Trasmittanza termica	0.418 $\text{W/m}^2\text{K}$
Spessore	412 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	0.010 $10^{-12} \text{ kg/sm}^2\text{Pa}$
Massa superficiale (con intonaci)	430 kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	430 kg/m^2
Trasmittanza periodica	0.030 $\text{W/m}^2\text{K}$
Fattore attenuazione	0.073 -
Sfasamento onda termica	- 12.5 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	30,00	3,000	0,010	2700	1,00	10000
2	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
3	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
5	Soletta in laterizio spessore 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
6	Fibra di vetro - Feltro resinato	80,00	0,053	1,509	11	0,84	1
7	Alluminio	2,00	220,000	0,000	2700	0,96	9999999
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale, mentre è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.796 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.899 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Verifica condensa interstiziale		Positiva
Quantità massima di condensa durante l'anno	M_a	4 g/m ²
Quantità di condensa ammissibile	M_{lim}	18 g/m ²
Verifica di condensa ammissibile ($M_a \leq M_{lim}$)		Positiva
Mese con massima condensa accumulata		Marzo
L'evaporazione a fine stagione è		Completa

Descrizione della struttura: Pavimento su box

Trasmittanza termica	0.972 W/m ² K
Spessore	345 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	5.0 °C
Permeanza	0.657 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	451 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	424 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.151 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.155 -
Sfasamento onda termica	- 11.9 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	30,00	3,000	0,010	2700	1,00	10000
2	C.I.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
3	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
5	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
6	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.659 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.790 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Pavimento intermedio

Trasmittanza termica	0.972 W/m ² K
Spessore	345 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20.0 °C
Permeanza	0.657 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	451 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	424 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.151 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.155 -
Sfasamento onda termica	- 11.9 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	30,00	3,000	0,010	2700	1,00	10000
2	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
3	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
5	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
6	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)

Positiva

Mese critico		Ottobre
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$	0.000 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI}	0.790 -
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Soffitto sotto tetto

Trasmittanza termica	1.183 W/m ² K
Spessore	285 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	5.0 °C
Permeanza	57.225 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	316 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	289 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.400 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.338 -
Sfasamento onda termica	- 8.1 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	C.I.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
2	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
3	Soletta in laterizio spessore 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
4	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

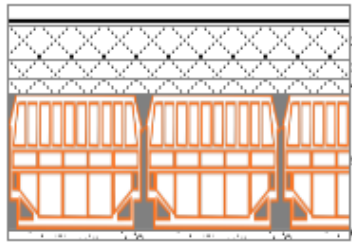
Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.659 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.782 -
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Soffitto intermedio

Trasmittanza termica	1.125 W/m ² K
Spessore	345 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20.0 °C
Permeanza	0.657 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	451 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	424 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.255 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.226 -
Sfasamento onda termica	- 10.7 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	30,00	3,000	0,010	2700	1,00	10000
2	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
3	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
5	Soletta in laterizio spessore 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
6	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$) Positiva

Mese critico		Ottobre
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$	0.000 -
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI}	0.790 -
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

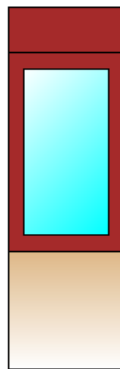
Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

3.3.3.5 Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti

All'interno dell'edificio abbiamo tre tipologie di serramenti, due apribili di dimensioni 890 mm x 1525 mm e 1390 mm x 1525 mm, e una scorrevole di dimensioni 1890 mm x 2425 mm. Tutti i serramenti sono caratterizzati da un telaio in materiale metallico e vetri del tipo isolante costituiti da due cristalli planimetrici e possiedono persiane avvolgibili. Come per le strutture orizzontali e verticali opache, anche per quanto riguarda quelle trasparenti i valori di trasmittanza non sono verificati da normativa ($U = 2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le chiusure trasparenti comprensive degli infissi, $U = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i vetri, allegato C al DLgs n. 311/06). Riportiamo di seguito le caratteristiche termiche dei componenti finestrati.

Descrizione della finestra: Finestra 890 x 1525mm



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento		Singolo
Classe di permeabilità		Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w	4.344 $\text{W/m}^2\text{K}$
Trasmittanza solo vetro	U_g	3.279 $\text{W/m}^2\text{K}$

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	ϵ	0.837 -
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\text{ inv}}$	1.00 -
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\text{ est}}$	1.00 -

Fattore di trasmittanza solare $g_{gl,n}$ 0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure 0.16 m²K/W

Ore giornaliere di chiusura 8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza 89.0 cm

Altezza 152.5 cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio U_f 5.90 W/m²K

Area totale A_w 1.357 m²

Area vetro A_g 0.835 m²

Area telaio A_f 0.522 m²

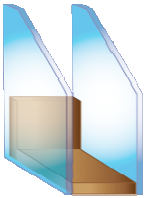
Fattore di forma F_f 0.62 -

Perimetro vetro L_g 3.870 m

Perimetro telaio L_f 4.830 m

Stratigrafia

Descrizione strato	s	λ	R	Kd
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-
Primo vetro	4,0	1,00	0,004	-
Intercapedine	-	-	0,127	0,02
Secondo vetro	4,0	1,00	0,004	-
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
Kd	K distanziale	W/mK

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U 3.635 W/m²K

Cassonetto

Trasmittanza termica U 1.122 W/m²K

Altezza H_{cass} 35.00 cm

Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.31 m ²

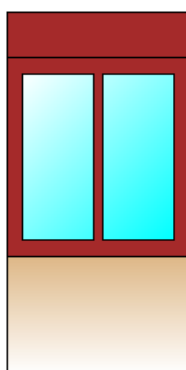
Muro sottofinestra

Trasmittanza termica	U	0.926
Altezza	H_{sott}	90.00 cm
Area		0.80 m ²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica	Ψ	0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale		4.83 m

Descrizione della finestra: Finestra 1390 x 1525 mm



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento		Singolo
Classe di permeabilità		Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w	4.268 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g	3.279 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	ϵ	0.837 -
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\ inv}$	1.00 -
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1.00 -
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0.16 m ² K/W
Ore giornaliere di chiusura		8.0 h

Dimensioni del serramento

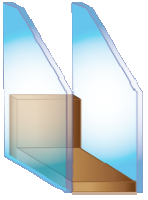
Larghezza	139.0 cm
Altezza	152.5 cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	5.90 W/m ² K
Area totale	A_w	2.120 m ²
Area vetro	A_g	1.375 m ²
Area telaio	A_f	0.745 m ²
Fattore di forma	F_f	0.65 -
Perimetro vetro	L_g	7.280 m
Perimetro telaio	L_f	5.830 m

Stratigrafia

Descrizione strato	s	λ	R	Kd
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-
Primo vetro	4,0	1,00	0,004	-
Intercapedine	-	-	0,127	0,02
Secondo vetro	4,0	1,00	0,004	-
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
Kd	K distanziale	W/mK

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	3.438 W/m ² K
---------------------------------	---	--------------------------

Cassonetto

Trasmittanza termica	U	1.122 W/m ² K
Altezza	H_{cass}	35.00 cm
Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.49 m ²

Muro sottofinestra

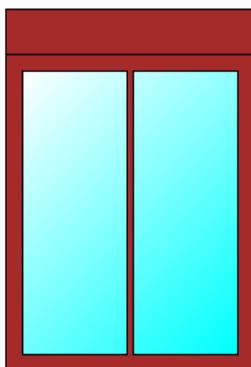
Trasmittanza termica	U	0.926
Altezza	H_{sott}	90.00 cm

Area 1.25 m²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica Ψ 0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale 5.83 m

Descrizione della finestra: Finestra 1890 x 2425mm



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento Singolo
Classe di permeabilità Senza classificazione
Trasmittanza termica U_w 3.940 W/m²K
Trasmittanza solo vetro U_g 3.279 W/m²K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività ϵ 0.837 -
Fattore tendaggi (invernale) $f_{c\text{ inv}}$ 1.00 -
Fattore tendaggi (estivo) $f_{c\text{ est}}$ 1.00 -
Fattore di trasmittanza solare $g_{gl,n}$ 0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure 0.16 m²K/W
Ore giornaliere di chiusura 8.0 h

Dimensioni del serramento

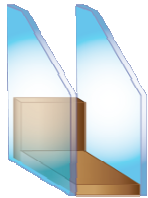
Larghezza 189.0 cm
Altezza 242.5 cm

Caratteristiche del telaio

Trasmittanza termica del telaio	U_f	5.9 W/m ² K
Area totale	A_w	4.583 m ²
Area vetro	A_g	3.518 m ²
Area telaio	A_f	1.065 m ²
Fattore di forma	F_f	0.77 -
Perimetro vetro	L_g	11.960 m
Perimetro telaio	L_f	8.630 m

Stratigrafia

Descrizione strato	s	λ	R	Kd
Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-
Primo vetro	4,0	1,00	0,004	-
Intercapedine	-	-	0,127	0,02
Secondo vetro	4,0	1,00	0,004	-
Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-



Legenda simboli

s	Spessore	mm
λ	Conduttività termica	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
Kd	K distanziale	W/mK

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	4.282 W/m ² K
---------------------------------	---	--------------------------

Cassonetto

Trasmittanza termica	U	1.122 W/m ² K
Altezza	H_{cass}	35.00 cm
Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.66 m ²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica	Ψ	0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale		8.63 m

3.3.4 Applicazione delle tecniche di diagnosi energetica

Nel patrimonio edilizio esistente è particolarmente difficile reperire le informazioni relative alle caratteristiche tecnologiche della costruzione poiché, nella maggior parte dei casi, manca il progetto originario oppure sono state fatte delle modifiche rispetto all'assetto iniziale (anche se nel caso dell'edificio A.L.E.R. sono stati forniti i documenti di appalto e i particolari di progetto che per la maggior parte riscontrano la realtà costruttiva).

Pertanto, per acquisire informazioni più approfondite sullo stato di fatto e sulle condizioni di conservazione dell'edificio, è necessario utilizzare alcune tecniche diagnostiche supplementari.

Le prove strumentali si dividono in due tipologie principali:

- prove non distruttive (PND);
- prove distruttive.

Le prove non distruttive (PND) sono identificate anche con le espressioni *non destructive testing* (NDT) o *controlli non distruttivi* (CND), e sono costituite dall'insieme di esami, prove e rilievi condotti utilizzando tecniche strumentali che non alterano il materiale e non richiedono la distruzione o l'asportazione di campioni dalla struttura, al fine di identificare i difetti strutturali, i malfunzionamenti e le criticità del bene. Le prove comprendono la termografia a raggi infrarossi, l'estensimetria, la livellometria, l'emissione acustica, la neutrografia, l'olografia, l'interferometria ottica, la tomografia, l'olografia acustica, gli ultrasuoni, i raggi X e gamma, le vibrazioni, l'induzione elettromagnetica e i liquidi penetranti. Queste tipologie di analisi rispettano l'integrità dei beni e, contemporaneamente, aumentano la statistica del risultato grazie alla non distruttività del materiale e dell'informazione ottenuta. Le analisi possono essere eseguite su un numero elevato di punti o di aree e possono essere ripetute più volte, al fine di monitorare le possibili variazioni del manufatto edilizio durante l'intero ciclo di vita. I risultati delle indagini sono utilizzati per valutare la qualità e l'integrità strutturale di un prodotto o di un componente e per ricercare le cause del malfunzionamento dei macchinari. Gli ambiti d'impiego riguardano la diagnosi energetica, l'ingegneria strutturale, il restauro architettonico, la conservazione dei beni culturali, l'archeologia, la produzione industriale, l'ingegneria aerospaziale e nucleare, l'impiantistica elettrica e termica e la medicina. In particolare, in edilizia sono utilizzati l'esame visivo, la termografia a raggi infrarossi, le analisi soniche e ultrasoniche, l'endoscopia, i liquidi penetranti e la magnetoscopia.

Le metodologie di controllo non distruttivo normalmente sono classificate in base alla porzione di bene analizzato nelle seguenti categorie:

- analisi volumetriche, che riguardano l'intero volume dell'oggetto e comprendono l'esame visivo, la termografia a raggi infrarossi, l'analisi sonica e ultrasoniche e la radiografia a raggi X e gamma;
- analisi superficiali, che individuano i difetti presenti sulla superficie del bene o su una porzione molto prossima. Le analisi comprendono i liquidi penetranti e la magnetoscopia.

Per quanto riguarda l'edificio preso in esame, sono state effettuate esclusivamente analisi volumetriche, quali l'esame visivo e la termografia a raggi infrarossi.

L'esame visivo è una tecnica diagnostica preliminare per avere una conoscenza globale dello stato di conservazione, di funzionamento e di gestione di un oggetto. In ambito edilizio è utilizzato per individuare la presenza di difetti, degradi, vulnerabilità, malfunzionamenti o inefficienze del sistema edificio-impianto, attraverso l'osservazione a occhio nudo (esame diretto) o supportata da macchine fotografiche, fibre ottiche o altri sistemi (esame remoto). In base ai risultati ottenuti è possibile individuare le zone e le tipologie di prove strumentali più adatte per effettuare analisi più approfondite.

La termografia a raggi infrarossi è una tecnica diagnostica non invasiva che consente di mappare la temperatura superficiale apparente dei corpi, misurando la radiazione infrarossa emessa. La presenza di anomalie nella distribuzione termica superficiale denuncia l'esistenza di problematiche strutturali, energetiche, conservative e impiantistiche nell'edificio. L'analisi può essere supportata dal *Blower Door Test* per quantificare le infiltrazioni d'aria dai diversi componenti edilizi; prova attualmente obbligatoria nel Regno Unito e in Italia dove è stata imposta dall'agenzia CasaClima della Provincia di Bolzano nel 2010 per quantificare i ricambi d'aria delle nuove costruzioni e consigliata per gli interventi di riqualificazione.

Di seguito vengono riportate alcune immagini significative dell'edificio A.L.E.R., ottenute attraverso l'analisi termografica a raggi infrarossi.

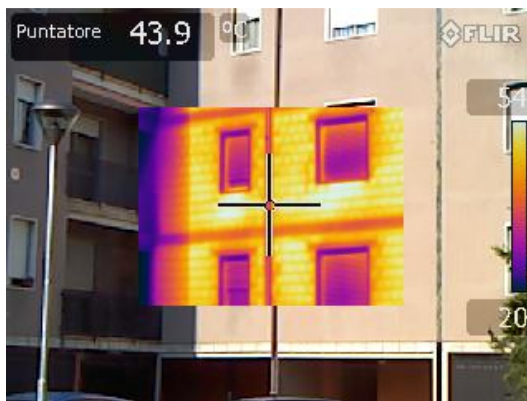


Figura3.9 Ponte termico di materia con struttura portante in c.a. e muri in laterizio



Figura 3.10 Trama mattoni interi ma poco isolati



Figura 3.11 Lo spessore ridotto del muro sottofinestra aumenta le dispersioni termiche rispetto al resto della facciata. L'effetto è enfatizzato dalla presenza del radiatore che disperde buona parte del calore verso l'ambiente esterno



Figura 3.12 Presenza di infiltrazioni d'aria nella giunzione tra telaio mobile e telaio fisso e tra telaio fisso e muro perimetrale esterno

L'analisi effettuata in sito ha avuto lo scopo di fornire dati, senza alcuna alterazione della struttura, che hanno consentito poi di valutare in modo diretto ed immediato la qualità delle

prestazioni energetiche e ambientali dell'edificio, valutazioni che sono state confermate a livello teorico con lo sviluppo del modello energetico reale.

In linea generale, in mancanza di dati progettuali, è fondamentale utilizzare in modo integrato le prove non distruttive e quelle distruttive, al fine di raggiungere un risultato preciso e affidabile.

L'impiego di tecniche non distruttive o debolmente distruttive è essenziale per limitare il danneggiamento locale del manufatto e per monitorare nel tempo l'andamento delle prestazioni energetiche e il miglioramento ottenuto con gli interventi di riqualificazione.

Nella diagnosi energetica, le tecniche non distruttive possono essere supportate anche da una serie di altre analisi che comprendono:

- metodo tabellare basato sull'individuazione di analogie costruttive o di datazione storica tra le strutture oggetto d'indagine e gli abachi costruttivi presenti nella normativa attualmente in vigore (norma UNI TS 11300-1:2008);
- analisi termoflussimetrica che rileva il valore della resistenza e della conduttanza dell'involucro opaco dell'edificio;
- monitoraggio ambientale per rilevare le condizioni microclimatiche dell'edificio;
- monitoraggio energetico per conoscere i consumi e gli sprechi energetici degli impianti termici ed elettrici (per es. metodo della firma energetica).

Nella diagnosi energetica i controlli non distruttivi consentono di riconoscere la struttura edilizia, i ponti termici, la stratigrafia muraria, il degrado superficiale, le germinazioni batteriologiche, le infiltrazioni d'acqua e di aria, i malfunzionamenti degli impianti, le problematiche gestionali e manutentive e le problematiche di posa in opera dei diversi elementi tecnici.

Le prove distruttive richiedono invece il prelievo di campioni o di micro-campioni della struttura da analizzare, attraverso la realizzazione di piccoli fori o di tagli sui punti più rappresentativi dell'opera. Le indagini forniscono informazioni precise sulla composizione strutturale, sui materiali, sullo stato di conservazione, sugli interventi di consolidamento o di restauro effettuati e sui prodotti di alterazione utilizzati, ma non sulla posa e sull'esecuzione dei paramenti.

In particolare nel caso di studio, le indagini distruttive (peraltro costose, lunghe e molto approfondite rispetto alle effettive necessità diagnostiche) non sono state prese in considerazione, in quanto si è potuto constatare la diretta corrispondenza tra i documenti di appalto forniti dall'A.L.E.R. di Bergamo e quanto effettivamente costruito. La documentazione in possesso, gli esami visivi e termografici in sito hanno permesso di procedere senza difficoltà con la diagnosi energetica e con le susseguenti simulazioni.

Nella diagnosi energetica viene utilizzato anche il rilievo ambientale per conoscere l'andamento delle grandezze fisiche che incidono sui consumi energetici dell'edificio. Il monitoraggio microclimatico, in particolare, definisce l'andamento delle variabili ambientali interne ed esterne, lo scostamento dei parametri dalle condizioni di comfort per l'utente, i periodi di accensione o di spegnimento degli impianti di climatizzazione e di illuminazione artificiale, la

presenza di surriscaldamenti, di zone particolarmente fredde o di discontinuità termiche. Lo studio di queste variabili consente di ipotizzare azioni correttive mirate per migliorare la gestione energetica e la vivibilità dell'edificio.

Il monitoraggio microclimatico si distingue nelle seguenti categorie:

- rilievo termoigrometrico, che interessa la temperatura, l'umidità relativa e la velocità dell'aria;
- rilievo luminoso, che riguarda il livello di illuminamento ambientale, la luminanza e la radianza ultravioletta;
- rilievo aerobiologico, riferito alla tipologia e alla concentrazione degli inquinanti atmosferici.

Nell'ambito della diagnosi energetica il rilievo dei parametri ambientali consente di conoscere il comportamento climatico dell'edificio, al fine di individuare situazioni di discomfort per l'utente, elevati consumi energetici, vulnerabilità o degrado edilizio. Attualmente, a livello normativo e scientifico, non è stata definita una procedura di monitoraggio specifico, lasciando la libertà ai tecnici di individuare il metodo di analisi più corretto in relazione agli obiettivi da conseguire.

Tornando all'edificio A.L.E.R. di Treviso, durante l'audit energetico presso gli assegnatari, oltre al reperimento dei consumi di gas a campione per la produzione di acqua calda sanitaria (presenza di impianti autonomi), si sono potuti conoscere le fasce orarie di esercizio dell'impianto di riscaldamento, verificare la presenza di muffe e zone maggiormente soleggiate da quelle più in ombra, situazioni di surriscaldamento ambientale nel periodo estivo ed invernale e per quest'ultimo anche in alcune zone più in ombra disagiate per scarso riscaldamento.

Come anticipato, l'applicazione della termografia a raggi infrarossi ha permesso di verificare la presenza di ponti termici nella struttura.

Le superfici disperdenti del complesso residenziale in esame hanno dimensioni finite e sono presenti all'interno delle partizioni numerose disomogeneità, le quali possono essere di tipo geometrico, cioè pareti che si intersecano a formare spigoli e angoli (quinte intermedie, solai di interpiano ecc..), o di tipo strutturale diffuso (eterogeneità di materiale, contatto di strutture di tipo diverso quali per esempio quinte in c.a. e laterizio) e puntuale (presenza di pilastri o travi incorporati nella struttura). La presenza delle disomogeneità condiziona il flusso termico che attraversa la struttura; essa fa sì che il flusso non sia più monodirezionale, ma assuma componenti in tutte e tre le direzioni e risulti quindi deviato. La deviazione del flusso determina una variazione nella temperatura superficiale della struttura: ad esempio la temperatura superficiale interna risulterà più bassa nei punti in cui vi è maggiore flusso termico, quindi in corrispondenza delle disomogeneità. Tutte queste disomogeneità presenti nell'involucro edilizio prendono appunto il nome di ponti termici.

Essi rappresentano quindi degli elementi che creano una discontinuità nelle prestazioni termofisiche dell'involucro edilizio, in quanto modificano il flusso termico monodimensionale della parete.

Il DLgs 311/06 nell'allegato A da le seguenti definizioni relative ai ponti termici:

"il ponte termico è la discontinuità di isolamento termico che si può verificare in corrispondenza degli innesti di elementi strutturali (solai e pareti verticali o pareti verticali tra loro)."

La presenza di ponti termici aumenta le dispersioni di calore per trasmissione con conseguente aumento dei consumi energetici e causa una forte diminuzione della temperatura superficiale della parete, la quale favorisce la formazione di fenomeni di condensazione della parete con conseguente formazione di muffe, macchie e degrado delle strutture; per evitare il problema è necessario garantire che la temperatura superficiale interna non scenda al di sotto della temperatura di rugiada dell'aria. Questa condizione è molto difficile da ottenere nella stagione invernale, specialmente negli edifici privi di isolamento termico e nelle facciate orientate verso nord, dove i ponti termici sono sempre accompagnati da fenomeni di condensazione. Questo tipo di fenomeni influisce in maniera molto negativa sulla salubrità degli ambienti e quindi sulla qualità della vita all'interno dell'edificio. Un altro effetto di queste zone è la sensazione di disagio dovuta allo scambio radiativo fra il corpo e la superficie fredda. Nelle strutture edilizie si distingue tra ponti termici di forma e di materia: i primi si formano nelle zone d'angolo di pareti costituite da materiale omogeneo, come setti in cemento armato, murature portanti in laterizio, cemento cellulare o miste; i secondi si formano in corrispondenza di un nodo o di una giunzione tra elementi dotati di trasmittanza termica diversa, come ad esempio nelle zone d'angolo tra due pareti esterne, nelle giunzioni strutturali tra trave e pilastro e tra pilastro e paramento murario, nelle solette in laterocemento e in corrispondenza del serramento tra vano murario e telaio e tra telaio e vetrazione. La sovrapposizione tra le due tipologie di ponte termico esalta la dissipazione energetica. I ponti termici di forma non sono eliminabili, ma possono essere ridotti con l'applicazione di un isolamento a cappotto esterno, una parete ventilata o un intonaco termoisolante; i ponti termici di materia possono essere eliminati mediante la posa di un sistema a cappotto o di una parete ventilata, e ridotti con l'applicazione di intonaco termoisolante, lastre, contro-soffitti o schiume isolanti.

Nella figura seguente (tratta dalla norma UNI EN ISO 14683) è raffigurata schematicamente la distribuzione dei ponti termici nell'involucro di un edificio.

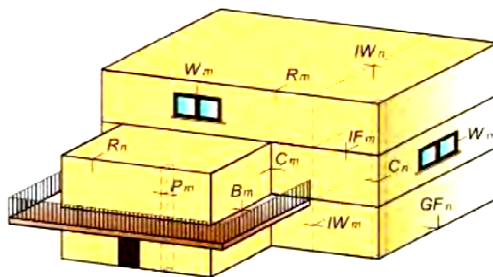


Figura 3.13 Distribuzione dei ponti termici nell'involucro di un edificio

La normativa tecnica europea di riferimento per il calcolo dei ponti termici è la UNI EN ISO 14683, la quale rispetto al DLgs 311/06 considera il ponte termico come lineare (quindi a una sola dimensione); si definisce poi una grandezza, denominata *coefficiente lineico di dispersione* o

trasmissione termica lineica, che è concettualmente una trasmissione lineare e che deve essere moltiplicata per la lunghezza del ponte termico per ottenere il valore delle dispersioni.

Per il calcolo della trasmissione termica lineica la normativa prevede diverse possibilità, ciascuna delle quali implica un diverso grado di precisione:

- calcolo numerico o utilizzo di un atlante dei ponti termici dinamico – precisione del metodo $\pm 5\%$;
- utilizzo di un atlante dei ponti termici - precisione del metodo $\pm 20\%$;
- esecuzione di un calcolo manuale - precisione del metodo $\pm 20\%$;
- attribuzione di una trasmissione termica lineica tabulata sulla base della tipologia del nodo in esame - precisione del metodo da 0% a 50%.

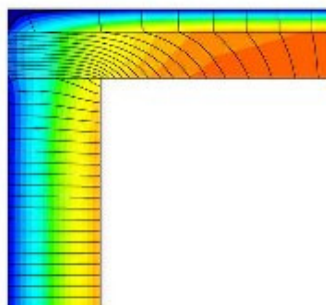
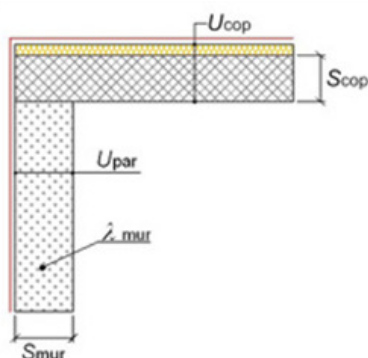
Di seguito riportiamo nel dettaglio i ponti termici riferiti alla struttura in esame.

Descrizione del ponte termico: Parete – Copertura

Trasmittanza termica lineica di calcolo 0.020 W/mK

Trasmittanza termica lineica di riferimento 0.04 W/mK

Note: Giunto parete con isolamento ripartito – copertura



Caratteristiche

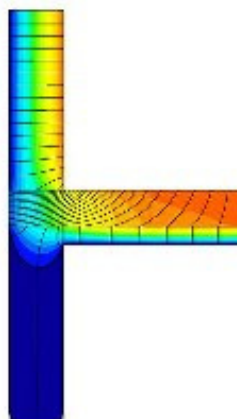
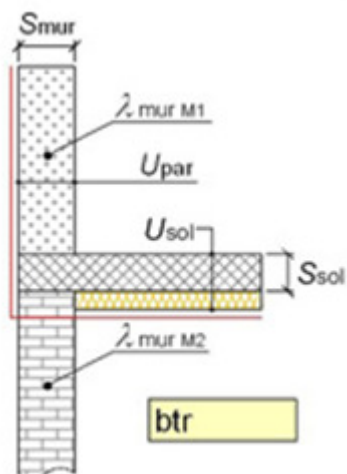
Spessore copertura	S_{sol}	23.5 cm
Spessore muro	S_m	35.0 cm
Trasmittanza termica copertura	U_{par}	0.700 W/m ² K
Conduktività termica muro	λ_{mur}	0.500 W/mK

Descrizione del ponte termico: Parete – Solaio contro terra o rialzato

Trasmittanza termica lineica di calcolo 0.055 W/mK

Trasmittanza termica lineica di riferimento 0.11 W/mK

Note: Giunto parete con isolamento ripartito – solaio rialzato con isolamento all'introdosso su ambiente non riscaldato



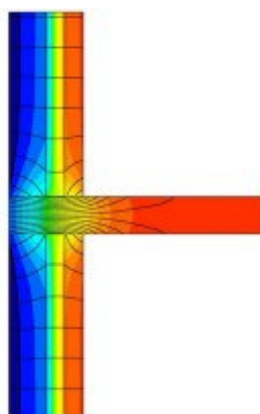
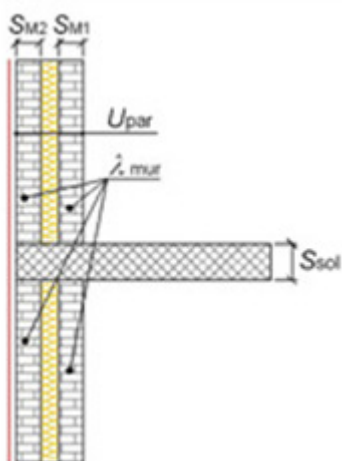
Caratteristiche

Conduttività termica muro 2	λ_{mur2}	0.900 W/mK
Coefficiente correzione temperatura	btr	1.00 -
Spessore solaio	S_{sol}	22.0 cm
Spessore muro	S_{mur}	35.0 cm
Trasmittanza termica solaio	U_{par}	0.700 W/m ² K
Conduttività termica muro	λ_{mur1}	0.500 W/mK

Descrizione del ponte termico: Parete – Solaio interpiano

Trasmittanza termica lineica di calcolo	0.545 W/mK
Trasmittanza termica lineica di riferimento	1.09 W/mK

Note: Giunto parete con isolamento in intercapedine – solaio interpiano senza correzione



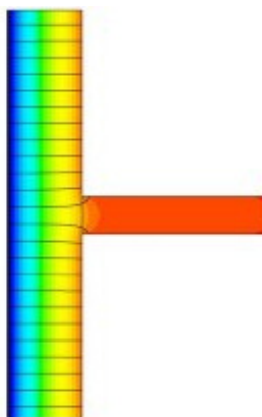
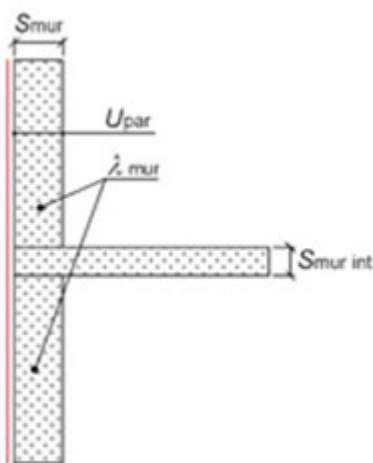
Caratteristiche

Spessore solaio	S_{sol}	30.0 cm
Spessore muro 1	S_{mur1}	10.0 cm
Spessore muro 2	S_{mur2}	10.0 cm
Trasmittanza termica parete	U_{par}	0.700 W/m ² K
Conduktività termica muro	λ_{mur}	0.450 W/mK

Descrizione del ponte termico: Parete – Parete interna

Trasmittanza termica lineica di calcolo	- 0.008 W/mK
Trasmittanza termica lineica di riferimento	- 0.015 W/mK

Note: Giunto parete con isolamento ripartito – parete interna



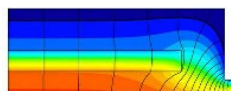
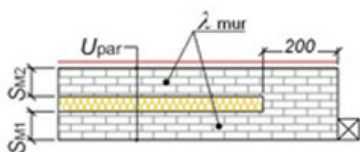
Caratteristiche

Spessore muro interno	$S_{mur\ int}$	15.0 cm
Spessore muro	S_{mur}	35.0 cm
Conduktività termica muro	λ_{mur}	0.500 W/mK

Descrizione del ponte termico: Parete – Telaio

Trasmittanza termica lineica di calcolo	0.350 W/mK
Trasmittanza termica lineica di riferimento	0.35 W/mK

Note: Giunto parete con isolamento in intercapedine interrotto – telaio posto a filo interno



Caratteristiche

Spessore muro 1	S_{m1}	10.0 cm
Spessore muro 2	S_{m2}	10.0 cm
Trasmittanza termica parete	U_{par}	0.700 W/m ² K
Conduttività termica muro	λ_{mur}	0.500 W/mK

3.3.5 Fenomeni di condensazione

Un altro fenomeno che è stato verificato riguarda la formazione di condensa. L'aria può contenere in sospensione una certa quantità di vapore acqueo. Tale quantità dipende dalla temperatura e dalla pressione. A pressione costante, aumentando la temperatura dell'aria, aumenta la quantità di vapore che in essa può essere contenuta. Per ogni temperatura esiste, dunque, un limite massimo e l'aria che si trova a contenere umidità al limite massimo si dice satura. Una volta che questo limite viene raggiunto, ogni incremento di umidità fornito all'aria non può essere recepito e si ha una precipitazione del vapore sotto forma di condensa. La figura 3.14 mette in relazione il contenuto di vapore [grammi/m³] con la temperatura dell'aria [°C] in condizioni di saturazione. Come si può notare, più bassa è la temperatura minore è la quantità di vapore che può contenere l'aria.

Contenuto di vapore (g/m³)

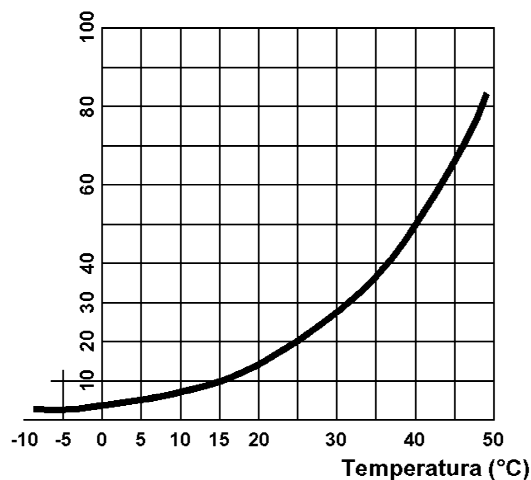


Figura 3.14 Variazione delle condizioni di saturazione in funzione della temperatura

In un ambiente in condizioni normali l'aria non è satura ma contiene un certo peso di vapore (p_r) inferiore al peso (p_s) che conterrebbe in condizione di saturazione. Questa condizione di umidità dell'aria viene detta umidità relativa (U_r) e viene espressa in percentuale rispetto a quella assoluta. Dire, quindi, che a una certa temperatura T l'aria contiene l'80% di umidità relativa significa che essa contiene l'80% della quantità massima di vapore acqueo che può essere contenuto a quella temperatura. Se in un ambiente, che ha una certa umidità relativa, si fa diminuire la temperatura l'umidità relativa man mano aumenta fino a raggiungere il valore di

saturazione (100%). In questo momento si vedrà apparire l'acqua sulla parete. La temperatura alla quale si ha l'inizio della formazione di acqua si definisce *Temperatura di condensa* o *Temperatura di rugiada*. La *Temperatura di condensa* può essere ricavata dal Diagramma di Mollier conoscendo la temperatura interna dell'aria e la percentuale di umidità (Umidità relativa) in essa contenuta (Figura 3.15):

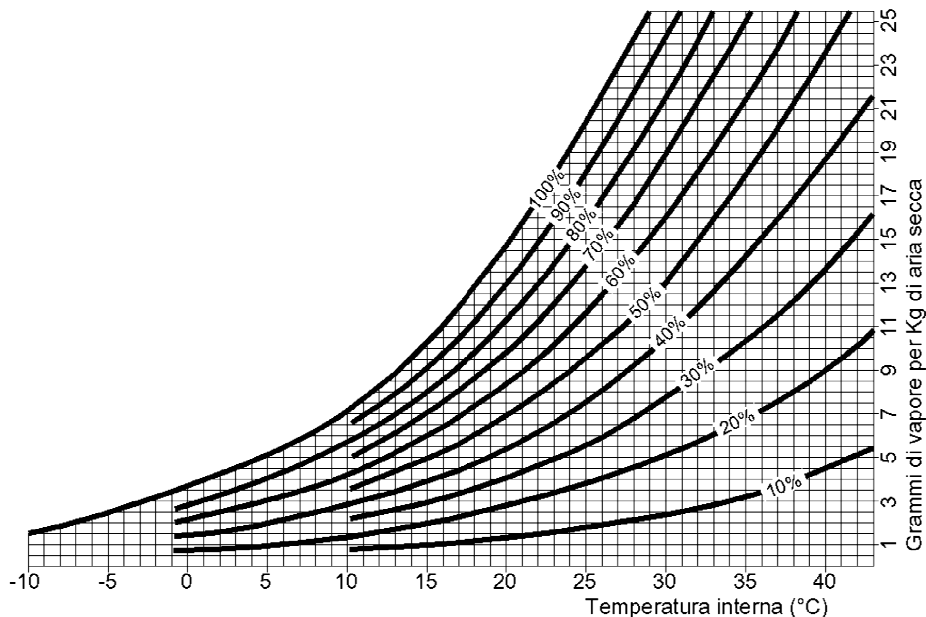


Figura 3.15 Diagramma di Mollier

Tutto quanto detto innanzi presuppone pressione costante. Si possono rifare tutte le considerazioni precedenti mantenendo costante la temperatura e facendo variare la pressione. La pressione a cui si trova il vapore contenuto nell'aria, a una data temperatura, si chiama Pressione Parziale (p_r). Quando a una data temperatura si è in condizioni di saturazione la pressione del vapore viene detta Pressione di Saturazione (p_s).

Il rapporto $\frac{p_r}{p_s} = U_r$ (in %) rappresenta l'Umidità relativa.

La tabella 2.3 riporta i valori delle pressioni di saturazione del vapore acqueo P_s [kPa] in funzione della temperatura.

°C	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
24,0	2,991	3,009	3,028	3,046	3,065	3,083	3,102	3,121	3,140	3,159
23,0	2,814	2,831	2,849	2,866	2,884	2,901	2,919	2,937	2,955	2,973
22,0	2,646	2,663	2,679	2,696	2,712	2,729	2,746	2,763	2,780	2,797
20,0	2,338	2,352	2,367	2,382	2,397	2,412	2,427	2,442	2,457	2,472
19,0	2,196	2,209	2,223	2,237	2,251	2,266	2,280	2,294	2,309	2,423
18,0	2,061	2,074	2,087	2,104	2,114	2,127	2,141	2,154	2,168	2,182
17,0	1,934	1,947	1,959	1,972	1,984	1,997	2,010	2,022	2,350	2,048
16,0	1,814	1,826	1,838	1,850	1,861	1,873	1,885	1,898	1,910	1,922
15,0	1,701	1,712	1,723	1,734	1,746	1,757	1,768	1,780	1,791	1,803
14,0	1,594	1,605	1,615	1,626	1,636	1,647	1,658	1,668	1,679	1,690
13,0	1,493	1,503	1,513	1,523	1,533	1,543	1,553	1,563	1,574	1,584
12,0	1,398	1,408	1,417	1,426	1,436	1,445	1,455	1,464	1,474	1,484
11,0	1,309	1,317	1,326	1,335	1,344	1,353	1,362	1,371	1,380	1,389
10,0	1,224	1,232	1,241	1,249	1,257	1,266	1,274	1,283	1,291	1,300
9,0	1,145	1,152	1,160	1,168	1,176	1,184	1,192	1,200	1,208	1,216
8,0	1,070	1,077	1,084	1,092	1,099	1,107	1,114	1,220	1,129	1,720
7,0	0,999	1,006	0,013	1,020	1,027	1,034	1,041	1,048	1,055	1,062
6,0	0,933	0,939	0,946	0,952	0,959	0,965	0,972	0,979	0,986	0,992
5,0	0,871	0,877	0,883	0,889	0,895	0,901	0,907	0,914	0,920	0,926
4,0	0,812	0,818	0,823	0,829	0,835	0,841	0,847	0,853	0,858	0,864
3,0	0,757	0,762	0,768	0,773	0,779	0,784	0,790	0,795	0,801	0,806
2,0	0,705	0,71	0,715	0,720	0,726	0,731	0,736	0,741	0,746	0,752
1,0	0,657	0,662	0,666	0,671	0,676	0,681	0,686	0,690	0,695	0,700
0,0	0,611	0,616	0,620	0,621	0,629	0,634	0,638	0,643	0,647	0,652
-1,0	0,563	0,568	0,572	0,577	0,582	0,587	0,592	0,596	0,601	0,606
-2,0	0,518	0,522	0,527	0,531	0,535	0,540	0,544	0,549	0,554	0,558
-3,0	0,476	0,480	0,484	0,488	0,492	0,497	0,501	0,505	0,509	0,514
-4,0	0,438	0,441	0,445	0,449	0,453	0,457	0,460	0,464	0,468	0,472
-5,0	0,402	0,405	0,409	0,412	0,416	0,419	0,423	0,427	0,430	0,434
-6,0	0,369	0,172	0,375	0,378	0,382	0,385	0,388	0,392	0,395	0,398
-7,0	0,338	0,141	0,344	0,347	0,350	0,353	0,356	0,359	0,363	0,388
-8,0	0,310	0,313	0,316	0,318	0,321	0,324	0,327	0,330	0,332	0,315
-9,0	0,284	0,286	0,289	0,292	0,294	0,297	0,299	0,302	0,305	0,307
-10,0	0,260	0,262	0,265	0,267	0,269	0,272	0,274	0,277	0,279	0,281

Tabella 3.5 Pressione di saturazione del vapor d'acqua P_s [kPa] in funzione della temperatura

I fenomeni di condensazione possibili sono di due tipi:

- fenomeni di condensazione superficiale, quando la condensazione avviene sulla faccia delle struttura rivolta verso l'ambiente interno, in punti in cui la temperatura è più bassa;
- fenomeni di condensazione interstiziale, quando la condensazione avviene all'interno delle strutture, in corrispondenza dell'interfaccia tra diversi strati o all'interno di uno strato.

Per studiare il fenomeno della condensa vengono usati due parametri:

- *coefficiente di conducibilità del vapore o permeabilità* (δ) misura la quantità di vapore (in Kg) che attraversa lo spessore di 1 metro di un certo materiale su una superficie di 1 m² e per una differenza unitaria di pressione di vapore;
- *coefficiente di resistenza al passaggio del vapore* (μ) indica quanto la resistenza al passaggio del vapore di un certo materiale è superiore a quella dell'aria a parità di spessore e di temperatura.

Il coefficiente μ rappresenta una caratteristica dei materiali da costruzione e come tale va determinato mediante prove sperimentali di laboratorio; per l'aria, naturalmente, si ha $\mu = 1$.

A titolo esemplificativo nella tabella 3.6 vengono riportati il valore di permeabilità δ per i laterizi e i calcestruzzi confrontandoli. Il valore di μ , e conseguentemente della permeabilità δ , è legato alla densità ρ dei materiali. Per i laterizi la presenza di camere d'aria rende problematica la determinazione di μ ; se la dimensione (nel senso del flusso del vapore) non supera i 3 cm, si può considerare il vuoto come occupato dallo stesso laterizio. Per valori superiori bisogna valutare separatamente il materiale e l'aria. E' possibile notare che la diminuzione della massa volumica del materiale (densità) comporta una diminuzione della resistenza e di conseguenza un aumento della permeabilità.

Materiale	Foratura (%)	Massa volumica ρ (kg/m ³)	Resistenza μ -	Permeabilità δ (kg/msPa) • 10 ⁻¹²
Muratura in elementi pieni di laterizio	10	1600	8	23,44
Muratura in elementi semipieni di laterizio	45	1000	6	31,25
Muratura in elementi in elementi forati di laterizio	65	600	5	37,25
Setti in c. a.	-	2400	100	1,88
Blocchi cavi (cls di argilla espansa)	-	700	7	26,79

Tabella 3.6 Confronto fra i valori δ e μ di murature (compresi i giunti)

A titolo di completezza della trattazione, si riportano i valori della resistenza μ al passaggio del vapore di alcuni materiali più usati in edilizia.

Materiale	Densità Kg/m ³	Coefficiente di resistenza al passaggio del vapore
Intonaco di		
- Malta di calce e cemento	-	15
- Malta di cemento	-	19
- Malta di gesso e calce	-	11,5
- Gesso (rasatura)	-	6,2
Calcestruzzo		
- Pesante	-	80 ÷ 100
- Di pomice o scorie o lapillo	400 + 800	7
- Cellulare	-	7
- Di argilla espansa (blocchi cavi)	-	7 + 10
Cemento amianto compresso	-	50
Cartone e gesso	-	6
Murature in:		
- Klinker	2050	384 ÷ 469
- Mattoni pieni o forati	1360	6 ÷ 6,8
	1530 + 1860	9,3 + 10
Fibre vegetali o minerali	-	1,2
Materiali schiumosi:		
Polistirolo	10	10 + 50
	20	40 + 100
	40	80 + 210
Poliuretano	-	50 + 100
Cartonfeltro bitumato.	500 g/m ²	3640 + 18280
Foglio di cloruro di polivinile.	25 g/m ²	50.000
Spalmatura di bitume.	-	80.000
Cartonfeltro bitumato ricoperto	1500 : 2000 g/m ²	80.000
Foglio di polietilene	-	100.000
Foglio di alluminio	≥ 125 g/m ²	praticamente infinito

Tabella 3.7 Valori del coefficiente di resistenza al passaggio del vapore μ per alcuni materiali da costruzione

Il DPR 59/09 fornisce la seguente prescrizione in merito ai fenomeni di condensazione:

"Per tutte le categorie di edifici, così come classificati in base alla destinazione d'uso all'art.3 del Decreto del Presidente della Repubblica 26 Agosto 1993 n.412, ad eccezione della categoria E8 (Edifici industriali) si procede alla verifica dell'assenza di condensazioni superficiali e che le condensazioni interstiziali delle pareti opache siano limitate alla quantità rievaporabile, conformemente alla normativa tecnica vigente. Qualora non esista un sistema di controllo dell'umidità relativa interna, per i calcoli necessari, questa verrà assunta pari al 65% alla temperatura interna di 20°C."

3.3.5.1 Fenomeni di condensazione superficiale

Se in un punto dell'involucro edilizio, per motivi di scarso o scorretto isolamento termico o per la presenza di elementi come i serramenti, si viene a creare una zona a temperatura più bassa rispetto alle aree circostanti; se questa temperatura è inferiore alla T di rugiada alle condizioni interne di UR, è molto probabile che in quel punto si verifichino fenomeni di condensazione superficiale. Il vapore contenuto nell'aria dell'ambiente, venendo a contatto con la superficie fredda, cambia di stato, trasformandosi in liquido, causando la formazione di macchie e muffe sulla parete.

Per prevenire i fenomeni di condensazione superficiale la prima strategia da proporre è il corretto isolamento dell'involucro, al fine di mantenere la temperatura superficiale interna il più alta possibile. Un altro intervento fondamentale è la corretta ventilazione degli ambienti per evitare l'eccessivo innalzarsi dell'umidità relativa interna. Influiscono all'aumento della presenza di vapore all'interno di un'abitazione svariate sorgenti, come riportato nella tabella 3.8 qui di seguito.

Singole sorgenti di produzione di vapore (produzione media oraria in kg/h)	Vapore prodotto (kg/h)
Persona a riposo	0,040
Persona in attività moderata	0,055
Cucina (fornello elettrico senza scarico all'esterno)	0,700
Cucina (fornello a gas senza scarico all'esterno)	1,000
Stufa a gas (senza scarico all'esterno)	0,130 per kW
Sorgenti in abitazioni (produzione media giornaliera espressa in kg/h)	Vapore prodotto (kg/h)
5 persone a riposo (per 8 ore)	0,066
2 persone (attività moderata per 16 ore)	0,71
Cucina	0,117
Lavaggio stoviglie	0,042
Lavaggio panni	0,187
Asciugamento indumenti	0,208
Igiene personale	0,021
Totale	0,712

Tabella 3.8 Produzione medie di vapore all'interno di un'abitazione

3.3.5.2 Fenomeni di condensazione interstiziale

Il vapore presente nell'aria tende a spostarsi dall'ambiente a più alta pressione di vapore (quello interno) verso l'ambiente a più bassa pressione di vapore (quello esterno), comportando il fatto che l'involucro esterno dell'edificio venga attraversato da un flusso di vapore; questo flusso può creare dei problemi qualora in un punto interno alla struttura si creino le condizioni perché avvenga la condensazione causando una perdita delle proprietà dei materiali oppure delle efflorescenze o ancora subflorescenze. Per studiare i fenomeni di condensazione del vapore all'interno delle strutture edilizie viene considerato nella normativa (DPR 59/09) un metodo di calcolo semplificato: il Metodo di Glaser; esso consente, fissate le condizioni termoigrometriche interne ed esterne, di verificare se in una struttura piana supposta inizialmente asciutta, possa verificarsi condensazione di vapore. Un diaframma (parete o solaio), che divide due ambienti a diversa temperatura e pressione, viene così attraversato da questo flusso (che di solito va dall'interno all'esterno) e passando attraverso i vari strati incontra una resistenza che è direttamente proporzionale allo spessore del muro e alle caratteristiche di impermeabilità del materiale e quindi al valore di μ .

Per un corretto dimensionamento del diaframma dal punto di vista igrometrico è necessario allora conoscere:

- temperatura all'interno di ogni singolo strato;
- pressione parziale all'interno di ogni strato;
- pressione di saturazione alle varie temperature;
- caratteristiche termiche dei materiali.

Una volta noti questi parametri è possibile verificare la possibilità di formazione di condensa confrontando la curva delle pressioni parziali con la curva delle pressioni di saturazione all'interno dei vari strati del muro.

Il metodo grafico di Glaser fa riferimento ad un piano cartesiano che riporta in ordinate la pressione del vapore P_v e in ascisse la resistenza alla diffusione del vapore μd .

Il metodo si basa sul confronto tra l'andamento della pressione di saturazione P_s (determinata dalla distribuzione di temperatura nella struttura) e l'andamento della pressione di vapore P_v .

Si tratta di una metodologia di calcolo semplificata e potrebbe essere quindi applicata correttamente solo nel caso di materiali ove non intervengano in modo significativo altri e più complessi meccanismi di trasporto dell'umidità (ad esempio forze capillari).

La costruzione del diagramma di Glaser avviene come segue (figura 3.16):

- si determinano i valori delle temperature in ogni strato e si costruisce il relativo diagramma,
- si determina un diagramma delle pressioni di saturazione (operando per punti) facendo uso dei valori tabellari della pressione di saturazione del vapor d'acqua i in funzione della temperatura,
- si determina il diagramma delle pressioni parziali.

Si possono quindi confrontare i due diagrammi di pressione e verificarsi tre casi:

- A) le due curve non si incontrano;
- B) le due curve sono tangenti in un punto;
- C) le due curve si incontrano in più punti distinti.

Nel caso A (figura 3.16) non vi sono pericoli di condensa nel muro.

Nel caso B (figura 3.17) all'interno del muro si sono verificate le condizioni limite in un punto: una piccola diminuzione della temperatura o pressione può causare la condensa del vapore acqueo.

Nel caso C (figura 3.18) le curve tenderebbero a intersecarsi, questo, però non può accadere perché non è possibile che la pressione parziale di vapore superi quella di saturazione. Si tracciano, allora, le tangenti alla curva delle pressioni di saturazione del punto di inizio all'ipotesica intersezione. Il tratto compreso tra la prima e l'ultima tangente è quella in cui si ha la formazione della condensa.

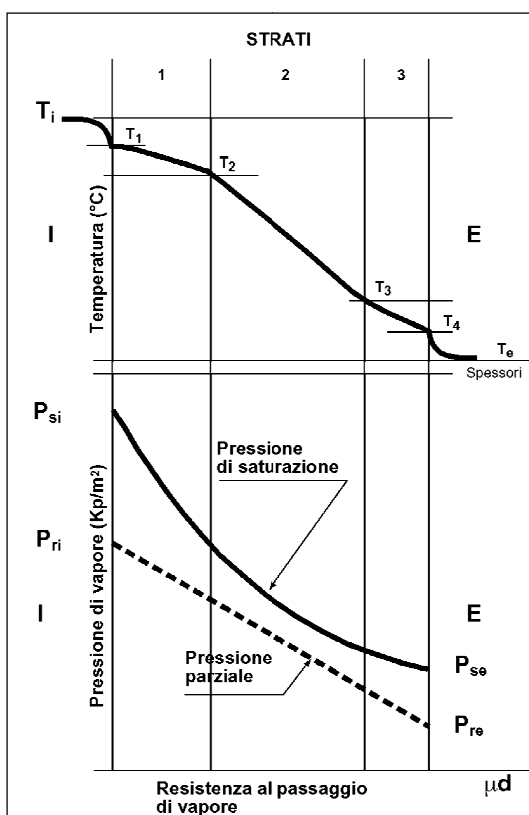


Figura 3.16 Costruzione del diagramma di Glaser

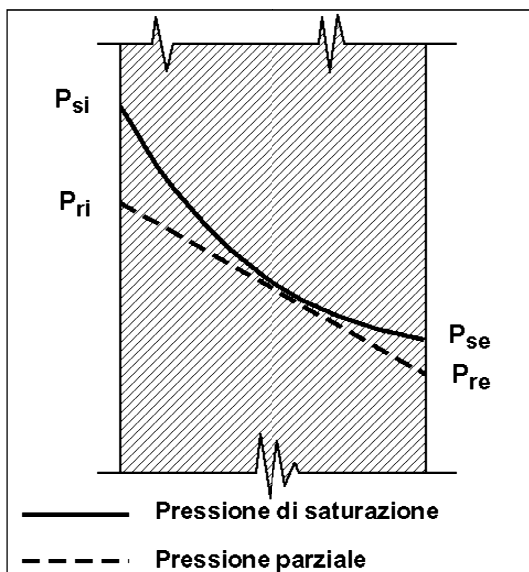


Figura 3.17 Caso B del diagramma di Glaser: le due curve sono tangenti in un punto

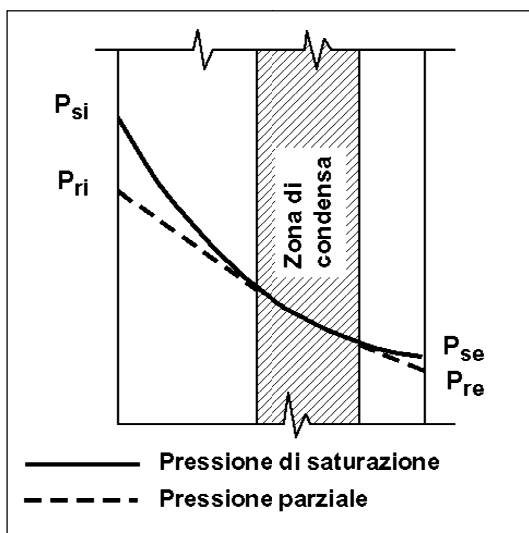


Figura 3.18 Caso C del metodo Glaser: le curve si toccano lungo un segmento

Per consentire la verifica su base annua con il metodo di Glaser sono state elaborate delle tabelle dell'umidità relativa all'aria esterna per una serie di località italiane dell'Italia settentrionale (tabella 3.9).

Tabella 77 MILANO				Tabella 78 BOLZANO			
	T _e (°C)	U _{r,e} (%)	P _{ve} (Pa)	T _e (°C)	U _{r,e} (%)	P _{ve} (Pa)	
Gennaio	0,8	98,1	565	-0,8	59,5	343	
Febbraio	2,8	83,1	621	2,0	62,1	438	
Marzo	8,8	80,1	908	7,6	54,0	616	
Aprile	12,8	75,9	1122	12,0	59,5	835	
Maggio	16,8	67,8	1298	16,0	54,9	1180	
Giugno	20,0	70,0	1778	19,2	69,3	1543	
Luglio	22,8	60,8	1687	20,8	66,4	1632	
Agosto	22,0	74,7	1976	19,6	72,6	1643	
Settembre	18,8	87,3	1869	17,2	67,4	1324	
Ottobre	12,8	93,7	1368	10,0	78,5	964	
Novembre	7,2	90,2	917	4,4	79,2	683	
Dicembre	2,0	90,2	637	0,0	62,0	379	

Tabella 79 VERONA				Tabella 80 TRIESTE			
	T _e (°C)	U _{r,e} (%)	P _{ve} (Pa)	T _e (°C)	U _{r,e} (%)	P _{ve} (Pa)	
Gennaio	1,2	83,3	555	4,4	66,1	553	
Febbraio	2,8	69,4	519	5,2	74,0	655	
Marzo	7,2	76,9	781	9,2	69,6	810	
Aprile	12,0	65,2	915	14,4	57,7	923	
Maggio	16,0	67,0	1283	18,8	59,2	1286	
Giugno	20,4	73,1	1709	21,8	66,3	1712	
Luglio	23,2	69,8	1985	24,0	57,6	1720	
Agosto	22,0	69,0	1825	23,2	57,7	1640	
Settembre	18,4	73,4	1555	20,4	72,7	1744	
Ottobre	13,2	73,0	1180	15,2	79,4	1373	
Novembre	8,4	84,0	926	11,6	81,4	1113	
Dicembre	2,4	90,0	654	6,4	68,6	660	

Tabella 3.9 Umidità relativa all'aria esterna: Milano, Bolzano, Verona, Trieste

Nell'edificio di progetto sono presenti strutture in cui si verificano fenomeni di condensazione, di seguito andiamo a presentarli dettagliatamente.

Muro perimetrale

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa superficiale, ma non interstiziale.

Risultati mensili della verifica della condensa superficiale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	P_{int} [Pa]	P_{est} [Pa]	θ_{acc} [°C]	P_{acc} [Pa]	f_{RSI} [-]
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	1519	1216	16.7	1899	0.351
<i>novembre</i>	20.0	9.3	1519	935	16.7	1899	0.691
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	1519	707	16.7	1899	0.776
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	1519	705	16.7	1899	0.796
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	1519	665	16.7	1899	0.770
<i>marzo</i>	20.0	9.6	1519	798	16.7	1899	0.682
<i>aprile</i>	20.0	14.0	1519	952	16.7	1899	0.448

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
P_{int}	Pressione dell'ambiente interno
P_{est}	Pressione dell'ambiente esterno
θ_{acc}	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
P_{acc}	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
f_{RSI}	Fattore di temperatura superficiale

Risultati mensili della verifica della condensa interstiziale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	ϕ_{int} [%]	ϕ_{est} [%]	g_c [g/m ²]	Ma [g/m ²]	Periodi	Stato
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	65	72	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>novembre</i>	20.0	9.3	65	80	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	65	80	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	65	88	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	65	73	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>marzo</i>	20.0	9.6	65	67	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>aprile</i>	20.0	14.0	65	60	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>maggio</i>	18.0	17.7	65	69	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>giugno</i>	22.0	22.0	65	63	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>luglio</i>	24.4	24.4	65	63	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>agosto</i>	23.9	23.9	65	64	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>settembre</i>	20.6	20.6	65	65	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
φ_{int}	Umidità relativa dell'ambiente interno
φ_{est}	Umidità relativa dell'ambiente esterno
t_c	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
p_a	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
Periodi	Periodi del mese

Distribuzione della temperatura nella struttura [°C]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Int.</i>	18.2	16.3	14.9	14.4	15.0	16.4	17.9	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
1	18.1	16.1	14.6	14.1	14.7	16.2	17.8	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
2	18.1	16.0	14.4	13.9	14.6	16.1	17.7	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
3	16.7	13.0	10.3	9.4	10.6	13.2	16.1	17.8	22.0	24.4	23.9	20.6
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Est.</i>	14.9	9.3	5.2	3.8	5.6	9.6	14.0	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Distribuzione della pressione parziale del vapore nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
<i>Int.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
1	1502	1487	1475	1474	1472	1480	1488	1344	1714	1982	1925	1577
2	1433	1353	1289	1288	1277	1314	1358	1356	1700	1968	1916	1578
3	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Est.</i>	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582

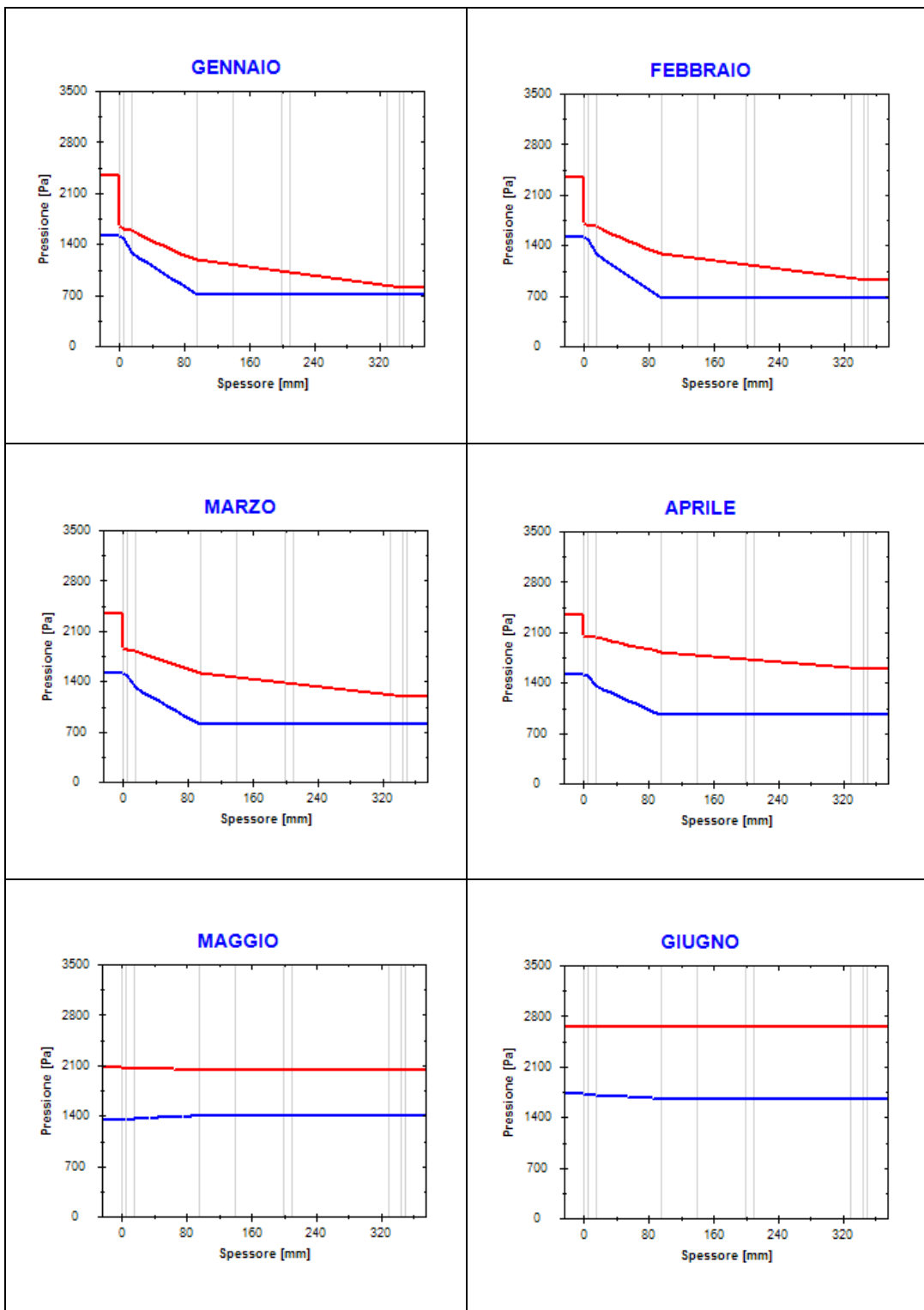
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

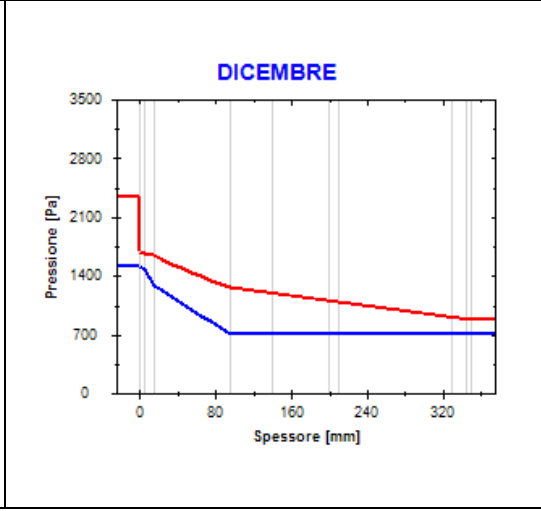
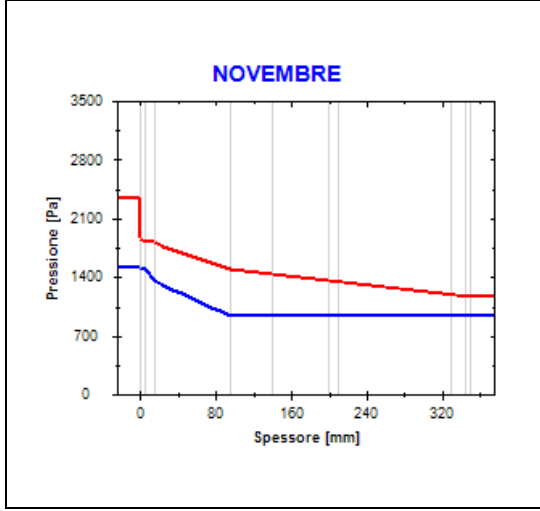
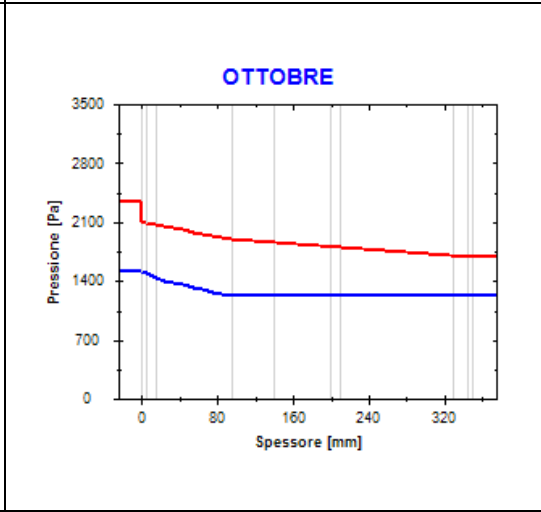
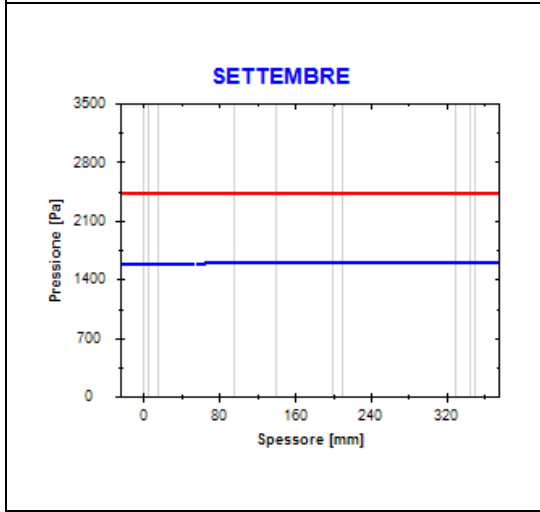
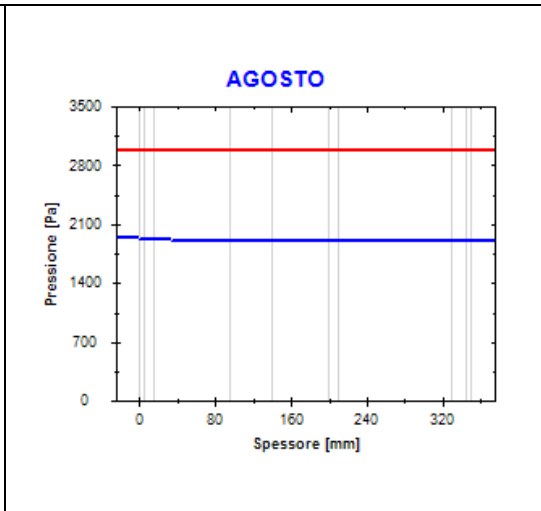
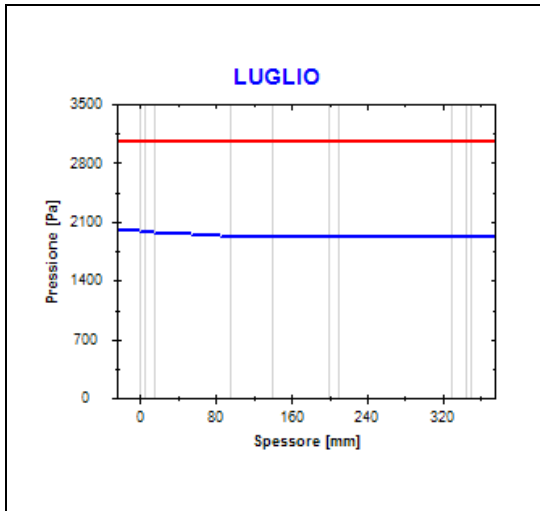
Distribuzione della pressione di saturazione nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425
<i>Int.</i>	2093	1851	1690	1638	1705	1864	2053	2049	2642	3055	2964	2425
1	2080	1827	1659	1605	1674	1839	2037	2049	2642	3055	2964	2425
2	2073	1814	1643	1588	1659	1827	2030	2048	2642	3055	2964	2425
3	1896	1498	1255	1180	1277	1517	1826	2038	2642	3055	2964	2425
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Est.</i>	1693	1171	884	801	909	1195	1598	2024	2642	3055	2964	2425

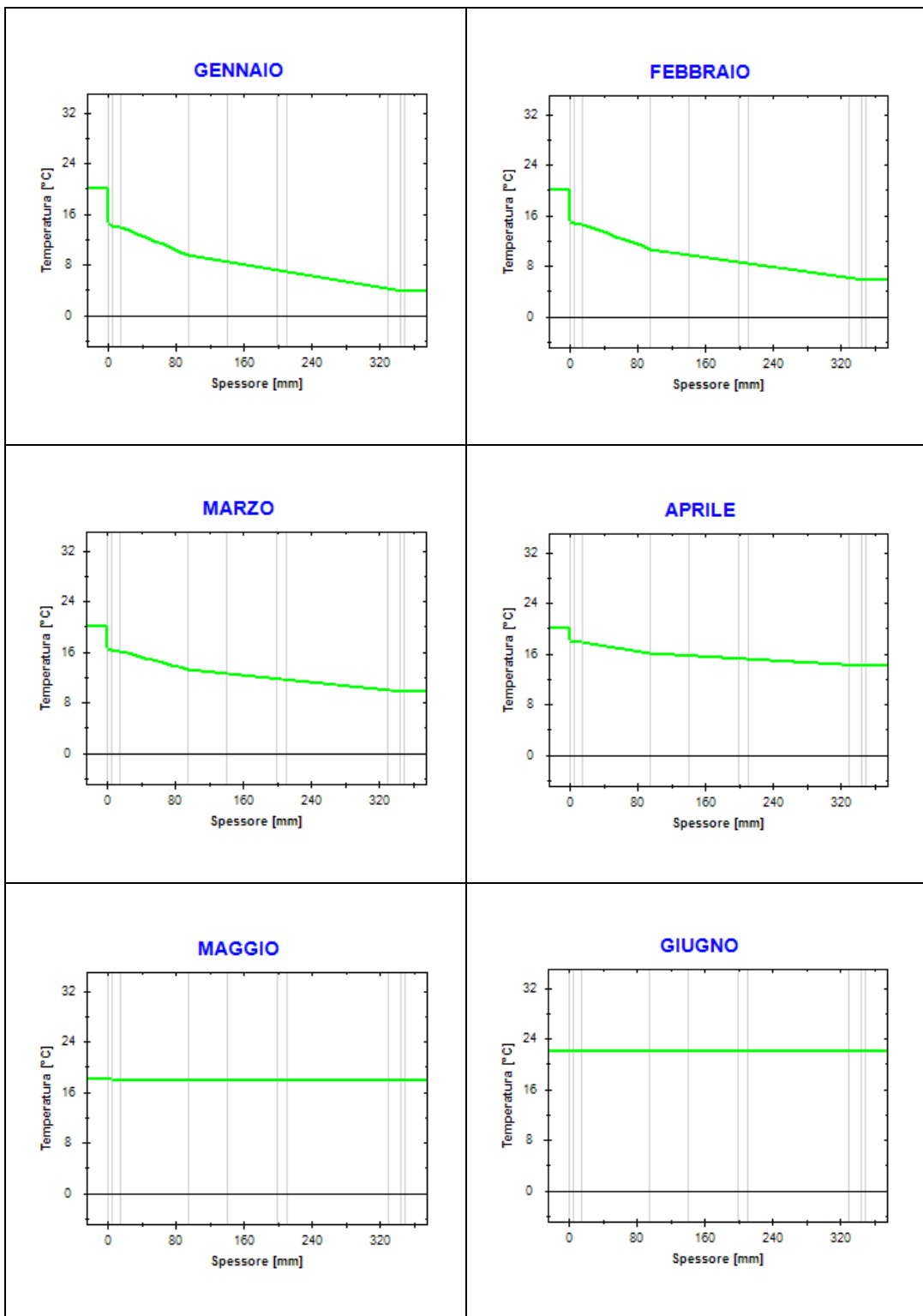
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

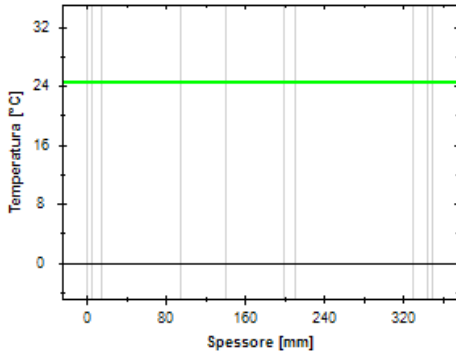




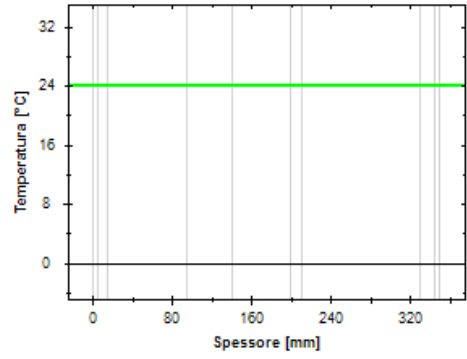
Grafici mensili delle temperature [°C]



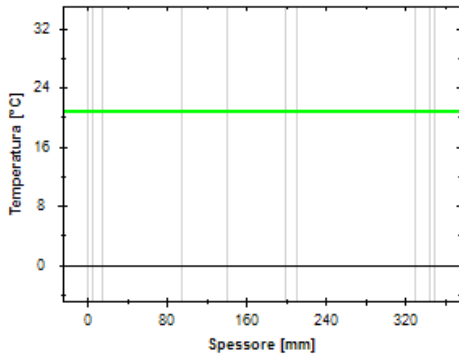
LUGLIO



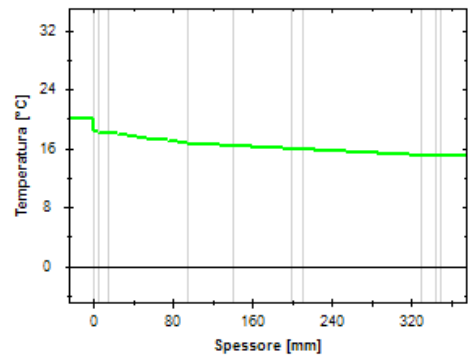
AGOSTO



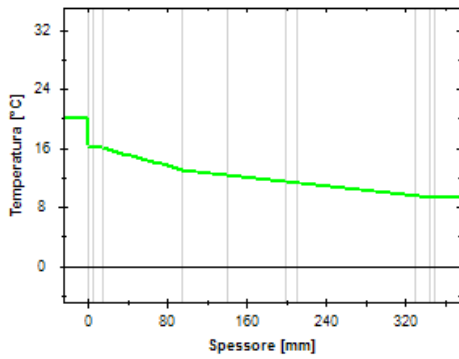
SETTEMBRE



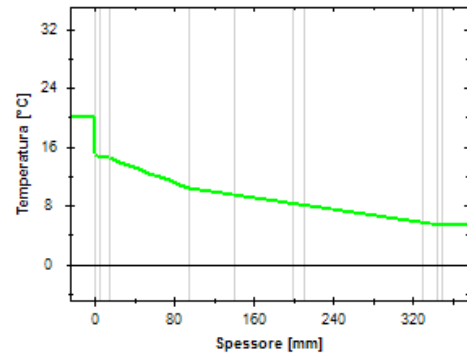
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



Quinta perimetrale

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa superficiale, ma non interstiziale.

Risultati mensili della verifica della condensa superficiale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	P_{int} [Pa]	P_{est} [Pa]	θ_{acc} [°C]	P_{acc} [Pa]	f_{RSI} [-]
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	1519	1216	16.7	1899	0.351
<i>novembre</i>	20.0	9.3	1519	935	16.7	1899	0.691
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	1519	707	16.7	1899	0.776
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	1519	705	16.7	1899	0.796
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	1519	665	16.7	1899	0.770
<i>marzo</i>	20.0	9.6	1519	798	16.7	1899	0.682
<i>aprile</i>	20.0	14.0	1519	952	16.7	1899	0.448

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
P_{int}	Pressione dell'ambiente interno
P_{est}	Pressione dell'ambiente esterno
θ_{acc}	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
P_{acc}	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
f_{RSI}	Fattore di temperatura superficiale

Risultati mensili della verifica della condensa interstiziale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	ϕ_{int} [%]	ϕ_{est} [%]	g_c [g/m ²]	Ma [g/m ²]	Periodi	Stato
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	65	72	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>novembre</i>	20.0	9.3	65	80	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	65	80	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	65	88	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	65	73	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>marzo</i>	20.0	9.6	65	67	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>aprile</i>	20.0	14.0	65	60	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>maggio</i>	18.0	17.7	65	69	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>giugno</i>	22.0	22.0	65	63	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>luglio</i>	24.4	24.4	65	63	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>agosto</i>	23.9	23.9	65	64	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>settembre</i>	20.6	20.6	65	65	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
φ_{int}	Umidità relativa dell'ambiente interno
φ_{est}	Umidità relativa dell'ambiente esterno
g_c	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
M_a	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
Periodi	Periodi del mese

Distribuzione della temperatura nella struttura [°C]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
Amb.	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
Int.	18.2	16.3	14.9	14.4	15.0	16.4	17.9	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
1	18.1	16.1	14.6	14.1	14.7	16.2	17.8	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
2	18.1	16.0	14.4	13.9	14.6	16.1	17.7	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
3	16.7	13.0	10.3	9.4	10.6	13.2	16.1	17.8	22.0	24.4	23.9	20.6
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Est.	14.9	9.3	5.2	3.8	5.6	9.6	14.0	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

Distribuzione della pressione parziale del vapore nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
Amb.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
Int.	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
1	1502	1487	1475	1474	1472	1480	1488	1344	1714	1982	1925	1577
2	1433	1353	1289	1288	1277	1314	1358	1356	1700	1968	1916	1578
3	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Est.	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582

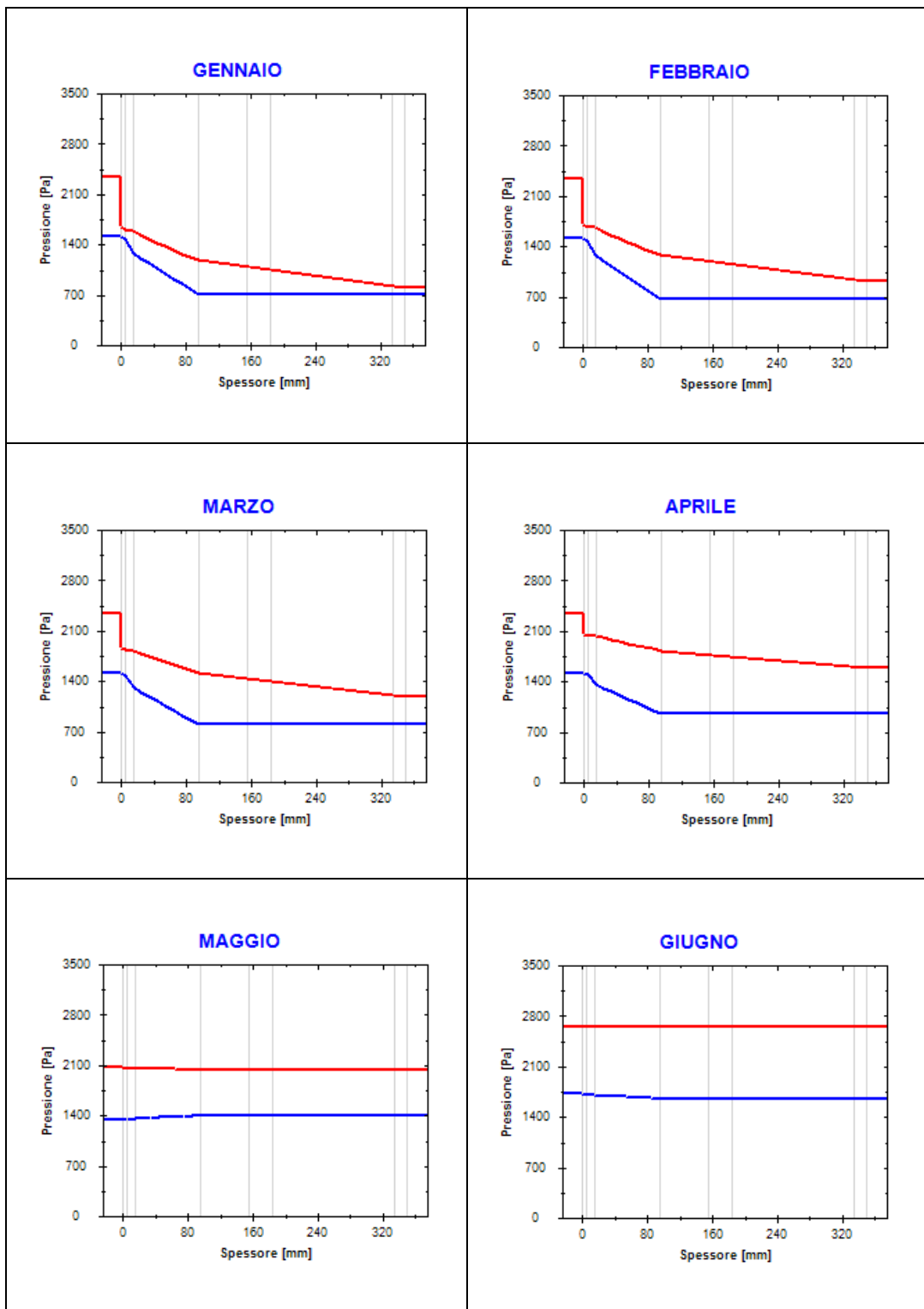
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

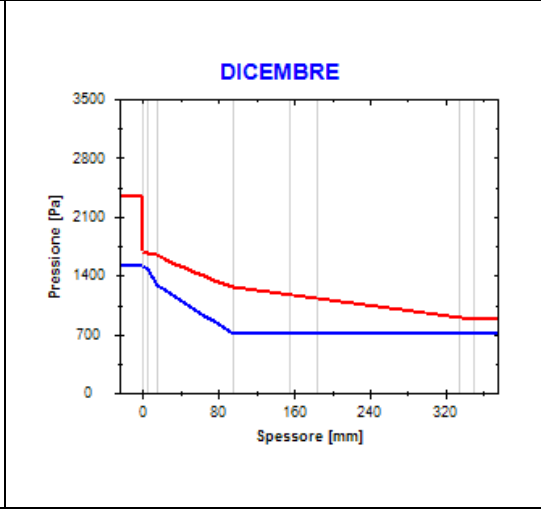
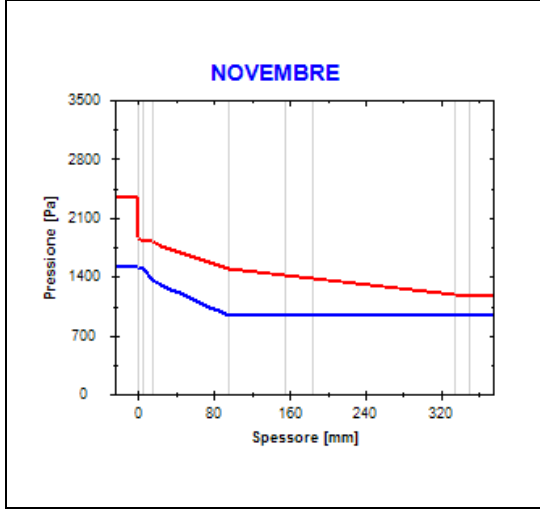
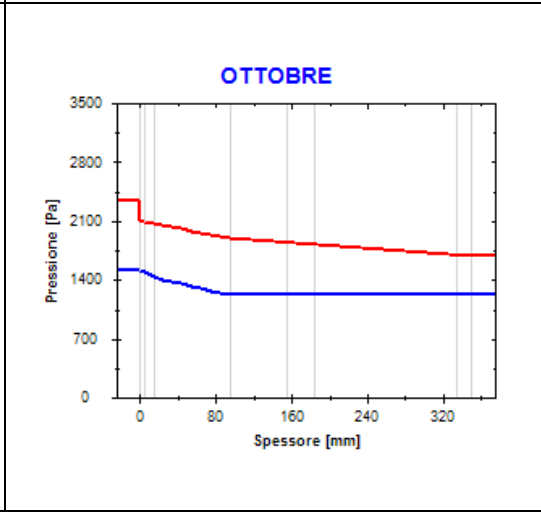
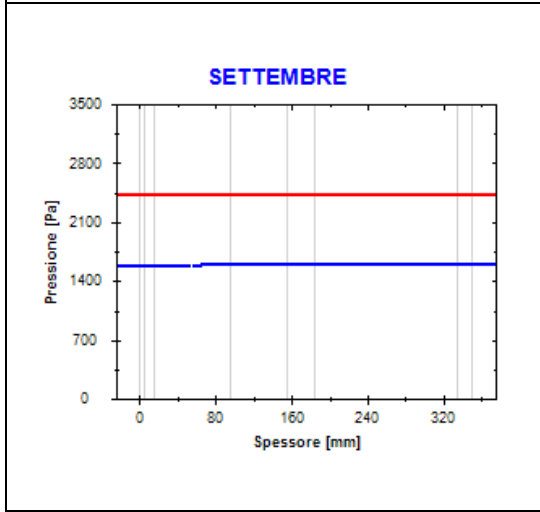
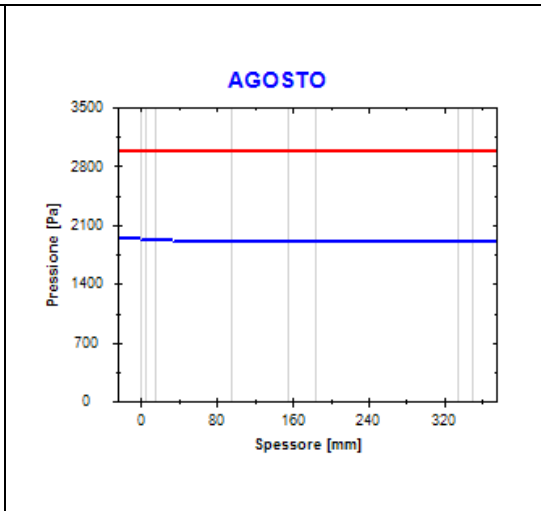
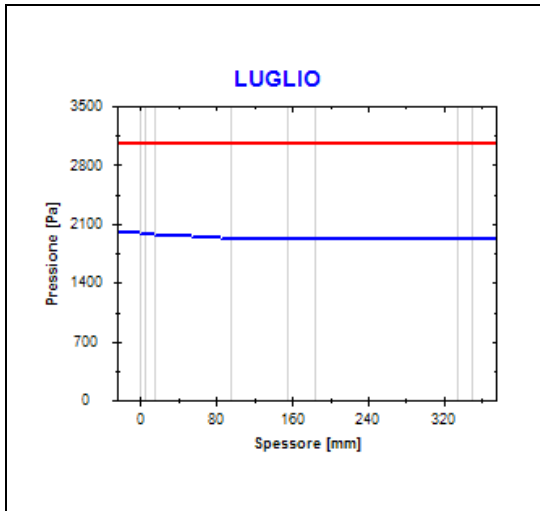
Distribuzione della pressione di saturazione nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425
<i>Int.</i>	2093	1851	1690	1638	1705	1864	2053	2049	2642	3055	2964	2425
1	2080	1827	1659	1605	1674	1839	2037	2049	2642	3055	2964	2425
2	2073	1814	1643	1588	1659	1827	2030	2048	2642	3055	2964	2425
3	1896	1498	1255	1180	1277	1517	1826	2038	2642	3055	2964	2425
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Est.</i>	1693	1171	884	801	909	1195	1598	2024	2642	3055	2964	2425

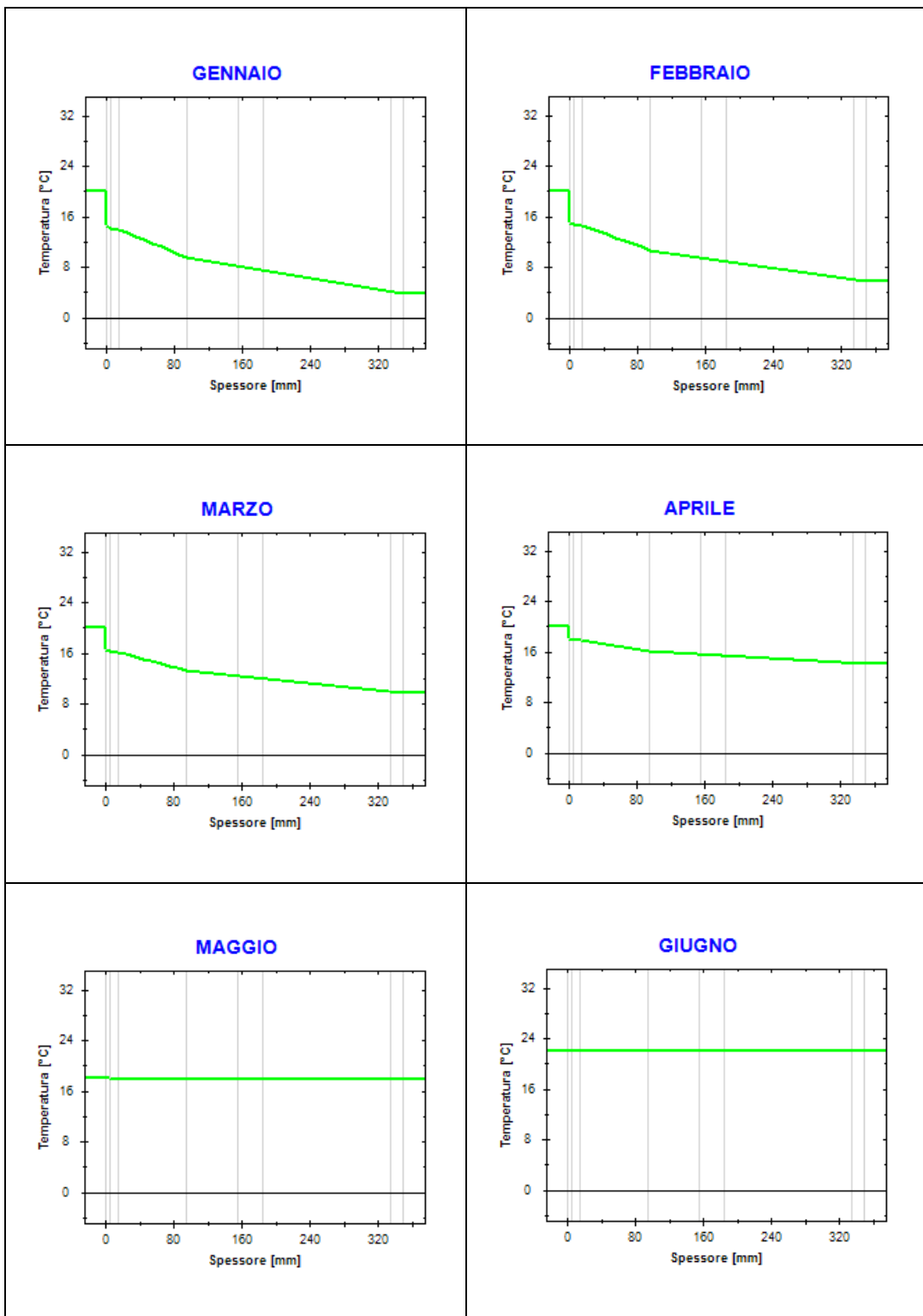
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

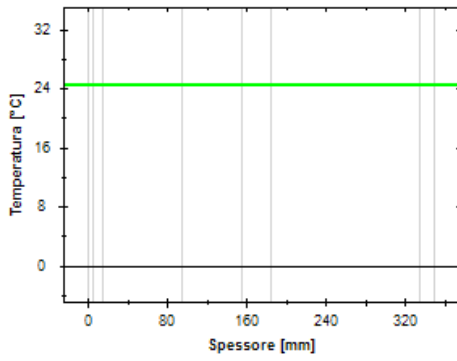




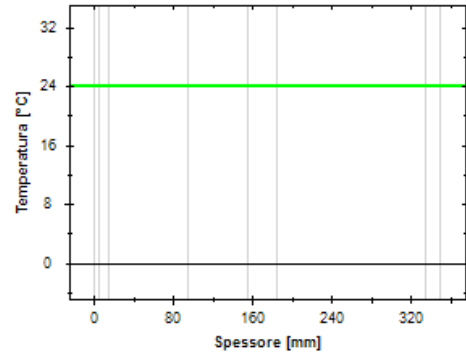
Grafici mensili delle temperature [°C]



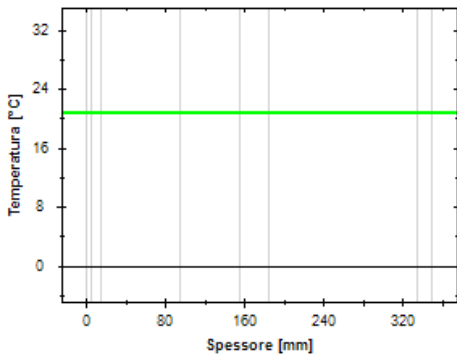
LUGLIO



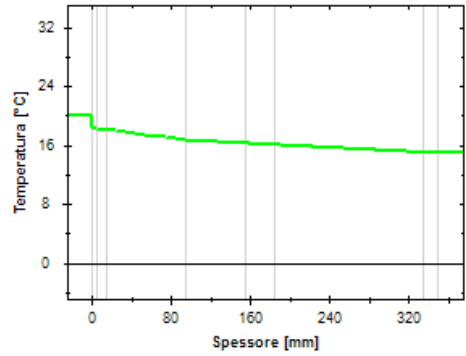
AGOSTO



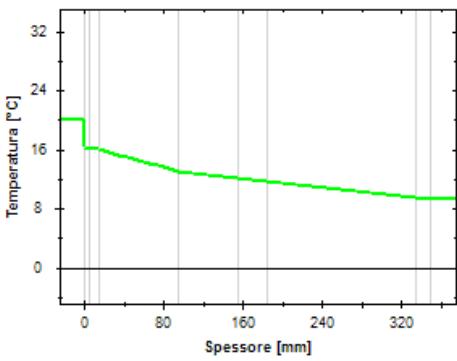
SETTEMBRE



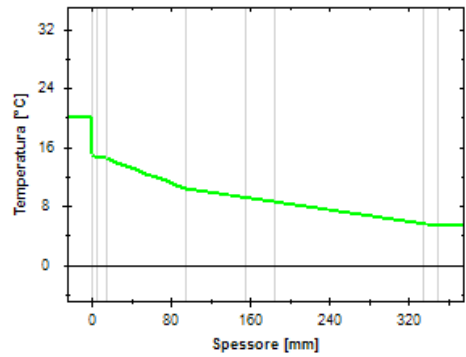
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



Muro sotto finestra

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Risultati mensili della verifica della condensa superficiale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	P_{int} [Pa]	P_{est} [Pa]	θ_{acc} [°C]	P_{acc} [Pa]	f_{RSI} [-]
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	1519	1216	16.7	1899	0.351
<i>novembre</i>	20.0	9.3	1519	935	16.7	1899	0.691
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	1519	707	16.7	1899	0.776
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	1519	705	16.7	1899	0.796
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	1519	665	16.7	1899	0.770
<i>marzo</i>	20.0	9.6	1519	798	16.7	1899	0.682
<i>aprile</i>	20.0	14.0	1519	952	16.7	1899	0.448

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
P_{int}	Pressione dell'ambiente interno
P_{est}	Pressione dell'ambiente esterno
θ_{acc}	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
P_{acc}	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
f_{RSI}	Fattore di temperatura superficiale

Risultati mensili della verifica della condensa interstiziale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	ϕ_{int} [%]	ϕ_{est} [%]	g_c [g/m ²]	Ma [g/m ²]	Periodi	Stato
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	65	72	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>novembre</i>	20.0	9.3	65	80	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	65	80	63.7	64	1	<i>Condensa</i>
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	65	88	139.2	203	1	<i>Condensa</i>
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	65	73	29.1	232	1	<i>Condensa</i>
<i>marzo</i>	20.0	9.6	65	67	-178.5	54	1	<i>Essiccazione</i>
<i>aprile</i>	20.0	14.0	65	60	-53.6	0	2	<i>Essiccazione</i>
<i>maggio</i>	18.0	17.7	65	69	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>giugno</i>	22.0	22.0	65	63	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>luglio</i>	24.4	24.4	65	63	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>agosto</i>	23.9	23.9	65	64	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>settembre</i>	20.6	20.6	65	65	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
φ_{int}	Umidità relativa dell'ambiente interno
φ_{est}	Umidità relativa dell'ambiente esterno
t_c	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
p_a	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
Periodi	Periodi del mese

Distribuzione della temperatura nella struttura [°C]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Int.</i>	18.9	17.8	16.9	16.6	17.0	17.8	18.8	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
1	18.9	17.6	16.7	16.4	16.8	17.7	18.7	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
2	18.8	17.6	16.7	16.3	16.7	17.6	18.6	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
3	18.1	16.1	14.6	14.1	14.7	16.2	17.8	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
4	16.5	12.7	9.9	9.0	10.2	12.9	15.9	17.8	22.0	24.4	23.9	20.6
5	16.5	12.7	9.9	8.9	10.1	12.9	15.9	17.8	22.0	24.4	23.9	20.6
6	15.2	9.9	6.0	4.7	6.4	10.2	14.3	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
7	15.1	9.8	5.9	4.6	6.3	10.1	14.3	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
8	15.1	9.7	5.7	4.3	6.1	9.9	14.2	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Est.</i>	14.9	9.3	5.2	3.8	5.6	9.6	14.0	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

Distribuzione della pressione parziale del vapore nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
<i>Int.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
1	1512	1506	1497	1491	1498	1517	1541	1342	1716	1984	1926	1576
2	1485	1453	1403	1373	1411	1508	1633	1347	1711	1979	1923	1577
3	1435	1356	1231	1157	1253	1491	1800	1356	1701	1968	1917	1578
4	1432	1352	1223	1147	1245	1490	1808	1356	1700	1968	1916	1578
5	1405	1299	1157	1091	1171	1402	1699	1361	1694	1962	1913	1578
6	1275	1049	848	826	824	988	1187	1384	1668	1936	1897	1581
7	1234	970	750	742	713	855	1024	1391	1660	1928	1892	1582
8	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
<i>Est.</i>	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582

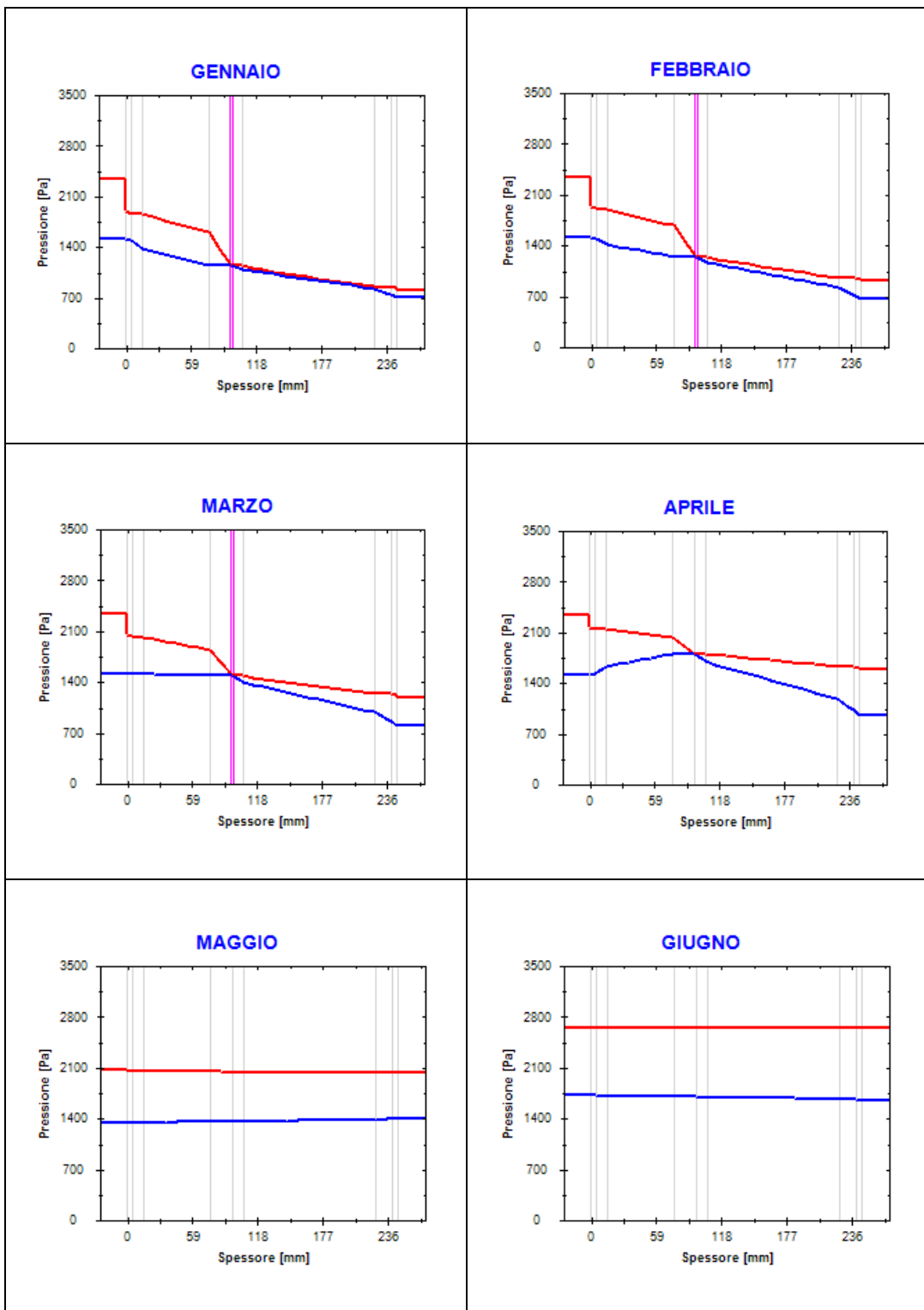
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

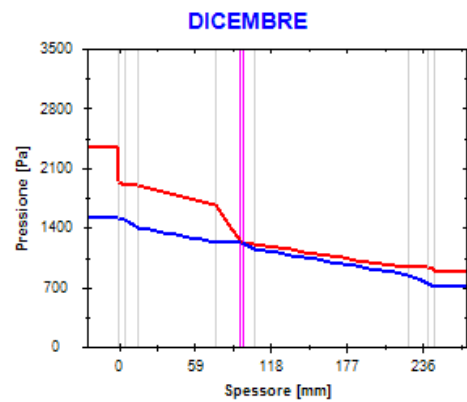
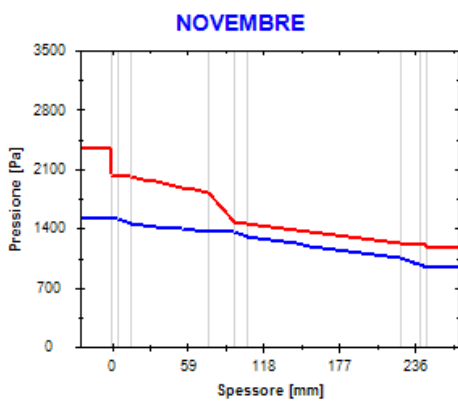
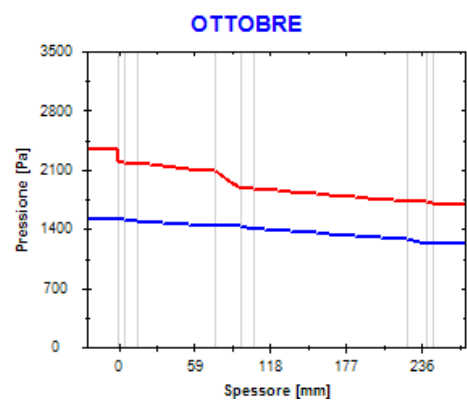
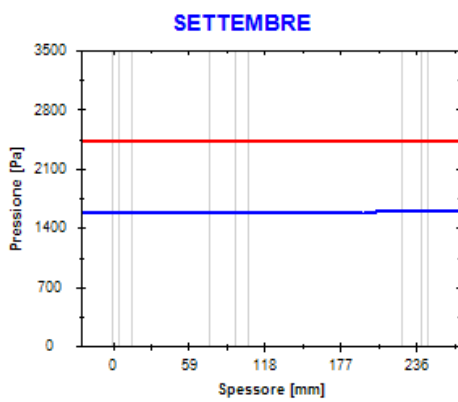
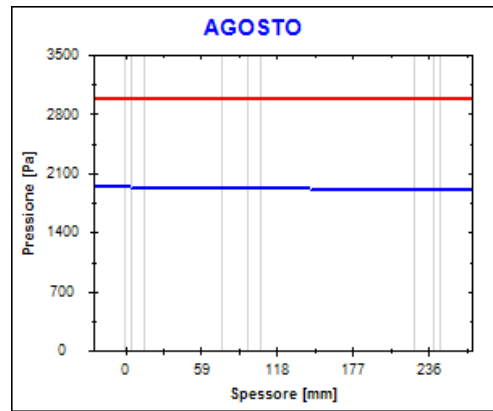
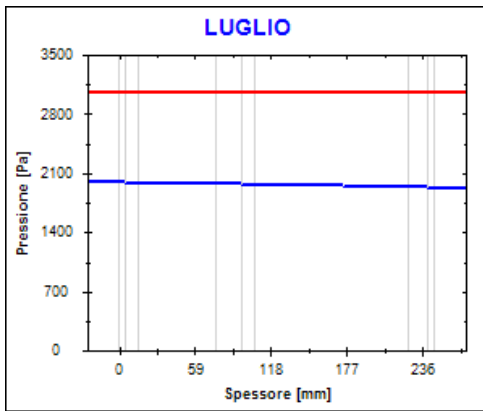
Distribuzione della pressione di saturazione nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425
<i>Int.</i>	2188	2033	1926	1891	1937	2041	2162	2055	2642	3055	2964	2425
1	2179	2017	1905	1868	1916	2025	2153	2054	2642	3055	2964	2425
2	2175	2009	1894	1857	1905	2018	2148	2054	2642	3055	2964	2425
3	2081	1828	1661	1607	1676	1841	2038	2049	2642	3055	2964	2425
4	1880	1471	1223	1147	1245	1490	1808	2037	2642	3055	2964	2425
5	1877	1465	1215	1139	1238	1484	1804	2036	2642	3055	2964	2425
6	1725	1219	937	854	961	1243	1633	2026	2642	3055	2964	2425
7	1720	1211	928	846	953	1235	1627	2026	2642	3055	2964	2425
8	1712	1199	915	833	940	1223	1619	2026	2642	3055	2964	2425
<i>Est.</i>	1693	1171	884	801	909	1195	1598	2024	2642	3055	2964	2425

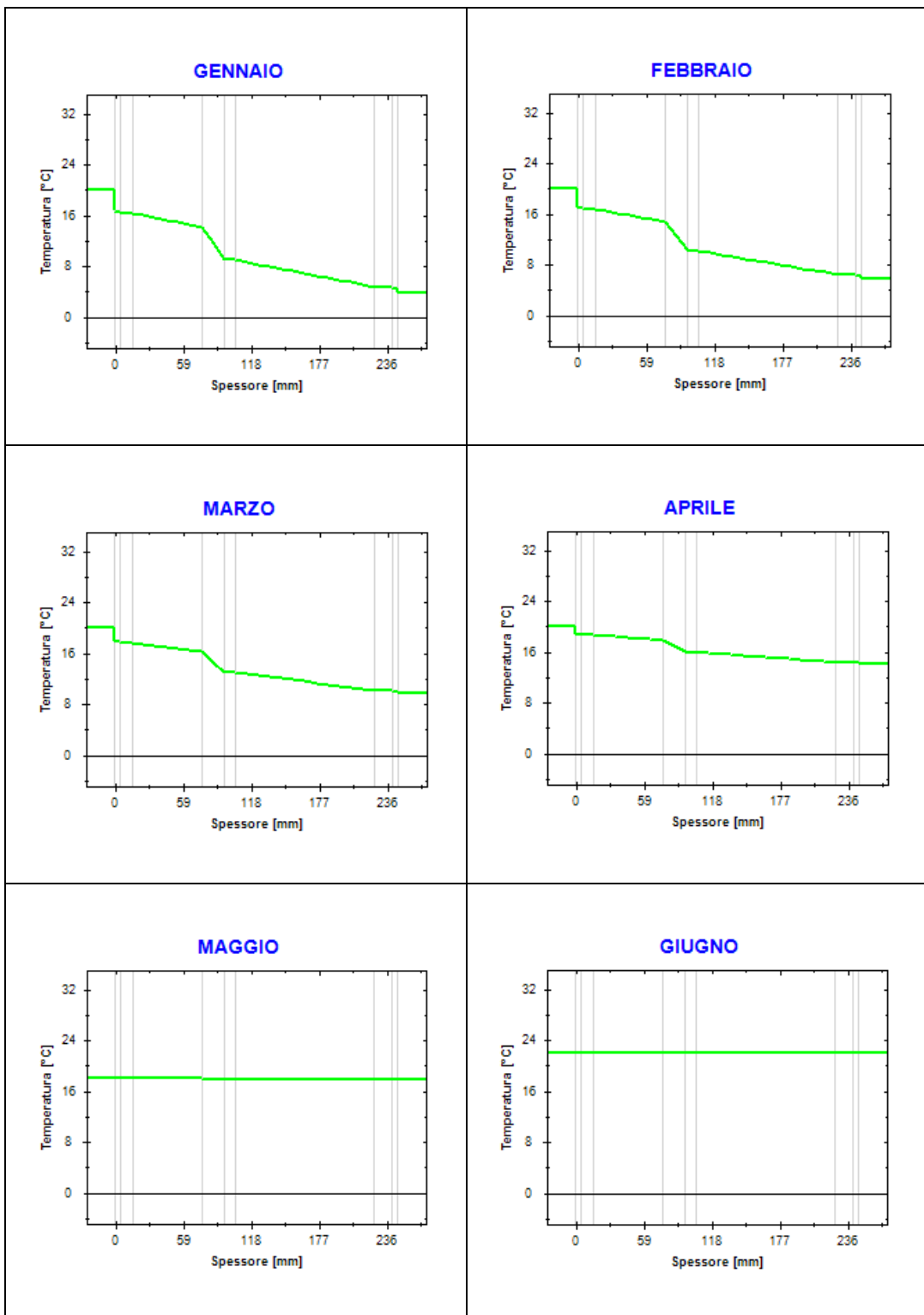
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

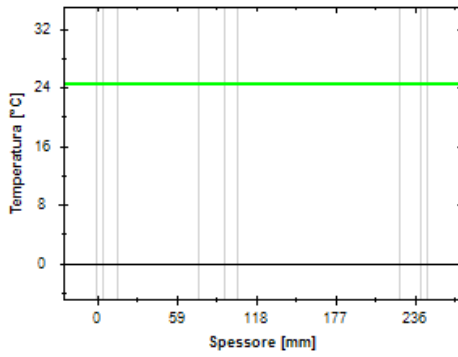




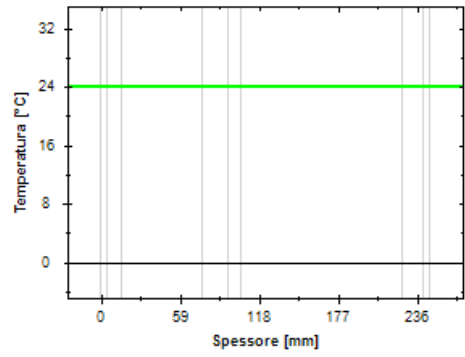
Grafici mensili delle temperature [°C]



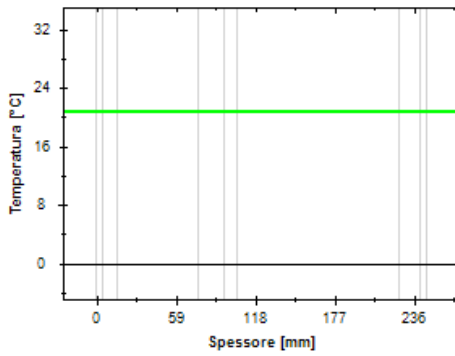
LUGLIO



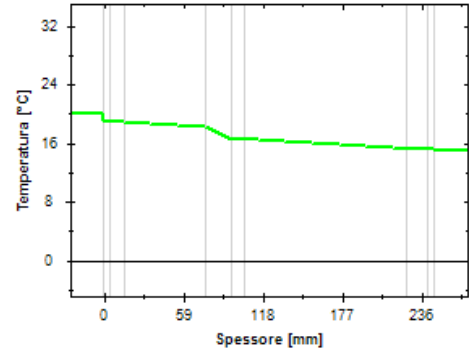
AGOSTO



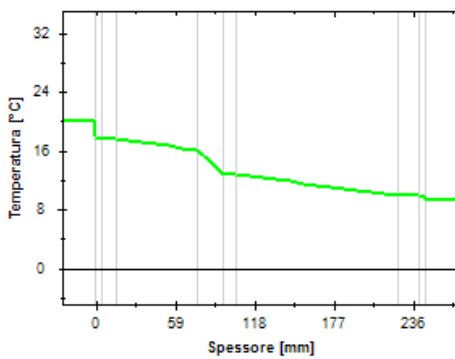
SETTEMBRE



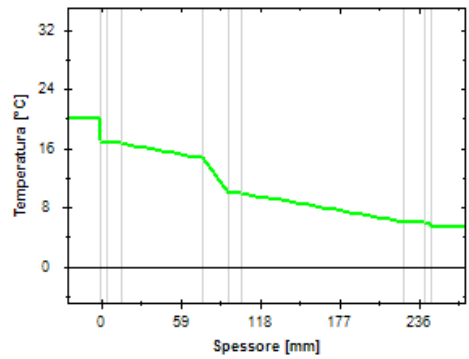
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



Pavimento su porticato

La struttura è soggetta a fenomeni di condensa superficiale e di condensa interstiziale, ma la quantità è rievaporabile durante la stagione estiva.

Risultati mensili della verifica della condensa superficiale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	P_{int} [Pa]	P_{est} [Pa]	θ_{acc} [°C]	P_{acc} [Pa]	f_{RSI} [-]
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	1519	1216	16.7	1899	0.351
<i>novembre</i>	20.0	9.3	1519	935	16.7	1899	0.691
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	1519	707	16.7	1899	0.776
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	1519	705	16.7	1899	0.796
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	1519	665	16.7	1899	0.770
<i>marzo</i>	20.0	9.6	1519	798	16.7	1899	0.682
<i>aprile</i>	20.0	14.0	1519	952	16.7	1899	0.448

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
P_{int}	Pressione dell'ambiente interno
P_{est}	Pressione dell'ambiente esterno
θ_{acc}	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
P_{acc}	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
f_{RSI}	Fattore di temperatura superficiale

Risultati mensili della verifica della condensa interstiziale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	ϕ_{int} [%]	ϕ_{est} [%]	g_c [g/m ²]	Ma [g/m ²]	Periodi	Stato
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	65	72	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>novembre</i>	20.0	9.3	65	80	0.6	1	1	<i>Condensa</i>
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	65	80	1.1	2	1	<i>Condensa</i>
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	65	88	1.2	3	1	<i>Condensa</i>
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	65	73	1.0	4	1	<i>Condensa</i>
<i>marzo</i>	20.0	9.6	65	67	0.5	4	1	<i>Condensa</i>
<i>aprile</i>	20.0	14.0	65	60	-0.2	4	1	<i>Essiccazione</i>
<i>maggio</i>	18.0	17.7	65	69	-1.2	3	1	<i>Essiccazione</i>
<i>giugno</i>	22.0	22.0	65	63	-1.6	1	1	<i>Essiccazione</i>
<i>luglio</i>	24.4	24.4	65	63	-1.4	0	2	<i>Essiccazione</i>
<i>agosto</i>	23.9	23.9	65	64	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>
<i>settembre</i>	20.6	20.6	65	65	0.0	0	1	<i>Asciutto</i>

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
φ_{int}	Umidità relativa dell'ambiente interno
φ_{est}	Umidità relativa dell'ambiente esterno
g_c	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
M_a	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
Periodi	Periodi del mese

Distribuzione della temperatura nella struttura [°C]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Int.</i>	19.5	18.9	18.5	18.4	18.5	18.9	19.4	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
1	19.5	18.9	18.4	18.3	18.5	18.9	19.4	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
2	18.8	17.5	16.6	16.2	16.7	17.6	18.6	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
3	18.7	17.4	16.4	16.0	16.5	17.5	18.5	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
4	18.7	17.3	16.3	15.9	16.4	17.4	18.5	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
5	18.1	16.0	14.5	14.0	14.6	16.1	17.8	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
6	15.0	9.5	5.4	4.1	5.8	9.8	14.1	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
7	15.0	9.5	5.4	4.1	5.8	9.8	14.1	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
8	14.9	9.3	5.2	3.8	5.6	9.6	14.0	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Est.</i>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

Distribuzione della pressione parziale del vapore nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
<i>Int.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
1	1515	1189	907	826	932	1213	1607	2016	2630	3040	1926	1576
2	1515	1189	907	825	931	1212	1607	2016	2631	3041	1926	1576
3	1515	1188	905	823	930	1211	1607	2018	2634	3044	1926	1576
4	1514	1186	902	820	927	1210	1607	2022	2638	3049	1926	1576
5	1514	1185	899	817	924	1208	1608	2025	2642	3054	1926	1576
6	1514	1185	899	816	924	1208	1608	2025	2642	3055	1926	1576
7	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
8	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
<i>Est.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576

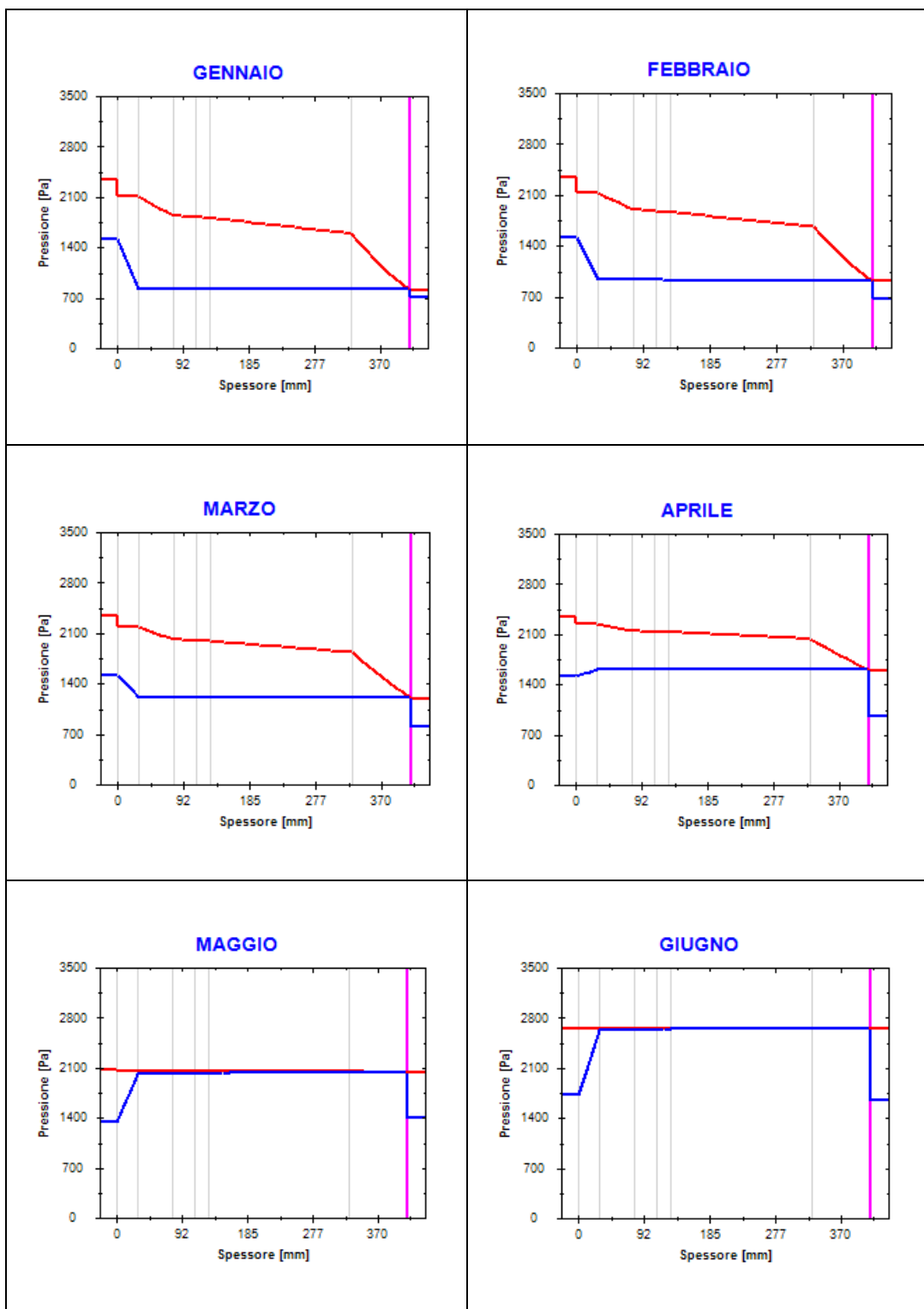
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

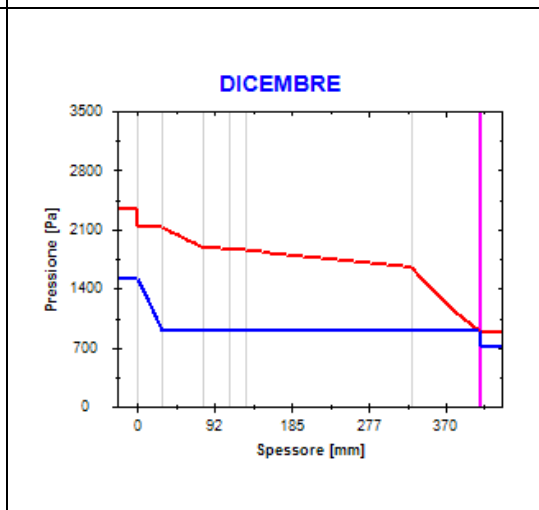
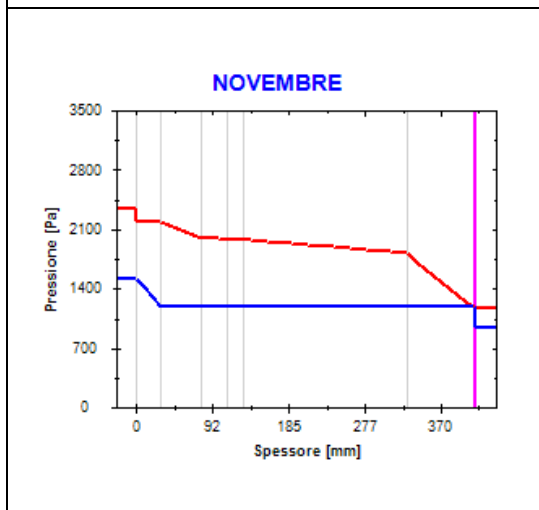
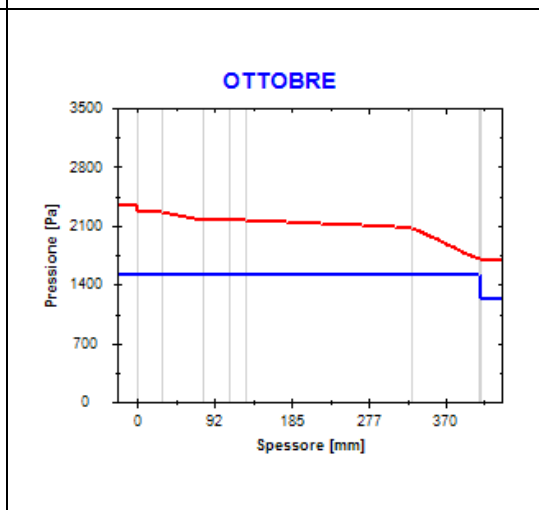
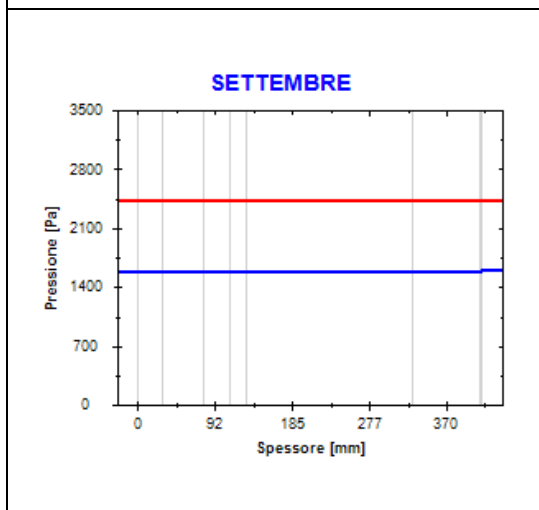
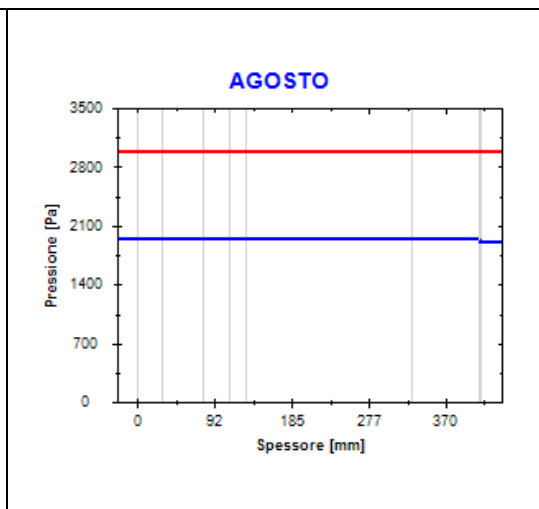
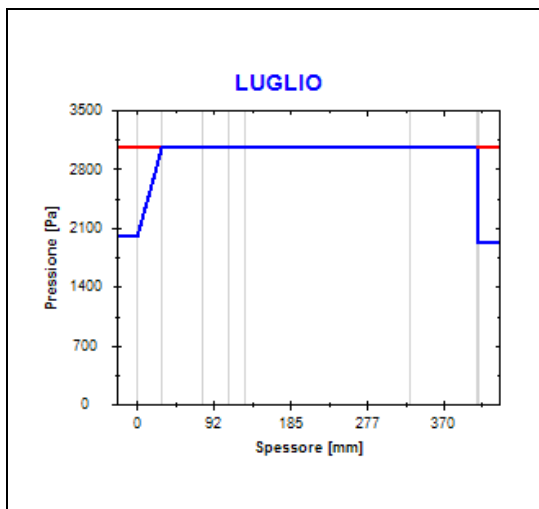
Distribuzione della pressione di saturazione nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425
<i>Int.</i>	2263	2185	2129	2110	2134	2189	2251	2059	2642	3055	2964	2425
1	2260	2179	2121	2102	2127	2183	2247	2059	2642	3055	2964	2425
2	2171	2002	1885	1846	1896	2010	2143	2054	2642	3055	2964	2425
3	2162	1983	1861	1821	1873	1993	2132	2053	2642	3055	2964	2425
4	2158	1976	1851	1810	1863	1986	2128	2053	2642	3055	2964	2425
5	2075	1818	1648	1593	1664	1831	2032	2048	2642	3055	2964	2425
6	1702	1185	899	816	924	1208	1608	2025	2642	3055	2964	2425
7	1702	1185	899	816	924	1208	1608	2025	2642	3055	2964	2425
8	1693	1171	884	801	909	1195	1598	2024	2642	3055	2964	2425
<i>Est.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425

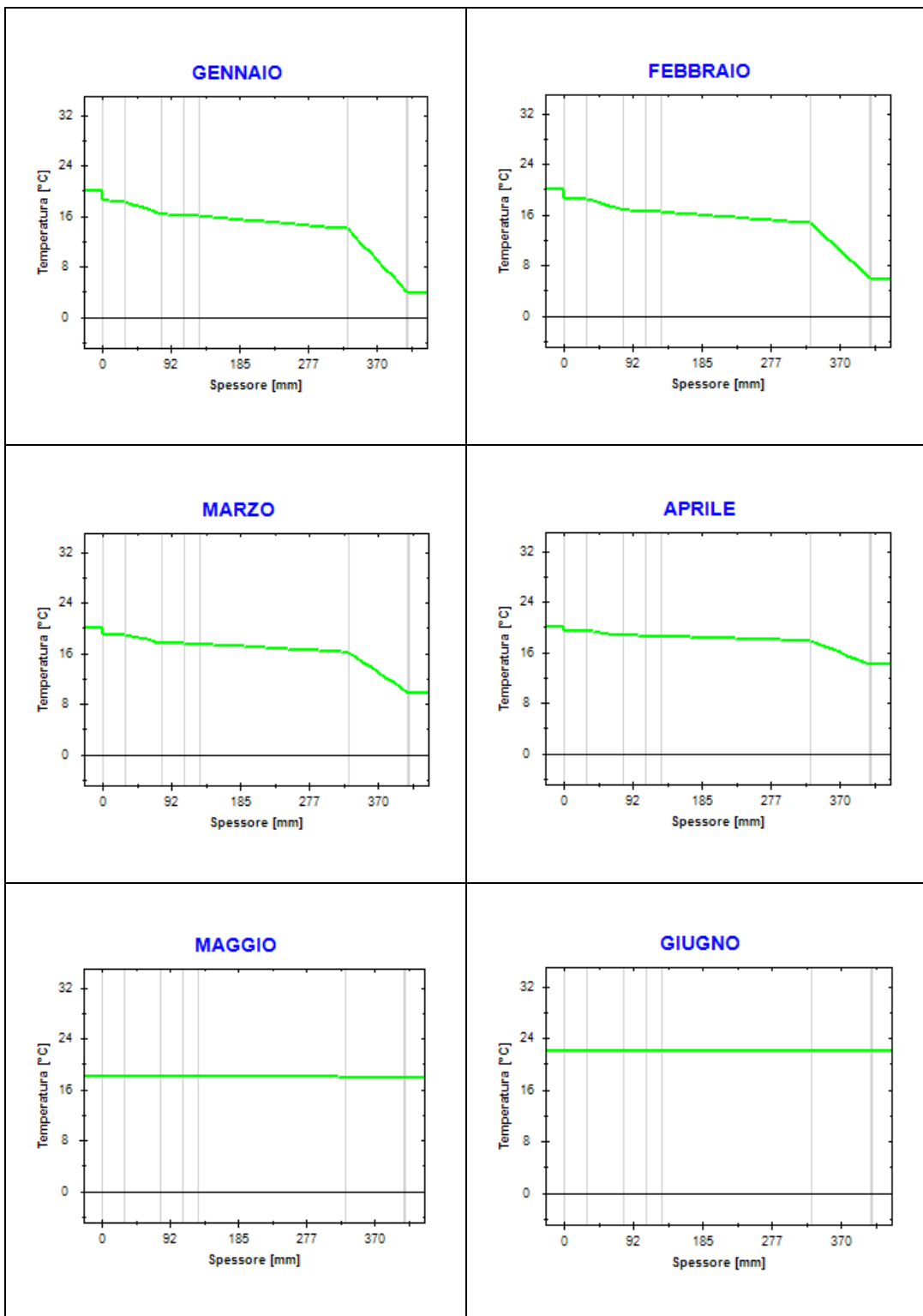
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.= ambiente esterno

Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

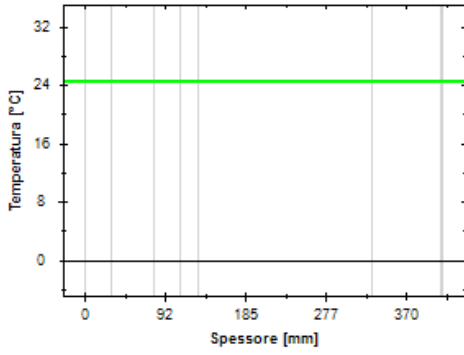




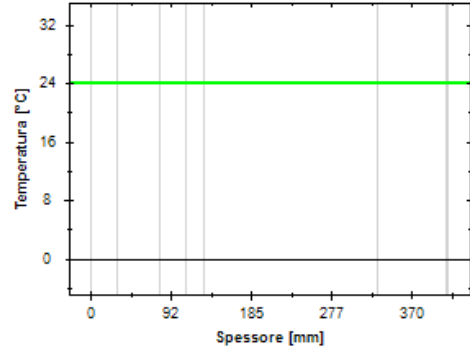
Grafici mensili delle temperature [°C]



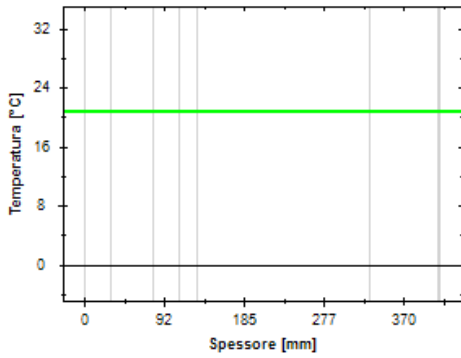
LUGLIO



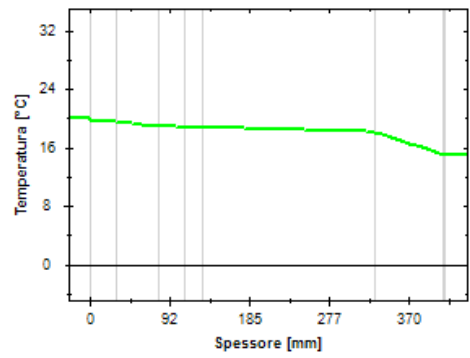
AGOSTO



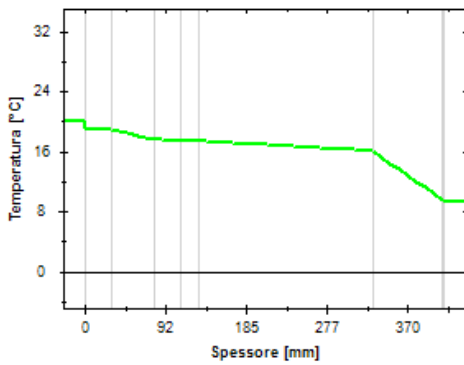
SETTEMBRE



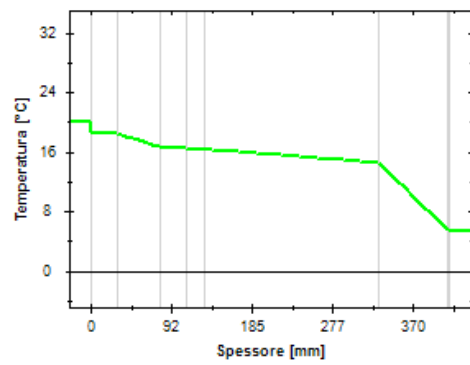
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



3.3.6 Calcolo della potenza termica

In inverno la temperatura interna degli edifici è superiore a quella esterna per cui si determina un flusso di calore che tende a migrare dall'interno verso l'esterno attraverso l'involucro dell'edificio, ossia attraverso le chiusure verticali (pareti perimetrali verticali), le chiusure orizzontali superiori (coperture) e le chiusure orizzontali inferiori (solai contro terra). Questo flusso di calore determina delle dispersioni di calore per compensare le quali è necessario fornire calore attraverso impianti di riscaldamento, allo scopo di garantire il comfort e il benessere termoigrometrico negli spazi abitati. La quantità di calore che deve essere fornita all'ambiente interno per mantenere la temperatura di progetto tale da garantire il benessere (in genere 20°C) è definita fabbisogno di calore o fabbisogno termico (UNI EN 12831) per potenza termica dispersa per trasmissione di calore attraverso i componenti opachi e finestrati e per ventilazione. Per soddisfare il fabbisogno di calore occorre un sistema di riscaldamento che fornisca energia termica: il fabbisogno energetico è la quantità di energia che deve essere fornita dal sistema di riscaldamento per soddisfare il fabbisogno di calore e dipende dunque dal rendimento energetico degli impianti. Il rendimento energetico di un edificio (direttiva 2002/91/CE) è la quantità di energia effettivamente consumata o che si prevede possa essere necessaria per soddisfare i bisogni di riscaldamento, riscaldamento di acqua calda sanitaria, raffrescamento, ventilazione e illuminazione. Il rendimento energetico degli edifici deve dunque essere calcolato tenendo conto della coibentazione, del tipo di riscaldamento e condizionamento, dell'impiego delle fonti rinnovabili di energia. Per calcolare il flusso di calore si ipotizza una situazione costante, in corrispondenza del massimo fabbisogno prevedibile, ossia per il valore minimo di temperatura esterna, desunta dalla temperatura esterna minima di progetto definita dalla normativa in relazione alle diverse località. Le temperature interne minime di progetto da considerare dipendono dalla destinazione d'uso dell'edificio e sono definite dal DPR 412/93. Le dispersioni di calore che devono essere considerate sono relative a:

- trasmissione attraverso l'involucro verso l'esterno;
- trasmissione attraverso le chiusure verso ambienti non riscaldati;
- ponti termici;
- ventilazione dei locali;
- fasi di accensione e di spegnimento durante una giornata dell'impianto.

Dati climatici della località

Località	Treviglio
Provincia	Bergamo
Altitudine s.l.m.	125 m
Gradi giorno	2237
Zona climatica	E
Temperatura esterna di progetto	- 5.0 °C

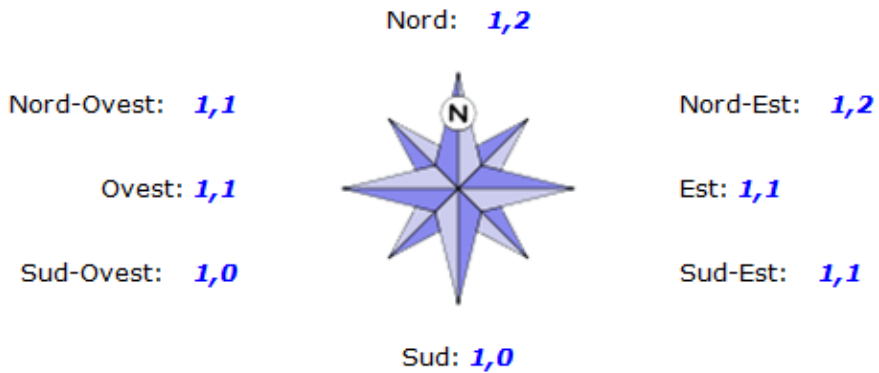
Dati geometrici dell'intero edificio

Superficie in pianta netta	3956.76 m ²
Superficie esterna lorda	8810.50 m ²
Volume netto	11078.93 m ³
Volume lordo	15125.35 m ³
Rapporto S/V	0.58 m ⁻¹

Opzioni di calcolo

Metodologia di calcolo	Vicini presenti
Coefficiente di sicurezza adottato	1.12 –

Coefficienti di esposizione solare



La potenza dispersa per trasmissione ϕ_{tr} è un valore istantaneo e si calcola nel modo seguente:

$$\phi_{tr} = \text{Sup} \cdot (T_i - T_e) \cdot U \cdot e_k$$

Dove:

ϕ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione [W]
Sup	Superficie disperdente [m ²]
T_i	Temperatura di progetto della zona termica interna considerata, nel nostro caso pari a 20 °C [°C]
T_e	Temperatura dell'ambiente esterno della zona climatica considerata [°C]
e_k	Coefficiente di dispersione solare dovuto all'orientamento [%]

Nel caso del nostro edificio, i valori delle dispersioni per trasmissione, raggruppate per esposizione, sono le seguenti:

Prospetto Nord – Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	692,61	10985	4,2
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	280,22	7296	2,8
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	61,59	1711	0,7
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	66,57	2242	0,9
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	128,43	77	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	128,43	212	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	513,72	8399	3,2
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	475,14	4989	1,9
Finestra 890 x 1525	4,344	-5,0	25,0	40,72	5307	2,0
Finestra 1390 x 1525	4,268	-5,0	25,0	63,64	8149	3,1
Porta Finestra 1890 x 2425	3,940	-5,0	25,0	82,42	9743	3,7
Totale					59110	22,7

Prospetto Sud – Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	537,69	7818	3,0
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	381,15	9097	3,5
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	49,27	1255	0,5
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	50,31	1553	0,6
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	115,83	64	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	115,83	175	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	463,32	6944	2,7
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	359,42	3459	1,3
Finestra 890 x 1525	4,344	-5,0	25,0	32,58	3892	1,5
Finestra 1390 x 1525	4,268	-5,0	25,0	50,91	5976	2,3
Porta Finestra 1890 x 2425	3,940	-5,0	25,0	54,95	5954	2,3
Totale					46186	17,7

Prospetto Sud – Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	750,15	10411	4,0
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	299,84	6831	2,6
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	61,59	1497	0,6
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	59,21	1744	0,7
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	133,11	70	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	133,11	192	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	532,44	7617	2,9
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	423,41	3890	1,5
Finestra 890 x 1525	4,344	-5,0	25,0	40,72	4643	1,8
Finestra 1390 x 1525	4,268	-5,0	25,0	63,64	7130	2,7
Porta Finestra 1890 x 2425	3,940	-5,0	25,0	54,95	5683	2,2

Totale 49710 19,1

Prospetto Nord – Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	650,32	9885	3,8
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	258,14	6441	2,5
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	49,27	1312	0,5
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	46,63	1505	0,6
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	113,17	65	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	113,17	179	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	452,68	7093	2,7
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	333,55	3356	1,3
Finestra 890 x 1525	4,344	-5,0	25,0	32,58	4068	1,6
Finestra 1390 x 1525	4,268	-5,0	25,0	50,91	6248	2,4
Porta Finestra 1890 x 2425	3,940	-5,0	25,0	41,21	4669	1,8

Totale 44820 17,2

Prospetto Orizzontale

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
<i>Pavimento su porticato</i>	0,418	-5,0	25,0	618,14	6461	2,5
<i>Pavimento su box</i>	0,972	5,0	15,0	927,30	13518	5,2
<i>Soffitto sotto tetto</i>	1,183	5,0	15,0	1545,45	27414	10,5
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	-5,0	25,0	688,91	207	0,1
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	-5,0	25,0	688,91	720	0,3

Totale 48320 18,5

Prospetto non disperdente

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
<i>Muro perimetrale</i>	0,529	-5,0	25,0	34,02	450	0,2
<i>Muro su vano scala</i>	0,811	8,0	12,0	822,22	8001	3,1
<i>Porta ingresso alloggio</i>	1,911	8,0	12,0	62,37	1430	0,5
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	-5,0	25,0	93,88	23	0,0
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	-5,0	25,0	93,88	62	0,0
<i>IF - Parete - Solaio interpiano</i>	0,545	-5,0	25,0	375,52	2456	0,9

Totale 12421 4,8

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica di un elemento disperdente [W/m ² K]
Ψ	Trasmittanza termica lineica di un ponte termico [W/m ² K]
T _e	Temperatura di esposizione dell'elemento [°C]
ΔT	Differenza tra la temperatura esterna di progetto e quella interna [°C]
Sup.	Superficie di un elemento disperdente [m ²]
Lungh.	Lunghezza di un ponte termico [m]
Φ _{tr}	Potenza dispersa per trasmissione [W]
%Φ _{Tot}	Rapporto percentuale tra il Φ _{tr} dell'elemento e il totale dei Φ _{tr}

La potenza dispersa per ventilazione φ_{ve} riferita al volume netto dell'edificio si calcola nel modo seguente:

$$\phi_{ve} = V_{netto} \cdot (T_i - T_e) \cdot n$$

Dove:

φ _{ve}	Potenza dispersa per ventilazione [W]
V _{netto}	Volume netto della zona termica [m ³]

T_i	Temperatura di progetto della zona termica interna considerata, nel nostro caso pari a 20 °C [°C]
T_e	Temperatura dell'ambiente esterno della zona climatica considerata [°C]
n	Numero di ricambi d'aria [1/h]

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni per ventilazione è il seguente:

Descrizione zona termica	V_{netto} [m ³]	Φ_{ve} [W]
Zona 1	11078,9	46162
Totale		46162

Legenda simboli

V_{netto}	Volume netto della zona termica
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione

La potenza dispersa per intermittenza ϕ_{rh} riferita alle fasi di accensione e di spegnimento dell'impianto si calcola nel modo seguente:

$$\phi_{\text{rh}} = S_u \cdot f_{\text{rh}}$$

Dove:

ϕ_{rh}	Potenza dispersa per intermittenza [W]
S_u	Superficie disperdente [m ²]
f_{rh}	Fattore di ripresa [°C]

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni per intermittenza è il seguente:

Descrizione zona termica	S_u [m ²]	f_{RH} [-]	Φ_{rh} [W]
Zona 1	3956,76	6	23741
Totale			23741

Legenda simboli

S_u	Superficie in pianta netta della zona termica
f_{rh}	Fattore di ripresa
ϕ_{ve}	Potenza dispersa per intermittenza

Le dispersioni totali sono date dalla somma delle singole dispersioni, moltiplicate per il coefficiente di sicurezza:

$$\phi_{\text{hl,sic}} = (\phi_{\text{tr}} + \phi_{\text{ve}} + \phi_{\text{rh}}) \cdot 1.12$$

Dove:

$\Phi_{hl,sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza [W]
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione [W]
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione [W]
Φ_{rh}	Potenza dispersa per intermittenza [W]
1.12	Coefficiente di sicurezza adottato

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni totali è il seguente:

Descrizione zona termica	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl,sic}$ [W]
Zona 1	330470	370126
Totale	330470	370126

Legenda simboli

Φ_{hl}	Potenza totale dispersa
$\Phi_{hl,sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

3.3.7 Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro

Gli edifici consumano energia per soddisfare bisogni diversi, quali:

- climatizzazione invernale e produzione di acqua calda per usi igienico-sanitari;
- climatizzazione estiva;
- ventilazione;
- illuminazione;
- impianti tecnici in genere (ascensori e montacarichi, distribuzione acqua, ecc.).

I consumi di energia riguardano:

- energia primaria ottenuta da combustibili fossili;
- energia elettrica, convertibile in energia primaria equivalente, in base al rendimento del sistema elettrico nazionale.

Nelle terminologia adottata nelle presenti raccomandazioni si introduce la distinzione tra:

- fabbisogno: quantità di energia calcolata riferita ad un periodo prefissato (giorno, mese, stagione);
- consumo: quantità di energia o quantità equivalente di combustibile rilevata con metodi unificati in un periodo prefissato (giorno, mese, stagione).

Secondo la normativa tecnica vigente, la determinazione dei fabbisogni di energia per la climatizzazione invernale è basata su due procedure di calcolo atte a determinare, rispettivamente:

- il fabbisogno di calore, o più correttamente di energia termica utile, dell'involucro edilizio in condizioni ideali (temperatura uniforme in tutto il volume riscaldato) Q_h in un periodo prefissato;
- il fabbisogno di energia primaria Q nello stesso periodo prefissato, per produrre l'energia termica Q_h in base al tipo e alle caratteristiche del sistema di riscaldamento previsto o installato.

Ai fini della determinazione dei due fabbisogni in modo unificato, ripetibile e riproducibile è necessario definire, secondo uno standard, tutti i dati di ingresso da utilizzare nelle due procedure di calcolo. Le due procedure sono utilizzate in cascata e il valore di Q_h è il dato fondamentale di ingresso per la procedura di calcolo del fabbisogno di energia primaria. Le indeterminazioni nella definizione dei dati di ingresso per il calcolo di Q_h si ripercuotono nella determinazione di Q , interagendo con le indeterminazioni nei dati di ingresso della seconda procedura di calcolo. Le condizioni affinché i due valori di Q_h e Q siano dei parametri effettivamente utilizzabili ai fini di valutazioni del fabbisogno energetico di riferimento sono:

- indipendenza dall'andamento stagionale specifico, facendo riferimento a dati climatici medi stagionali unificati;
- indipendenza da particolari modalità di occupazione dell'edificio e di utilizzo ed esercizio degli impianti.

Solo in queste condizioni si possono utilizzare i valori di Q_h e Q per definire fabbisogni specifici riferiti al volume, alla superficie o ad altri enti geometrici dell'edificio, per paragonare dati di involucri edilizi diversi o per valutare l'influenza di sistemi diversi di riscaldamento sui consumi dello stesso involucro edilizio. Una fonte indipendente di dati per ottenere informazioni sul comportamento energetico di un complesso edificio-impianto per quanto attiene al riscaldamento ambientale ed alla preparazione di acqua calda sanitaria sono i rilievi dei consumi effettivi.

Le condizioni affinché i dati di consumo rilevati possano essere correttamente utilizzati come valori di confronto sono:

- la definizione di criteri unificati per attribuire i consumi al periodo di tempo prefissato e modalità, anch'esse unificate, per convertire i consumi in portate volumetriche o di massa e quindi in equivalenti energetici;
- la definizione di criteri unificati per attribuire separatamente al riscaldamento e alla produzione di acqua calda sanitaria i relativi consumi, nel caso di utenze promiscue.

In ogni caso i consumi rilevati sono influenzati dalle specifiche modalità di esercizio e di utilizzo degli impianti, condizioni entrambe difficilmente accertabili, e non possono costituire da sole parametri di valutazione del comportamento energetico degli edifici e dei complessi edificio-impianto.

Per quanto riguarda l'edificio in esame, abbiamo recuperato i consumi storici di gas metano dell'impianto di riscaldamento centrale delle seguenti stagioni:

- anno 2007/2008: 70410.00 Nmc/anno;
- anno 2008/2009: 65600.00 Nmc/anno;
- anno 2009/2010: 67407.00 Nmc/anno;
- anno 2010/2011: 64445.00 Nmc/anno;

Ottenendo un valore medio di riferimento pari a 66965.50 Nmc/anno.

Abbiamo recuperato anche i consumi storici di energia elettrica sempre dell'impianto di riscaldamento centrale, ottenendo un valore medio di riferimento pari a 5000.00 (kW/h)/anno.

L'impianto di riscaldamento è caratterizzato da due circuiti principali e uno di riserva con centralina elettronica agente con sonda esterna e su mandata: in funzione delle condizioni climatiche esterne regola la temperatura del fluido termovettore ai corpi scaldanti mediante valvole miscelatrici a tre vie del tipo a pistone con servocomando (Figura 3.19). L'impianto è unico e serve l'intero complesso edilizio costituiti da n. 6 vani scala per 54 alloggi su tre piani fuori terra e complessivi 270 vani riscaldati; comprende una caldaia in acciaio (Figura 3.20) a combustione pressurizzata di tipo standard a temperatura costante (valore oscillante tra $T_{mandata} = 70^{\circ}\text{C} / 80^{\circ}\text{C}$), adatta a funzionare sia con combustibili liquidi che gassosi, con un rendimento di combustione dell'86%, e un bruciatore a metano del tipo bistadio.



Figura 3.19 Circuiti dell'impianto di riscaldamento, con valvole miscelatrici di regolazione



Figura 3.20 Caldaia in acciaio di tipo standard e bruciatore a metano del tipo bistadio

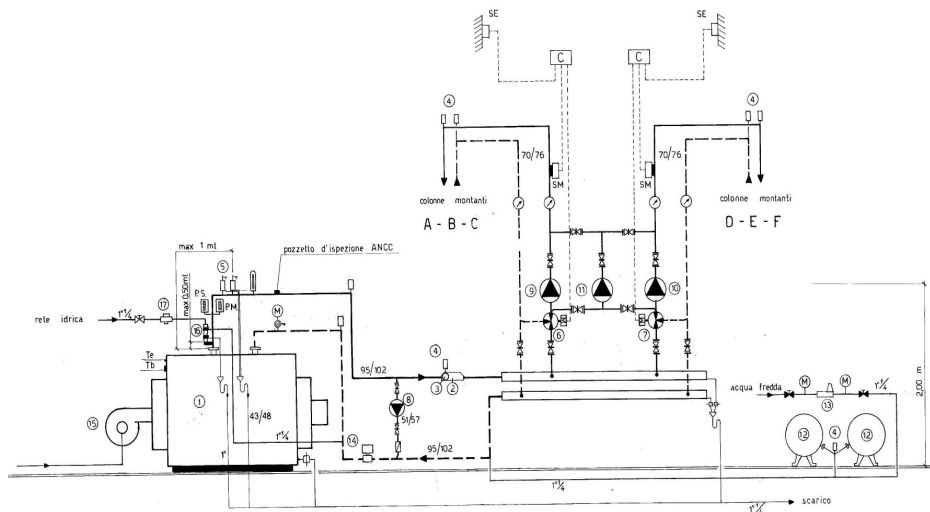


Figura 3.21 Schema centrale termica

La distribuzione nei singoli alloggi è caratterizzata dalla presenza di circuiti monotubo con stacco al piano sul montante.

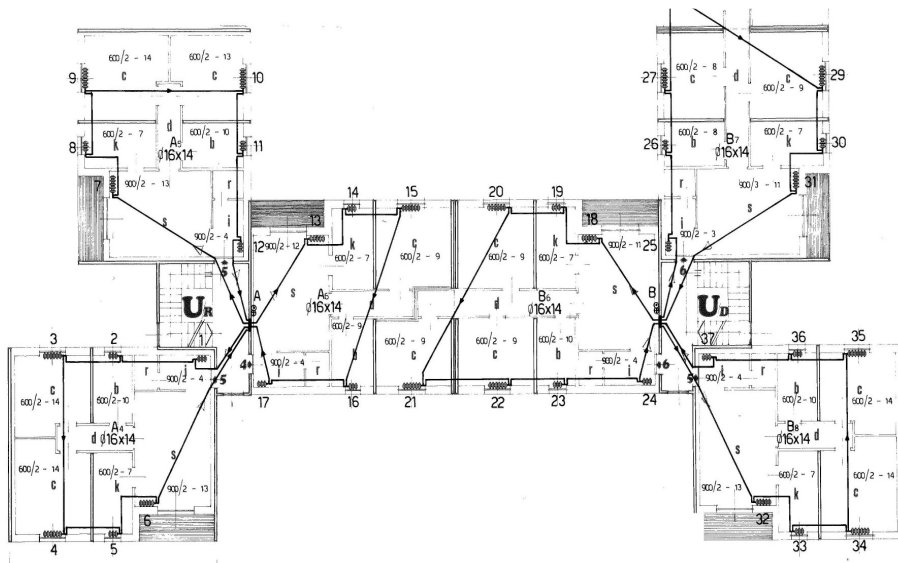


Figura 3.22 Schema impianto monotubo ad anello con radiatori in acciaio a colonne

Per procedere con il calcolo del fabbisogno energetico, bisogna tenere conto di alcune informazioni riguardanti l'edificio e il suo contorno:

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo
 Stagione di calcolo
 Durata della stagione

Vicini presenti
 Convenzionale, dal 15 Ottobre al 15 Aprile
 183 giorni

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta 3956.76 m²
 Superficie esterna lorda 8810.50 m²
 Volume netto 11078.93 m³
 Volume lordo 15125.35 m³
 Rapporto S/V 0.58 m⁻¹

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	3,8	5,6	9,6	13,0	-	-	-	-	-	13,5	9,3	5,2
N° giorni	-	31	28	31	15	-	-	-	-	-	17	30	31

Irradiazione solare giornaliera media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,4	3,6	5,3	7,6	9,2	9,1	6,4	4,2	2,9	1,8	1,4
Nord-Est	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Est	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Sud-Est	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Sud	MJ/m ²	6,7	8,9	10,9	10,5	9,8	9,6	10,5	11,2	11,7	10,9	7,0	6,4
Sud-Ovest	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Ovest	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Orizzontale	MJ/m ²	4,0	6,8	11,3	15,9	19,5	21,6	23,2	19,1	13,9	8,7	4,6	3,6

Il calcolo dell'energia primaria necessaria per mantenere le condizioni di comfort all'interno dell'edificio si basa sulla valutazione del bilancio energetico, che prende in considerazione:

- energia dispersa per trasmissione con l'ambiente esterno;
- energia dispersa per trasmissione con il terreno;
- energia dispersa per ventilazione;
- energia immessa (apporti gratuiti) dovuta a sorgenti interne (luci, persone, apparecchiature);
- energia immessa (apporti gratuiti) per radiazione solare attraverso le superfici opache;
- energia immessa (apporti gratuiti) per radiazione solare attraverso le superfici vetrate;

Il fabbisogno energetico dell'involucro $Q_{H,nd}$ (kWh) viene calcolato ai sensi della norma UNI TS 11300-1 attraverso un bilancio energetico fra dispersioni e guadagni di calore per la zona termica considerata (Figura 2.15) che, nel nostro caso, è costituita dal totale dei 54 alloggi, per mantenere il livello di temperatura interna degli ambienti alla temperatura di progetto, ovvero:

$$Q_{H,nd} = (Q_{H,ht}) - [\eta_{H,gn} (Q_{gn})] = (Q_{H,tr} + Q_{H,ve}) - [\eta_{H,gn} (Q_{int} + Q_{sol})]$$

dove:

$Q_{H,nd}$	Fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio per riscaldamento
$Q_{H,ht}$	Scambio termico totale nel caso del riscaldamento (= $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$)
$Q_{H,tr}$	Scambio termico per trasmissione nel caso del riscaldamento
$Q_{H,ve}$	Scambio termico per ventilazione nel caso del riscaldamento
Q_{gn}	Apporti termici totale apporti gratuiti (= $Q_{sol} + Q_{int}$)
Q_{sol}	Apporti termici solari
Q_{int}	Apporti termici interni
$\eta_{H,gn}$	Fattore di utilizzazione degli apporti termici.

Analogamente per il calcolo dell'energia termica per il raffrescamento:

$$Q_{C,nd} = Q_{gn} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht} = (Q_{int} + Q_{sol}) - \eta_{C,ls} \cdot (Q_{C,tr} + Q_{C,ve})$$

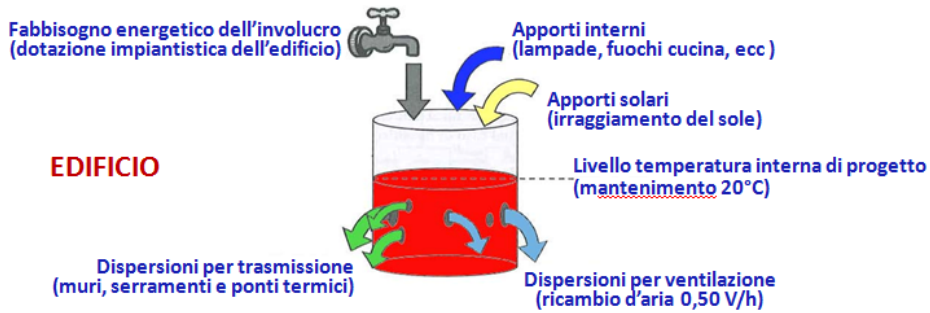


Figura 3.23 Analogia idraulica del sistema edificio-impianto: la quantità di energia da fornire tramite l'impianto è l'apporto termico necessario per bilanciare dispersioni e apporti gratuiti in modo da raggiungere negli ambienti interni la temperatura di progetto

3.3.7.1 Calcolo degli scambi termici

Per ogni zona dell'edificio e per ogni mese, gli scambi termici sia per il riscaldamento e sia per il raffrescamento, sono calcolati con le seguenti formule.

Nel caso del riscaldamento:

$$Q_{H,tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t + \left\{ \sum_k F_{r,k} \cdot \varphi_{r,mn,k} \right\} \cdot t$$

$$Q_{H,ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t$$

Nel caso del raffrescamento:

$$Q_{C,tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t + \left\{ \sum_k F_{r,k} \cdot \varphi_{r,mn,k} \right\} \cdot t$$

$$Q_{C,ve} = H_{ve,adj} \cdot X \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t$$

Dove:

$H_{tr,adj}$	Coefficiente globale di scambio termico per trasmissione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno
$H_{ve,adj}$	Coefficiente globale di scambio termico per ventilazione della zona considerata, corretto per tenere conto della differenza di temperatura interno-esterno
$\theta_{int,set,H}$	Temperatura interna di regolazione per il riscaldamento della zona considerata
$\theta_{int,set,C}$	Temperatura interna di regolazione per il raffrescamento della zona considerata
θ_e	Temperatura media mensile dell'ambiente esterno
$F_{r,k}$	Fattore di forma tra il componente edilizio k -esimo e la volta celeste
$\Phi_{r,mn,k}$	Extra flusso termico dovuto alla radiazione infrarossa verso la volta celeste dal componente edilizio k -esimo, mediato sul tempo)
t	Durata del mese considerato.

I coefficienti globali di scambio termico si ricavano come:

$$H_{tr,adj} = HT + Hg + HU + HA$$

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a \cdot \{\sum_k \times b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn}\}$$

Dove:

HT	Coefficiente di scambio termico diretto per trasmissione verso l'ambiente esterno
Hg	Coefficiente di scambio termico stazionario per trasmissione verso il terreno
HU	Coefficiente di scambio termico per trasmissione attraverso gli ambienti non climatizzati
HA	Coefficiente di scambio termico per trasmissione verso altre zone (interne o meno all'edificio) climatizzate a temperatura diversa
$\rho_a c_a$	Capacità termica volumica dell'aria, pari a $1200 \text{ J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$
$q_{ve,k,mn}$	Portata mediata sul tempo del flusso d'aria k -esimo
$b_{ve,k}$	Fattore di correzione della temperatura per il flusso d'aria k -esimo ($b_{ve,k} \neq 1$ se la temperatura di mandata non è uguale alla temperatura dell'ambiente esterno, come nel caso di pre-riscaldamento, pre-raffrescamento o di recupero termico dell'aria di ventilazione).

Il calcolo dei coefficienti di scambio termico per trasmissione HT , Hg , HU , HA è effettuato secondo le UNI EN ISO 13789:2008 e UNI EN ISO 13370, e secondo le indicazioni riportate nel punto 11 della UNI TS 11300.

Il calcolo di $F_{r,k}$ e $\Phi_{r,mn,k}$ è effettuato secondo quanto riportato nella UNI EN ISO 13790:2008 e secondo le indicazioni del punto 11.4. delle norme UNI TS 11300.

La portata mediata sul tempo del flusso d'aria k -esimo, $q_{ve,k,mn}$, espressa in m^3/s , si ricava come:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} \cdot q_{ve,k}$$

Dove:

$q_{ve,k}$	Portata sul tempo del flusso d'aria k -esimo
$f_{ve,t,k}$	Frazione di tempo in cui si verifica il flusso d'aria k -esimo (per una situazione permanente: $f_{ve,t,k} = 1$)

La determinazione di $b_{ve,k}$, $q_{ve,k}$ e $f_{ve,t,k}$ è effettuata secondo la UNI EN ISO 13790:2008 e secondo le indicazioni riportate nel punto 12 della norma UNI TS 11300.

Scambio termico verso ambienti non climatizzati

Il coefficiente globale di scambio termico per trasmissione, HU , tra il volume climatizzato e gli ambienti esterni attraverso gli ambienti non climatizzati si ottiene come:

$$HU = H_{iu} \cdot b_{tr,x}$$

dove $b_{tr,x}$ è il fattore di correzione dello scambio termico tra ambienti climatizzato e non climatizzato, diverso da 1 nel caso in cui la temperatura di quest'ultimo sia diversa da quella dell'ambiente esterno.

Si ha:

$$b_{tr,x} = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

Dove:

H_{iu} Coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente climatizzato e l'ambiente non climatizzato

H_{ue} Coefficiente globale di scambio termico tra l'ambiente non climatizzato e l'ambiente esterno.

Per gli edifici esistenti, in assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, i valori del fattore $b_{tr,x}$ si possono assumere dal prospetto 5 delle norma UNI TS 11300-1.

Scambio per ventilazione

Le caratteristiche delle diverse tipologie dei sistemi di ventilazione sono descritte nel CEN/TR 14788. Ulteriori definizioni riguardo alla ventilazione ed all'aerazione sono fornite nella UNI EN 12792.

Nel caso di aerazione o ventilazione naturale:

- per gli edifici residenziali si assume un tasso di ricambio d'aria pari a 0,3 vol/h;
- per tutti gli altri edifici si assumono i tassi di ricambio d'aria riportati nella UNI 10339.

I valori degli indici di affollamento sono assunti pari al 60% di quelli riportati nella suddetta norma ai fini della determinazione della portata di progetto.

Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a semplice flusso (aspirazione) il tasso di ricambio d'aria è fissato pari a:

$$q_{ve} = q_{ve,des} \cdot k$$

dove $q_{ve,des}$ è la portata d'aria di progetto e k è un coefficiente di contemporaneità di utilizzo delle bocchette aspiranti. In assenza di dati di progetto attendibili o comunque di informazioni più precise, si può assumere $k = 1$ per sistemi a portata fissa, $k = 0,6$ per ventilazione igro regolabile.

Per gli edifici dotati di sistemi di ventilazione meccanica a doppio flusso il tasso di ricambio d'aria è fissato pari a:

$$q_{ve} = q_{ve,des} \cdot (1 - \eta_{ve})$$

dove $q_{ve,des}$ è la portata d'aria di progetto del sistema per ventilazione meccanica, η_{ve} è il fattore di efficienza dell'eventuale recuperatore di calore dell'aria (pari a 0 se assente).

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale invernale $Q_{H,nd}$

Nel caso del nostro edificio, i valori dei coefficienti di scambio termico per trasmissione sono i seguenti:

H_T : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso l'esterno

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	H _T [W/K]
Muro perimetrale	0,523	2664,79	1394,4
Quinta perimetrale	0,853	1219,35	1040,5
Muro sotto finestra	0,908	221,72	201,2
Cassonetto	1,098	222,73	244,6
Pavimento su porticato	0,414	618,14	256,1
R - Parete - Copertura	0,020	490,54	9,8
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	766,11	42,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	1962,16	1069,4
W - Parete - Telaio	0,350	1591,51	557,0
Finestra 890 x 1525	3,644	146,60	534,3
Finestra 1390 x 1525	3,579	229,10	820,0
Porta Finestra 1890 x 2425	3,299	233,53	770,4

Totale 6939,9

H_U : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, U} [-]	H _U [W/K]
Muro su vano scala	0,811	822,22	0,48	320,0
Porta ingresso alloggio	1,911	62,37	0,48	57,2
Pavimento su box	0,972	927,30	0,60	540,7
Soffitto sotto tetto	1,183	1545,45	0,60	1096,6
R - Parete - Copertura	0,020	782,79	-	9,2
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	507,22	-	16,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	375,52	-	98,2

Totale 2138,0

H_N : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, N} [-]	H _N [W/K]
Quinta con giunto divisorio alloggio	1,001	841,70	0,00	0,0
Quinta divisorio alloggio	1,268	181,02	0,00	0,0
Pavimento intermedio	0,972	3090,90	0,00	0,0
Soffitto intermedio	1,125	3090,90	0,00	0,0
R - Parete - Copertura	0,020	18,48	-	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	18,48	-	0,0
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	73,92	-	0,0
IW - Parete - Parete interna	-0,008	516,00	-	0,0

Totale 0,0

Zona 1

Nr.	Descrizione locale	V _{netto} [m ³]	n _{e, H} [1/h]	H _{ve} [W/K]
1	Alloggio 1A	204,40	0,30	20,4
2	Alloggio 2A	206,05	0,30	20,6
3	Alloggio 3A	204,20	0,30	20,4
4	Alloggio 1B	205,91	0,30	20,6
5	Alloggio 2B	205,91	0,30	20,6
6	Alloggio 3B	204,20	0,30	20,4
7	Alloggio 1C	204,29	0,30	20,4
8	Alloggio 2B	205,74	0,30	20,6
9	Alloggio 3C	204,29	0,30	20,4
10	Alloggio 1D	204,32	0,30	20,4
11	Alloggio 2D	205,46	0,30	20,5
12	Alloggio 3D	207,03	0,30	20,7
13	Alloggio 1 E	205,69	0,30	20,6
14	Alloggio 2 E	206,70	0,30	20,7
15	Alloggio 3E	204,26	0,30	20,4
16	Alloggio 1 F	204,34	0,30	20,4
17	Alloggio 2 F	204,60	0,30	20,5
18	Alloggio 3 F	205,58	0,30	20,6
19	Alloggio 4 A	204,20	0,30	20,4
20	Alloggio 5 A	206,05	0,30	20,6
21	Alloggio 6 A	204,40	0,30	20,4
22	Alloggio 1 B	204,20	0,30	20,4
23	Alloggio 2 B	205,91	0,30	20,6
24	Alloggio 3 B	205,91	0,30	20,6
25	Alloggio 4 C	204,29	0,30	20,4
26	Alloggio 5 C	205,74	0,30	20,6
27	Alloggio 6 C	204,29	0,30	20,4
28	Alloggio 4 D	204,32	0,30	20,4
29	Alloggio 5 D	205,46	0,30	20,5
30	Alloggio 6 D	207,03	0,30	20,7
31	Alloggio 4 E	205,69	0,30	20,6
32	Alloggio 5 E	206,70	0,30	20,7
33	Alloggio 6 E	204,26	0,30	20,4
34	Alloggio 4 F	204,34	0,30	20,4
35	Alloggio 5 F	204,60	0,30	20,5
36	Alloggio 6 F	205,58	0,30	20,6
37	Alloggio 7 A	204,20	0,30	20,4
38	Alloggio 8 A	206,05	0,30	20,6
39	Alloggio 9 A	204,40	0,30	20,4
40	Alloggio 7 B	204,20	0,30	20,4
41	Alloggio 8 B	205,91	0,30	20,6
42	Alloggio 9 B	205,91	0,30	20,6
43	Alloggio 7 C	204,29	0,30	20,4
44	Alloggio 8 C	205,74	0,30	20,6

45	Alloggio 9 C	204,29	0,30	20,4
46	Alloggio 7 D	204,32	0,30	20,4
47	Alloggio 8 D	205,46	0,30	20,5
48	Alloggio 9 D	207,03	0,30	20,7
49	Alloggio 7 E	205,69	0,30	20,6
50	Alloggio 8 E	206,70	0,30	20,7
51	Alloggio 9 E	204,26	0,30	20,4
52	Alloggio 7 F	204,34	0,30	20,4
53	Alloggio 8 F	204,60	0,30	20,5
54	Alloggio 9 F	205,58	0,30	20,6

Totale 1107,9

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
Sup.	Superficie dell'elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza dell'elemento disperdente
$b_{tr, X}$	Fattore di correzione dello scambio termico
V_{netto}	Volume netto del locale
$n_{e, H}$	Ricambio orario

Calcolo degli apporti gratuiti interni Q_i

L'energia dovuta agli apporti interni Q_i comprende qualunque calore generato nello spazio climatizzato dalle sorgenti interne diverse dal sistema di riscaldamento, quali ad esempio:

- apporti dovuti al metabolismo degli occupanti;
- il consumo di calore dovuto alle apparecchiature elettriche e agli apparecchi di illuminazione;
- gli apporti netti provenienti dal sistema di distribuzione e di scarico dell'acqua.

$$Q_i = [\phi_{ih} + (1-b)\phi_{iu}] \cdot t = \phi_i t$$

Dove:

Q_i	Apporti di calore interni [kWh]
ϕ_{ih}	Potenza media degli apporti interni degli spazi riscaldati [W]
ϕ_{iu}	Potenza media degli apporti negli spazi non riscaldati [W]
ϕ_i	Potenza media degli apporti interni [W]
b	Fattore di riduzione degli apporti solari negli spazi non riscaldati [-] (questi apporti sono moltiplicati per un fattore di riduzione definito nella EN ISO 13789, e sommati agli apporti solari degli spazi riscaldati)

Calcolo degli apporti gratuiti solari Q_{SI}

L'energia solare incidente sull'involucro dell'edificio rappresenta una fonte non trascurabile degli apporti gratuiti disponibili. Questa energia è funzione della località climatica, dell'orientamento delle superfici colpite dalla radiazione e dalle loro proprietà fisiche (assorbimento e trasmissione solare) e geometriche (area). La norma UNI EN ISO 13790 propone un metodo di calcolo per gli apporti solari incidenti sulle superfici trasparenti Q_{SI} , e sottolinea la possibilità di trascurare gli apporti solari sulle superfici opache, sostenendo che gli eventuali guadagni solari dovuti alle strutture opache sono compensati dalle dispersioni per irraggiamento delle stesse verso la volta celeste. L'energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti Q_{SI} si ricava dalla relazione:

$$Q_{SI} = \sum [I_S \cdot A_S \cdot (F_S \cdot F_C \cdot F_F) \cdot g]$$

Dove la sommatoria è estesa a tutti i serramenti e per tutte le esposizioni:

Q_{SI}	Energia dovuta agli apporti solari sulle superfici trasparenti [kWh]
I_S	Energia totale della radiazione solare globale su una superficie unitaria riferita al serramento considerato durante il periodo di calcolo [MJ/m ²]
A_S	Area lorda (telaio più vetro) del serramento considerato [m ²]
F_S	Coefficiente di correzione dovuto all'ombreggiatura [-]
F_C	Coefficiente di correzione dovuto ai tendaggi [-]
F_F	Coefficiente di correzione dovuto al telaio, pari al rapporto tra l'area trasparente e l'area totale dell'unità vetrata [-]
g	Fattore solare effettivo del vetro pari a $0.9 \cdot g^T$ [-]
g^T	Fattore solare perpendicolare del vetro (fornito dai produttori del serramento)

Per il calcolo dei suddetti coefficienti la normativa tecnica propone quanto segue:

$$F_S = F_h \cdot F_o \cdot F_f$$

F_h	Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad ostruzioni esterne [-]
F_o	Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad oggetti orizzontali [-]
F_f	Fattore di ombreggiatura parziale dovuto ad oggetti verticali [-]

L'effetto dell'ombreggiatura dovuta alle ostruzioni esterne (quali per esempio terreno, alberi e altri edifici) dipende dall'altezza sull'orizzonte, dalla latitudine, dall'esposizione, dal clima locale e dal periodo di riscaldamento. I valori dei tre fattori d'ombreggiatura per climi medi e per un periodo di riscaldamento da ottobre ad aprile, sono indicati di seguito per tre latitudini e per quattro esposizioni (per le altre latitudini ed esposizioni, i valori si possono ricavare tramite interpolazione lineare).

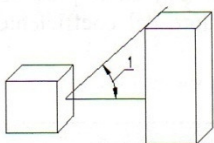
Fattore d'ombreggiatura parziale F_h										
Angolo sull'orizzontale	45° N latitudine			55° N latitudine			65° N latitudine			
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	
	0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	10°	0.97	0.95	1.00	0.94	0.92	0.99	0.86	0.89	0.97
	20°	0.85	0.82	0.98	0.68	0.75	0.95	0.58	0.68	0.93
	30°	0.62	0.70	0.94	0.49	0.62	0.92	0.41	0.54	0.89
	40°	0.46	0.61	0.90	0.40	0.56	0.89	0.29	0.49	0.85

Tabella 3.10 Valori del fattore di ombreggiatura parziale F_h per diverse latitudini e angoli sull'orizzontale

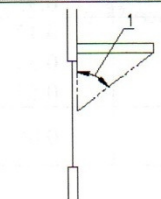
Fattore d'ombreggiatura dovuto ad aggetto orizzontale F_o										
Angolo dell'aggetto orizzontale	45° N latitudine			55° N latitudine			65° N latitudine			
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	
	0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	30°	0.90	0.89	0.91	0.93	0.91	0.91	0.95	0.92	0.90
	45°	0.74	0.76	0.80	0.80	0.79	0.80	0.85	0.81	0.80
	60°	0.50	0.58	0.66	0.60	0.61	0.65	0.66	0.65	0.66

Tabella 3.11 Valori del fattore di ombreggiatura dovuto ad aggetti orizzontali F_o per diverse latitudini e angoli

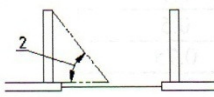
Fattore d'ombreggiatura dovuto ad aggetto verticale F_f										
Angolo dell'aggetto verticale	45° N latitudine			55° N latitudine			65° N latitudine			
	S	E/O	N	S	E/O	N	S	E/O	N	
	0°	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	30°	0.94	0.92	1.00	0.94	0.91	0.99	0.94	0.90	0.98
	45°	0.84	0.84	1.00	0.86	0.83	0.99	0.85	0.82	0.98
	60°	0.72	0.75	1.00	0.74	0.75	0.99	0.73	0.73	0.98

Tabella 3.12 Valori del fattore di ombreggiatura dovuto ad aggetti verticali F_f per diverse latitudini e angoli

Il fattore dovuto a tendaggi F_c è dato dal rapporto tra l'energia solare media entrante all'interno dell'edificio in presenza di tendaggi e quella che potrebbe entrare in assenza di esse. Alcuni valori sono riportati nella seguente tabella per tendaggi posizionati all'interno o all'esterno della finestra. Se a livello di progettazione edilizia non sono previste le caratteristiche dei tendaggi, in accordo con la UNI 10379, il valore del coefficiente di riduzione dovuto a tendaggi può essere assunto pari a 0.8.

Coefficiente di riduzione dovuto ai tendaggi F_c				
Tipo di tendaggio	Proprietà ottiche del tendaggio		Fattore dovuto a tendaggio	
	Assorbimento	Trasmissione	Interno	Esterno
Tendaggi alla veneziana di colore bianco	0,1	0,05	0,25	0,10
		0,1	0,30	0,15
		0,3	0,45	0,35
Tendaggi bianchi	0,1	0,5	0,65	0,55
		0,7	0,80	0,75
		0,9	0,95	0,95
Tessuti colorati	0,3	0,1	0,42	0,17
		0,3	0,57	0,37
		0,5	0,77	0,57
Tessuti con lamina in alluminio	0,2	0,05	0,2	0,08

Tabella 3.13 Valori del coefficiente di riduzione dovuto al tendaggio FC installato all'interno o all'esterno della finestra

Fattore solare perpendicolare del vetro g_g	
Tipo di vetro	g_g
Vetro singolo	0,85
Doppio vetro	0,75
Doppio vetro con strato selettivo	0,67
Triplo vetro	0,7
Triplo vetro con due strati selettivi	0,5
Doppio serramento	0,75

Tabella 3.14 Valori del fattore solare perpendicolare del vetro g_g proposti dalla norma

Calcolo del fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti $\eta_{H,gn}$

Il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti $\eta_{H,gn}$ è un fattore di riduzione degli apporti termici introdotto per tener conto del comportamento dinamico dell'edificio. Il parametro ci dice qual è la quota parte degli apporti gratuiti che il nostro edificio effettivamente è in grado di sfruttare. Questo permette di avvicinare l'analisi energetica ad un'analisi in regime dinamico ed è per questo che seguendo la norma UNI EN ISO 13790 si può parlare di regime *quasi* stazionario. Il coefficiente η_U dipende dal rapporto fra energia guadagnata ed energia dispersa (γ) e dalla capacità termica dell'edificio (C), e cresce al diminuire del primo e all'aumentare del secondo parametro, come si vede nel grafico sotto riportato. Infatti nei mesi più freddi, $\gamma < 1$ e quindi η_U ha un valore che tende a 1; nei mesi con temperature esterne medie relativamente elevate (aprile, novembre) $\gamma > 1$ e quindi il valore di η_U si riduce. Mentre maggiore è la costante di tempo τ , maggiore la capacità d'accumulo e rilascio di energia e quindi maggiore il coefficiente di utilizzo.

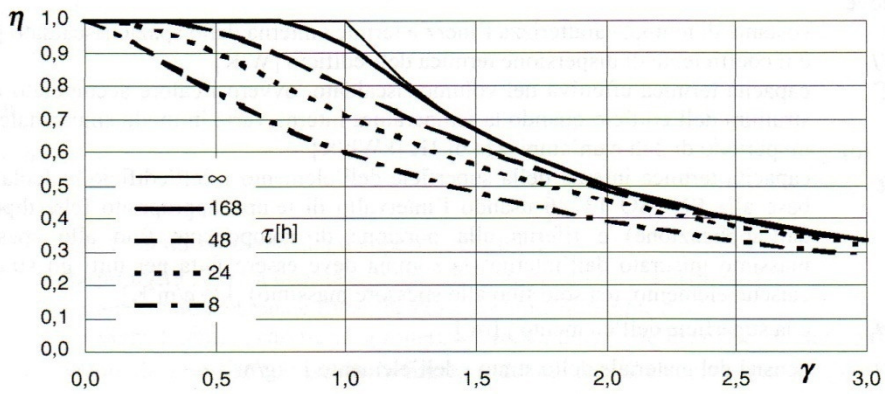


Figura 3.24 Andamento di ηU in funzione del rapporto γ fra energia gratuita e dispersioni e della costante di tempo τ dipendente dalla capacità termica dell'edificio C

Il rapporto γ tra gli apporti e le perdite è definito come segue:

$$\gamma = \frac{Q_G}{Q_L}$$

Dove:

Q_{gn} Energia dovuta agli apporti gratuiti [kWh]
 $Q_{H,ht}$ Energia scambiata totale (trasmissione + ventilazione) [kWh]

La costante di tempo τ che caratterizza l'inerzia termica interna dello spazio riscaldato si calcola con la relazione:

$$\tau = \frac{C}{H}$$

Con:

$$C = \sum_j \chi_j A_j$$

$$\chi_j = \sum_i \rho_i c_i d_i$$

Dove:

τ Costante di tempo [h]
 H Coefficiente di dispersione termica dell'edificio [W/K]
 C Capacità termica effettiva del volume riscaldato, ovvero il calore accumulato nella struttura dell'edificio quando la temperatura interna varia in modo sinusoidale con un periodo di 24h e un'ampiezza di 1K [kWh/K]
 χ_j Capacità termica interna della superficie dell'elemento j dell'edificio, calcolata in base alla EN ISO 13789 usando l'intervallo di tempo appropriato (che dipende dall'applicazione) e riferita alla porzione di componente fino allo spessore massimo misurato dall'interno (la somma deve essere fatta per tutti gli strati di ciascun elemento, ma solo fino allo spessore massimo) [kWh/m²K]
 A_j Superficie dell'elemento j [m²]

- ρ_i Densità del materiale dello strato i dell'elemento j [kg/m^3]
 c_i Capacità termica specifica del materiale dello strato i dell'elemento j [kWh/kgK]
 d_i Spessore dello strato i dell'elemento j [m]

La valutazione della capacità termica C , necessaria al calcolo della costante di tempo τ va effettuata considerando tutti i componenti dell'involucro in oggetto secondo il calcolo di χ_j ; in alternativa le Raccomandazioni CTI propongono un calcolo semplificato basato sulla capacità termica volumica [$\text{kJ}/\text{m}^3\text{K}$] e il volume lordo dell'edificio:

$$C = c \cdot V$$

All'aumentare della costante di tempo dell'edificio, aumenta l'attitudine dello stesso ad immagazzinare energia che si rende disponibile quando necessaria ($\eta \rightarrow 1$); edifici con valori di τ ridotti tendono al surriscaldamento degli ambienti interni.

Capacità termica in funzione della tipologia costruttiva	
Tipologia costruttiva	Capacità termica volumica c [$\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$]
Edifici con muri in pietra o assimilabili	80,6
Edifici con muri in mattoni pieni o assimilabili	66,7
Edifici con muri in mattoni forati o assimilabili	36,1
Edifici con pareti leggere o isolati dall'interno	19,4

Tabella 3.15 Capacità termica effettiva per unità di volume lordo riscaldato per alcune tipologie (Fonte: Raccomandazione CTI-R03/3)

Nell'ipotesi molto probabile in cui il rapporto tra gli apporti e le perdite sia diverso da 1 il fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti η_u è ricavabile dalla relazione:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$$

Se invece $\gamma = 1$, allora vale la seguente relazione:

$$\eta_{H,gn} = \frac{a}{a+1}$$

Con:

$$a = a_0 + \frac{\tau}{\tau_0}$$

Dove:

- $\eta_{H,gn}$ Fattore di utilizzazione degli apporti gratuiti [-]
 γ Rapporto fra energia dovuta agli apporti gratuiti ed energia dispersa [-]
 a Parametro dimensionale funzione della costante di tempo τ [-]
 τ Costante di tempo, caratterizza l'inerzia termica interna dello spazio riscaldato [h]
 a_0 Valore di a ricavato da tabella in funzione del metodo di calcolo utilizzato [-]
 τ_0 Valore di τ ricavato da tabella in funzione del metodo di calcolo utilizzato [h]

Valori di a_o e τ_o in funzione del metodo di calcolo		
Metodo	a_o [-]	τ_o [h]
Metodo di calcolo mensile	1	15
Metodo di calcolo stagionale	0,8	30

Tabella 3.16 Valori di a_o e τ_o in funzione del metodo di calcolo mensile o stagionale (Fonte: UNI EN ISO 13790)

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale invernale $Q_{H,nd}$

Sommando le perdite per trasmissione con quelle per ventilazione e sottraendo la somma degli apporti interni e solari, il fabbisogno di energia utile stagionale invernale dell'edificio risulta essere:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Ottobre	26819	2959	29778	8583	6705	15288	15976
Novembre	74485	8535	83020	8629	11832	20460	62989
Dicembre	104659	12199	116858	7393	12226	19620	97407
Gennaio	114114	13353	127468	8041	12226	20267	107354
Febbraio	92090	10721	102811	11569	11043	22612	80565
Marzo	74941	8572	83514	18858	12226	31084	54028
Aprile	25129	2789	27919	11753	5916	17669	12748
Totali	512238	59129	571367	74826	72174	146999	431068

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
Q_{Si}	Apporti solari
Q_i	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = $Q_{Si} + Q_i$
$Q_{H,nd}$	Energia Utile

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale estivo $Q_{C,nd}$

Dopo aver calcolato il fabbisogno di energia utile invernale, procediamo con quella estiva, tenendo conto che la stagione di calcolo reale è compresa tra il 18 Marzo e il 30 Ottobre, per un totale di 227 giorni.

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	-	-	10,9	14,0	17,7	22,0	24,4	23,9	20,6	14,8	-	-
N° giorni	-	-	-	14	30	31	30	31	31	30	30	-	-

Irradiazione solare giornaliera media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,4	3,6	5,3	7,6	9,2	9,1	6,4	4,2	2,9	1,8	1,4
Nord-Est	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Est	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Sud-Est	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Sud	MJ/m ²	6,7	8,9	10,9	10,5	9,8	9,6	10,5	11,2	11,7	10,9	7,0	6,4
Sud-Ovest	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Ovest	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Orizzontale	MJ/m ²	4,0	6,8	11,3	15,9	19,5	21,6	23,2	19,1	13,9	8,7	4,6	3,6

H_T : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso l'esterno

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	H_T [W/K]
Muro perimetrale	0,523	2664,79	1394,4
Quinta perimetrale	0,853	1219,35	1040,5
Muro sotto finestra	0,908	221,72	201,2
Cassonetto	1,098	222,73	244,6
Pavimento su porticato	0,414	618,14	256,1
R - Parete - Copertura	0,020	490,54	9,8
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	766,11	42,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	1962,16	1069,4
W - Parete - Telaio	0,350	1591,51	557,0
Finestra 890 x 1525	3,644	146,60	534,3
Finestra 1390 x 1525	3,579	229,10	820,0
Porta Finestra 1890 x 2425	3,299	233,53	770,4

Totale 6939,9

H_U : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	$b_{tr, U}$ [-]	H_U [W/K]
Muro su vano scala	0,811	822,22	0,48	320,0
Porta ingresso alloggio	1,911	62,37	0,48	57,2
Pavimento su box	0,972	927,30	0,60	540,7
Soffitto sotto tetto	1,183	1545,45	0,60	1096,6
R - Parete - Copertura	0,020	782,79	-	9,2
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	507,22	-	16,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	375,52	-	98,2

Totale 2138,0

H_N : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, N} [-]	H _N [W/K]
Quinta con giunto divisorio alloggio	1,001	841,70	0,00	0,0
Quinta divisorio alloggio	1,268	181,02	0,00	0,0
Pavimento intermedio	0,972	3090,90	0,00	0,0
Soffitto intermedio	1,125	3090,90	0,00	0,0
R - Parete - Copertura	0,020	18,48	-	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	18,48	-	0,0
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	73,92	-	0,0
IW - Parete - Parete interna	-0,008	516,00	-	0,0

Totale 0,0

Zona 1

Nr.	Descrizione locale	V _{netto} [m ³]	n _{e, c} [1/h]	H _{ve} [W/K]
1	Alloggio 1A	204,40	0,30	20,4
2	Alloggio 2A	206,05	0,30	20,6
3	Alloggio 3A	204,20	0,30	20,4
4	Alloggio 1B	205,91	0,30	20,6
5	Alloggio 2B	205,91	0,30	20,6
6	Alloggio 3B	204,20	0,30	20,4
7	Alloggio 1C	204,29	0,30	20,4
8	Alloggio 2B	205,74	0,30	20,6
9	Alloggio 3C	204,29	0,30	20,4
10	Alloggio 1D	204,32	0,30	20,4
11	Alloggio 2D	205,46	0,30	20,5
12	Alloggio 3D	207,03	0,30	20,7
13	Alloggio 1 E	205,69	0,30	20,6
14	Alloggio 2 E	206,70	0,30	20,7
15	Alloggio 3E	204,26	0,30	20,4
16	Alloggio 1 F	204,34	0,30	20,4
17	Alloggio 2 F	204,60	0,30	20,5
18	Alloggio 3 F	205,58	0,30	20,6
19	Alloggio 4 A	204,20	0,30	20,4
20	Alloggio 5 A	206,05	0,30	20,6
21	Alloggio 6 A	204,40	0,30	20,4
22	Alloggio 1 B	204,20	0,30	20,4
23	Alloggio 2 B	205,91	0,30	20,6
24	Alloggio 3 B	205,91	0,30	20,6
25	Alloggio 4 C	204,29	0,30	20,4
26	Alloggio 5 C	205,74	0,30	20,6
27	Alloggio 6 C	204,29	0,30	20,4
28	Alloggio 4 D	204,32	0,30	20,4
29	Alloggio 5 D	205,46	0,30	20,5

30	Alloggio 6 D	207,03	0,30	20,7
31	Alloggio 4 E	205,69	0,30	20,6
32	Alloggio 5 E	206,70	0,30	20,7
33	Alloggio 6 E	204,26	0,30	20,4
34	Alloggio 4 F	204,34	0,30	20,4
35	Alloggio 5 F	204,60	0,30	20,5
36	Alloggio 6 F	205,58	0,30	20,6
37	Alloggio 7 A	204,20	0,30	20,4
38	Alloggio 8 A	206,05	0,30	20,6
39	Alloggio 9 A	204,40	0,30	20,4
40	Alloggio 7 B	204,20	0,30	20,4
41	Alloggio 8 B	205,91	0,30	20,6
42	Alloggio 9 B	205,91	0,30	20,6
43	Alloggio 7 C	204,29	0,30	20,4
44	Alloggio 8 C	205,74	0,30	20,6
45	Alloggio 9 C	204,29	0,30	20,4
46	Alloggio 7 D	204,32	0,30	20,4
47	Alloggio 8 D	205,46	0,30	20,5
48	Alloggio 9 D	207,03	0,30	20,7
49	Alloggio 7 E	205,69	0,30	20,6
50	Alloggio 8 E	206,70	0,30	20,7
51	Alloggio 9 E	204,26	0,30	20,4
52	Alloggio 7 F	204,34	0,30	20,4
53	Alloggio 8 F	204,60	0,30	20,5
54	Alloggio 9 F	205,58	0,30	20,6

Totale 1107,9

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
Sup.	Superficie dell'elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza dell'elemento disperdente
$b_{tr, X}$	Fattore di correzione dello scambio termico
V_{netto}	Volume netto del locale
$n_{e, H}$	Ricambio orario

Sommando le perdite per trasmissione con quelle per ventilazione e sottraendo la somma degli apporti interni e solari, il fabbisogno di energia utile stagionale estivo dell'edificio risulta essere:

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Marzo	48033	5603	53636	8517	5521	14038	0
Aprile	82982	9572	92554	23507	11832	35338	9
Maggio	60758	6841	67599	27830	12226	40056	237
Giugno	30693	3191	33883	29269	11832	41101	8720
Luglio	15506	1319	16825	32338	12226	44564	27742
Agosto	18883	1731	20614	28355	12226	40581	20009
Settembre	39843	4307	44151	21921	11832	33753	987
Ottobre	77689	8926	86616	15147	11832	26978	1
Totali	374387	41491	415878	186883	89527	276410	57706

Legenda simboli

$Q_{C,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{C,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{C,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
Q_{SI}	Apporti solari
Q_i	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = $Q_{SI} + Q_i$
$Q_{C,nd}$	Energia Utile

Calcolo dei rendimenti

Come già accennato, il fabbisogno energetico specifico dell'involucro $Q_{H,nd}$, ovvero la quantità di energia richiesta in linea teorica dall'edificio per mantenere il livello di temperatura prefissato all'interno degli ambienti, si ricava con un bilancio fra perdite e apporti energetici. Per garantire il fabbisogno calcolato però bisogna prevedere una quantità di energia maggiore per tener conto delle imperfezioni e delle perdite legate alle modalità con cui viene fornita l'energia attraverso l'impianto termico e la sua rete. Si tratta in altre parole di stimare:

- un rendimento di emissione;
- un rendimento di distribuzione;
- un rendimento di regolazione;
- un rendimento di produzione.

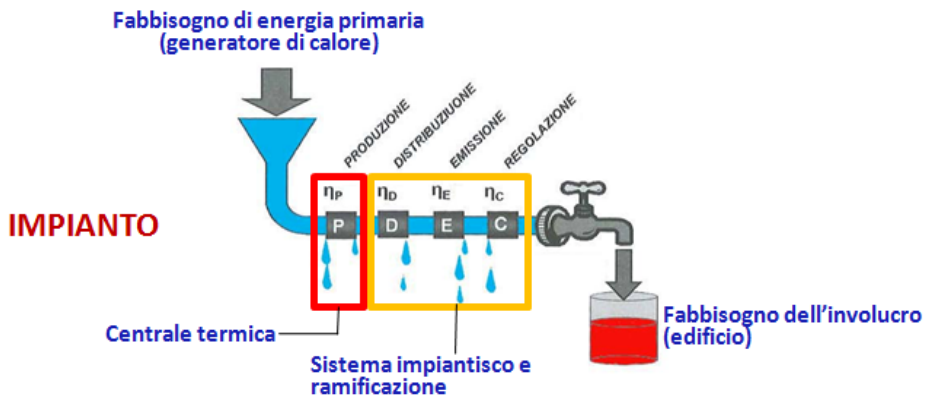


Figura 3.25 Analogia idraulica del sistema edificio-impianto

Rendimento di emissione η_e

Il rendimento di emissione caratterizza l'influenza che ha il tipo di scambio termico tra il terminale di erogazione e l'ambiente riscaldato sulla quantità di energia che il terminale di erogazione deve fornire. In generale il rendimento di emissione è dato da:

$$\eta_e = \frac{Q_h}{Q_{hae}}$$

Dove:

- η_e Rendimento di emissione del terminale di erogazione
- Q_h Quantità di energia Q_h richiesta dalla zona in condizioni ideali
- Q_{hae} Energia termica fornita dal terminale di erogazione in condizioni reali

I valori convenzionali del rendimento di emissione per diversi tipi di terminali di erogazione sono riportati nella tabella 3.17.

Terminale di erogazione	η_e
termoconvettori	0,99
ventilconvettori	0,98
bocchette aria calda	0,97
radiatori*	0,96
pannelli radianti isolati dalle strutture**	0,97
pannelli radianti annegati nella struttura**	0,95

* Riferito ad una temperatura di mandata dell'acqua di 85 °C, ad una installazione su parete divisoria interna oppure a ridosso di parete esterna isolata come sopra e con presenza di superficie riflettente sul lato interno. In assenza di superficie riflettente il valore riportato deve essere diminuito di 0,02. In presenza di parete esterna non isolata ($U > 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) il valore deve essere ulteriormente ridotto di 0,04. Per temperatura di mandata dell'acqua di 65 °C il valore del prospetto deve essere incrementato di 0,03; le altre correzioni assumono gli stessi valori.

** Riferiti ad una installazione tra ambienti riscaldati oppure in una struttura muraria isolata esternamente e avente un coefficiente globale di trasmissione termica minore di 0,8 W/m²K.

Tabella 3.17 Valori convenzionali del rendimento di emissione η_e

Rendimento di distribuzione η_d

Il rendimento di distribuzione caratterizza l'influenza della rete di distribuzione sulle perdite d'energia termica non direttamente cadute agli ambienti da riscaldare. In generale il rendimento di distribuzione è dato da:

$$\eta_d = \frac{1}{1 + \frac{Q_{dnr}}{\sum_1^z Q_{hr}}}$$

Dove:

- z Numero di zone nelle quali è suddiviso l'edificio
- Q_{hr} Energia termica richiesta da ogni singola zona (fabbisogno energetico utile reale)
- Q_{dnr} Energia termica scambiata dalla rete di distribuzione con l'ambiente circostante e non recuperata

L'energia termica richiesta da ciascuna zona, come definito dalla UNI 10344, è data da:

$$Q_{hr} = \frac{Q_h}{\eta_c \cdot \eta_e}$$

Dove:

- Q_h Fabbisogno energetico utile per ogni zona
- η_e Rendimento di emissione
- η_c Rendimento del sistema di regolazione

Se si conoscono in maniera completa i dati costruttivi della rete di distribuzione del fluido vettore, il contributo di Q_{dnr} può essere determinato in maniera dettagliata utilizzando la UNI 10347. Nel caso di generatore all'interno dell'edificio, in assenza di dati sulle caratteristiche costruttive della rete di distribuzione, si possono assumere i valori del rendimento di distribuzione riportati nella tabella 3.18 e validi per le seguenti tre categorie di edifici:

- edifici nei quali le colonne montanti e i collegamenti con i terminali di emissione sono situati totalmente all'interno degli ambienti riscaldati e le tubazioni che collegano la centrale termica alle colonne montanti sono ubicate nel cantinato;
- edifici nei quali le colonne montanti e i collegamenti con i terminali di emissione, non isolati termicamente, sono inseriti in traccia nel paramento interno dei tamponamenti esterni e le tubazioni orizzontali che collegano la centrale termica alle colonne montanti scorrono nel cantinato;
- edifici nei quali le colonne montanti, in traccia o ubicate nelle intercapedini, sono isolate con gli spessori di isolante previsti dalla specifica normativa e sono ubicate all'interno dell'isolamento termico delle pareti.

Nel caso di generatori posti all'esterno dell'edificio, come nel nostro caso, il calcolo del rendimento di distribuzione η_d deve essere sempre fatto utilizzando la procedura riportata nella norma UNI 10347 almeno per la parte di rete localizzata all'esterno dell'edificio. nell'ipotesi di riscaldamento elettrico il valore del rendimento di distribuzione può essere assunto con buona approssimazione sempre pari a 1.

Tipo di edificio	Volume [m ³]	Altezza edificio [m]		
		5	15	25
a, c	1000	0,96	0,95	0,94
	5000	0,96	0,95	0,94
	10000	0,97	0,96	0,95
	15000	0,97	0,96	0,95
	20000	0,98	0,97	0,96
b	1000	0,95	0,94	0,94
	5000	0,93	0,93	0,93
	10000	0,91	0,92	0,93
	15000	0,89	0,90	0,91
	20000	0,86	0,87	0,88

Tabella 3.18 Valori di η_d in funzione del tipo di sistema di distribuzione, del volume e dell'altezza

Rendimento di regolazione η_c

Quando il sistema di regolazione non risponde accuratamente e velocemente alla richiesta di energia si generano oscillazioni di temperatura all'interno dell'ambiente che causano incrementi di scambi termici per trasmissione e ventilazione con l'esterno. Il rendimento di regolazione è un parametro che rappresenta la deviazione tra la quantità di energia richiesta in condizioni reali, Q_{nacr} rispetto a quelli ideali, Q_i . In generale il rendimento di regolazione è dato da:

$$\eta_c = \frac{Q_h}{Q_{hac}}$$

Dove:

Q_h Quantità di energia richiesta in condizioni ideali
 Q_{hac} Quantità di energia richiesta in condizioni reali di regolazione

Tenendo conto che le condizioni che si possono avere nella realtà sono innumerevoli e che, ove possibile, è necessario fare riferimento a valori più vicino possibile alla situazione reale presente, nella tabella 3.19 sono riportati dei valori di η_c che devono essere intesi come convenzionali e da assumere ogni qualvolta dati precisi sulle effettive caratteristiche del sistema di regolazione non sono note. I valori sotto riportati fanno riferimento alle seguenti tipologie di regolazione:

- regolazione manuale sul termostato di caldaia (*regolazione manuale*);
- regolazione della temperatura dell'acqua in uscita dalla caldaia con centralina comandata da sonda climatica esterna (*regolazione climatica centralizzata*);
- regolazione di ambiente e di zona senza controllo della temperatura dell'acqua in uscita dalla caldaia (*regolazione solo per singolo ambiente o solo per zona*);
- regolazione di ambiente e di zona con controllo della temperatura dell'acqua in uscita dalla caldaia con centralina comandata da sonda climatica esterna (*regolazione climatica centralizzata + regolazione per singolo ambiente o per zona*)

Sistema di regolazione	Tipologia di prodotto	Impianto di riscaldamento		
		radiatori e convettori	pannelli radianti isolati dalla struttura	pannelli radianti annegati nella struttura
Regolazione manuale	Termostato di caldaia	$0,96 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,94 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,90 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$
Climatico centralizzato	Regolatore climatico e/o ottimizzatore	$1 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,98 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$	$0,94 - (0,6 \cdot \eta_u \cdot \gamma)$
Solo per singolo ambiente	Regolatore sì/no a differenziale	0,94	0,92	0,88
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,98	0,96	0,92
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,96	0,94	0,90
Climatico + singolo ambiente	Regolatore sì/no a differenziale	0,97	0,95	0,93
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,99	0,98	0,96
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,98	0,97	0,95
Solo di zona	Regolatore sì/no a differenziale	0,93	0,91	0,87
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,97	0,96	0,92
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,95	0,93	0,89
Climatico + zona	Regolatore sì/no a differenziale	0,96	0,94	0,92
	Regolatore modulante (banda proporzionale 1 °C)	0,98	0,97	0,95
	Regolatore modulante (banda proporzionale 2 °C)	0,97	0,96	0,94

Tabella 3.19 Valori convenzionali del rendimento di regolazione η_c

Rendimento di produzione medio mensile η_p

Il rendimento di produzione del sistema di generazione dell'energia termica è dato da:

$$\eta_p = \frac{Q_p}{Q}$$

Dove:

- Q_p Energia termica fornita dal sistema di produzione nel periodo considerato
- Q Fabbisogno di energia primaria del periodo considerato

Esso riferito ad un periodo di tempo prefissato (mese), ad un modello di conduzione definito (continuo, intermittente, attenuato) ed al sistema di regolazione dell'impianto, ed include, sia nel termine di energia termica fornita che nel fabbisogno di energia primaria, i contributi di ogni componente dell'impianto di produzione compresi gli ausiliari. L'energia termica, Q_p , fornita dal sistema di produzione legata al fabbisogno di ciascuna zona con la definizione del rendimento di distribuzione è:

$$Q_p = \frac{\sum_{j=1}^Z Q_{hr,j}}{\eta_d}$$

L'energia termica Q_p , fornita dal sistema di produzione, in generale, differisce dall'energia termica utile Q_u , prodotta dall'apparato di generazione (generatore di calore, pompa di calore e simili) per il contributo energetico fornito al fluido termoconvettore da tutti gli ausiliari che con esso interagiscono (pompe di circolazione, ventilatori e simili); l'energia termica richiesta allo specifico apparato di generazione è, quindi, data da:

$$Q_u = Q_p - Q_{aux}$$

Dove:

Q_u	Energia termica utile dell'apparato generatore
Q_p	Energia termica fornita dal sistema di generazione
Q_{aux}	Energia termica fornita dagli ausiliari al fluido termoconvettore

Il fabbisogno di energia primaria del sistema di produzione Q , è dato da:

$$Q = Q_c + Q_e$$

Dove:

Q_c	Energia primaria richiesta per la conversione del generatore
Q_e	Energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari

Nel generatore a combustione l'energia primaria Q_c , richiesta per la conversione in energia termica utile Q_u , è l'energia primaria richiesta per la combustione. Gli ausiliari di una certa rilevanza energetica sono le pompe di circolazione del fluido termoconvettore ed il bruciatore. Tra questi solo le pompe di circolazione forniscono un contributo di energia termica direttamente al fluido termoconvettore, mentre il contributo del bruciatore è implicitamente incluso nella definizione di rendimento utile η_u così come riportato nella UNI 7936. L'energia primaria richiesta per la combustione è data da:

$$Q_c = \frac{(Q_p - Q_{aux})}{\eta_{tu}} = \frac{(Q_p - Q_{po} \cdot \eta_{po})}{\eta_{tu}}$$

Dove:

Q_p	Energia termica fornita dal sistema di produzione nel mese
Q_{po}	Energia elettrica assorbita da pompe, ventilatori, ecc. nel periodo di funzionamento
η_{po}	Frazione utile dell'energia elettrica assorbita dalle pompe, ventilatori, ecc. effettivamente trasferita al fluido (convenzionalmente assunta pari a 0.85)
η_{tu}	Rendimento termico utile medio mensile del generatore

L'energia primaria richiesta per il funzionamento degli ausiliari è data da:

$$Q_e = \frac{(Q_{br} + Q_{po})}{\eta_{sen}}$$

Dove:

Q_{br} Energia elettrica assorbita dal bruciatore nel periodo di funzionamento
 η_{sen} Rendimento del sistema elettrico nazionale (in assenza di obblighi specifici si può assumere pari a 0.36)

Il rendimento termico utile di un generatore a combustione riferito ad un periodo temporale prefissato è dato da:

$$\eta_{tu} = \frac{Q_u}{Q_c}$$

Dove:

Q_u Energia termica utile prodotta dal generatore nel periodo considerato
 Q_c Energia primaria richiesta per la combustione nel periodo considerato

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Modalità di funzionamento dell'impianto di riscaldamento

Funzionamento intermittente (con spegnimento)

Giorni a settimana di funzionamento 7 giorni
 Ore giornaliere di spegnimento 10.0 ore

Rendimenti stagionali dell'impianto

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	90,0	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	85,8	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{H,d}$	94,7	%
Rendimento di produzione	$\eta_{H,gn}$	87,1	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	63,3	%

Secondo il comma 1, Allegato I del DLgs 311, bisogna verificare che il rendimento globale medio stagionale (η_g) sia $\geq (65 + 3\log P_n)\%$ se $P_n < 1000$ kW, e $\eta_g \geq 74\%$ se $P_n \geq 1000$ kW. Per quanto riguarda il nostro edificio, abbiamo che:

$$63.3 \% < 82.7 \%$$

Questo significa che il rendimento globale medio stagionale non risulta essere maggiore o uguale al valore del rendimento globale medio stagionale limite, quindi la relazione non viene verificata.

Caratteristiche sottosistema di emissione

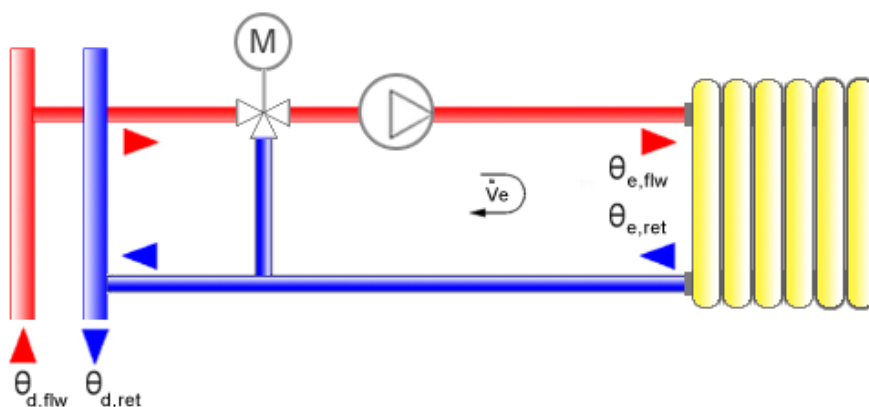
Tipo di terminale di erogazione	Radiatori su parete esterna non isolata ($U > 0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$)
Potenza nominale dei corpi scaldanti	343537 W
Fabbisogni elettrici	0 W

Caratteristiche sottosistema di regolazione

Tipo	Solo climatica (compensazione con sonda esterna)
------	--

Caratteristiche sottosistema di distribuzione

Descrizione rete	Rete di distribuzione riscaldamento
Coefficiente di perdita	0.08 -
Fabbisogni elettrici	1065 W
Fattore di recupero termico	0.85 -
Tipo di circuito	A portata costante



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10.0 %
ΔT nominale lato aria	50.0 °C
Esponente n del corpo scaldante	1.30 -
ΔT di progetto lato acqua	10.0 °C
Portata nominale	32520.71 kg/h
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	5.0 °C

Temperatura dell'acqua del circuito

Mese	giorni	EMETTITORI			DISTRIBUZIONE		
		$\theta_{e,avg}$ [°C]	$\theta_{e,flw}$ [°C]	$\theta_{e,ret}$ [°C]	$\theta_{d,avg}$ [°C]	$\theta_{d,flw}$ [°C]	$\theta_{d,ret}$ [°C]
ottobre	17	38,3	39,7	37,0	40,8	44,7	37,0
novembre	30	50,0	52,5	47,4	52,5	57,5	47,4
dicembre	31	59,3	63,0	55,6	61,8	68,0	55,6
gennaio	31	62,2	66,2	58,2	64,7	71,2	58,2
febbraio	28	57,7	61,2	54,2	60,2	66,2	54,2
marzo	31	47,6	49,9	45,3	50,1	54,9	45,3
aprile	15	37,9	39,2	36,6	40,4	44,2	36,6

Legenda simboli

$\theta_{e,avg}$	Temperatura media degli emettitori
$\theta_{e,flw}$	Temperatura di mandata degli emettitori
$\theta_{e,ret}$	Temperatura di ritorno degli emettitori
$\theta_{d,avg}$	Temperatura media della rete di distribuzione
$\theta_{d,flw}$	Temperatura di mandata della rete di distribuzione
$\theta_{d,ret}$	Temperatura di ritorno della rete di distribuzione

Sottosistema di generazione

Dati generali

Servizio	Riscaldamento
Tipo di generatore	Rendimento di generazione mensile noto
Potenza utile nominale	$\phi_{gn,Pn}$ 370.13 kW

Rendimento mensile di generazione η_{gn}

Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0	88,0

Fabbisogni elettrici

Potenza elettrica ausiliari	1300 W
-----------------------------	--------

Combustibile

Tipo	Metano
Potere calorifico inferiore	H_i 9.940 kWh/Nm ³
Fattore di conversione	f_p 1.000 -

Risultati dei calcoli mensili del servizio di riscaldamento

Fabbisogni termici ed elettrici

Mese	gg	FABBISOGNI TERMICI					FABBISOGNI ELETTRICI			
		$Q_{h,nd}$ [kWh]	Q'_h [kWh]	$Q_{H,solare}$ [kWh]	$Q_{processo}$ [kWh]	$Q_{H,qn,out}$ [kWh]	$Q_{H,e,aux}$ [kWh]	$Q_{H,d,aux}$ [kWh]	$Q_{H,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{H,qn,aux}$ [kWh]
gennaio	31	107354	107108	0	0	138210	0	408	0	564
febbraio	28	80565	80343	0	0	108083	0	318	0	510
marzo	31	54028	53781	0	0	80387	0	235	0	564
aprile	15	12748	12629	0	0	22307	0	65	0	273
maggio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	15976	15841	0	0	26082	0	76	0	309
novembre	30	62989	62750	0	0	86263	0	253	0	546
dicembre	31	97407	97161	0	0	126250	0	372	0	564
TOTALI	183	431068	429614	0	0	587581	0	1725	0	3331

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{h,nd}$	Energia termica utile per riscaldamento
Q_h	Energia utile al netto di eventuali perdite recuperate e per funzionamento non continuo dell'impianto
$Q_{H,solare}$	Energia termica da produzione solare per riscaldamento
$Q_{processo}$	Energia termica fornita dal sottosistema di generazione per usi di processo
$Q_{H,qn,out}$	Energia termica fornita dalla generazione per riscaldamento (comprensiva di $Q_{H,solare}$)
$Q_{H,e,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di emissione
$Q_{H,d,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione
$Q_{H,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{H,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di generazione

Dettagli impianto termico

Mese	gg	$\eta_{H,rg}$ [%]	$\eta_{H,d}$ [%]	$\eta_{H,s}$ [%]	$\eta_{H,dp}$ [%]	$\eta_{H,qn}$ [%]	$\eta_{H,q}$ [%]
gennaio	31	90,5	95,1	-	-	87,3	67,3
febbraio	28	87,0	94,9	-	-	87,2	64,5
marzo	31	78,8	94,3	-	-	86,8	57,8
aprile	15	67,4	93,3	-	-	86,0	48,4
maggio	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	72,2	93,5	-	-	86,0	52,0
novembre	30	85,5	94,5	-	-	86,9	62,9
dicembre	31	90,0	95,0	-	-	87,3	66,8

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$\eta_{H,rg}$	Rendimento mensile di regolazione
$\eta_{H,d}$	Rendimento mensile di distribuzione
$\eta_{H,s}$	Rendimento mensile di accumulo
$\eta_{H,dp}$	Rendimento mensile di distribuzione primaria
$\eta_{H,qn}$	Rendimento mensile di generazione
$\eta_{H,g}$	Rendimento globale medio mensile

Dettagli generatore: Rendimento di generazione mensile noto

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	31	138210	157056	87,3	15800
febbraio	28	108083	122821	87,2	12356
marzo	31	80387	91349	86,8	9190
aprile	15	22307	25349	86,0	2550
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	17	26082	29638	86,0	2982
novembre	30	86263	98026	86,9	9862
dicembre	31	126250	143465	87,3	14433

Mese	gg	FC [-]
gennaio	31	0,860
febbraio	28	0,745
marzo	31	0,500
aprile	15	0,287
maggio	-	-
giugno	-	-
luglio	-	-
agosto	-	-
settembre	-	-
ottobre	17	0,296
novembre	30	0,555
dicembre	31	0,786

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC	Fattore di carico

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]	Q_{pH} [kWh]
gennaio	31	157056	972	159169
febbraio	28	122821	828	124621
marzo	31	91349	799	93087
aprile	15	25349	338	26083
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	17	29638	385	30475
novembre	30	98026	799	99762
dicembre	31	143465	936	145500
TOTALI	183	667706	5056	678697

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per riscaldamento
$Q_{H,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per riscaldamento
Q_{pH}	Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

$$\frac{Q_{H,gn,in}}{H_i} = \frac{667706}{9.940} = 67174 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano}$$

Fabbisogno di energia primaria per acqua calda sanitaria

Rendimenti stagionali dell'impianto

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	95,0	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{W,d}$	92,6	%
Rendimento di produzione	$\eta_{W,gn}$	45,0	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	39,6	%

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
6494	6494	6494	6494	6494	6494	6494	6494	6494	6494	6494	6494

Categoria DPR 412/93

E.1 (1)

Temperatura di erogazione

40.0 °C

Temperatura di alimentazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0

Superficie utile

3956.76 m²

Caratteristiche sottosistema di erogazione

Rendimento di erogazione

95.0 %

Sottosistema di generazione

Modalità di funzionamento del generatore

Continuato, 24 ore giornaliere

Dati generali

Servizio

Acqua sanitaria

Tipo di generatore

Rendimento stagionale (UNI/TS 11300-2 – Prosp. 31)

Tipologia

Generatore a gas di tipo istantaneo – Tipo B con pilota permanente

Potenza utile nominale

$\phi_{gn,Pn}$ 15.00 kW

Rendimento di generazione stagionale

η_{gn} 45.00 %

Combustibile

Tipo

Metano

Potere calorifico inferiore (Fattore di conversione da Energia primaria a combustibile)

H_i 9.940 kWh/Nm³

Fattore di conversione

f_p 1.000 -

Risultati dei calcoli mensili del servizio di acqua calda sanitaria

Fabbisogni termici ed elettrici

Mese	gg	FABBISOGNI TERMICI				FABBISOGNI ELETTRICI		
		$Q_{h,w}$ [kWh]	$Q_{W,solare}$ [kWh]	$Q_{processo}$ [kWh]	$Q_{W,qn,out}$ [kWh]	$Q_{W,ric,aux}$ [kWh]	$Q_{W,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{W,qn,aux}$ [kWh]
gennaio	31	5848	0	0	6649	0	0	0
febbraio	28	5282	0	0	6005	0	0	0
marzo	31	5848	0	0	6649	0	0	0
aprile	30	5660	0	0	6434	0	0	0
maggio	31	5848	0	0	6649	0	0	0
giugno	30	5660	0	0	6434	0	0	0
luglio	31	5848	0	0	6649	0	0	0
agosto	31	5848	0	0	6649	0	0	0
settembre	30	5660	0	0	6434	0	0	0
ottobre	31	5848	0	0	6649	0	0	0
novembre	30	5660	0	0	6434	0	0	0
dicembre	31	5848	0	0	6649	0	0	0
TOTALI	365	68859	0	0	78281	0	0	0

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{h,w}$	Fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria
$Q_{W,solare}$	Energia termica da produzione solare per acqua calda sanitaria
$Q_{processo}$	Energia termica fornita dal sistema di generazione per usi di processo
$Q_{W,qn,out}$	Energia termica fornita dalla generazione per acqua calda sanitaria (comprensiva di $Q_{W,solare}$)
$Q_{W,ric,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari della rete di ricircolo
$Q_{W,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{W,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari del sottosistema di generazione

Dettagli impianto termico

Mese	gg	$\eta_{w,d}$ [%]	$\eta_{w,s}$ [%]	$\eta_{w,ric}$ [%]	$\eta_{w,dp}$ [%]	$\eta_{w,qn}$ [%]	$\eta_{w,q}$ [%]
gennaio	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6
febbraio	28	92,6	-	-	-	45,0	39,6
marzo	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6
aprile	30	92,6	-	-	-	45,0	39,6
maggio	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6
giugno	30	92,6	-	-	-	45,0	39,6
luglio	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6
agosto	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6
settembre	30	92,6	-	-	-	45,0	39,6
ottobre	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6
novembre	30	92,6	-	-	-	45,0	39,6
dicembre	31	92,6	-	-	-	45,0	39,6

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$\eta_{w,d}$	Rendimento mensile di distribuzione
$\eta_{w,s}$	Rendimento mensile di accumulo
$\eta_{w,ric}$	Rendimento mensile della rete di ricircolo
$\eta_{w,dp}$	Rendimento mensile di distribuzione primaria
$\eta_{w,gn}$	Rendimento mensile di generazione
$\eta_{w,g}$	Rendimento globale medio mensile

Dettagli generatore: Rendimento stagionale (UNI/TS 11300-2 – Prosp. 31)

Mese	gg	$Q_{W,gn,out}$ [kWh]	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{W,gn}$ [%]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	31	6649	14775	45,0	1486
febbraio	28	6005	13345	45,0	1343
marzo	31	6649	14775	45,0	1486
aprile	30	6434	14298	45,0	1438
maggio	31	6649	14775	45,0	1486
giugno	30	6434	14298	45,0	1438
luglio	31	6649	14775	45,0	1486
agosto	31	6649	14775	45,0	1486
settembre	30	6434	14298	45,0	1438
ottobre	31	6649	14775	45,0	1486
novembre	30	6434	14298	45,0	1438
dicembre	31	6649	14775	45,0	1486

Mese	gg	FC [-]
gennaio	31	0,596
febbraio	28	0,596
marzo	31	0,596
aprile	30	0,596
maggio	31	0,596
giugno	30	0,596
luglio	31	0,596
agosto	31	0,596
settembre	30	0,596
ottobre	31	0,596
novembre	30	0,596
dicembre	31	0,596

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per acqua sanitaria
$H_{W,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC	Fattore di carico

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$Q_{W,aux}$ [kWh]	Q_{pW} [kWh]
gennaio	31	14775	0	14775
febbraio	28	13345	0	13345
marzo	31	14775	0	14775
aprile	30	14298	0	14298
maggio	31	14775	0	14775
giugno	30	14298	0	14298
luglio	31	14775	0	14775
agosto	31	14775	0	14775
settembre	30	14298	0	14298
ottobre	31	14775	0	14775
novembre	30	14298	0	14298
dicembre	31	14775	0	14775
TOTALI	365	173959	0	173959

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per acqua sanitaria
$Q_{W,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per acqua sanitaria
Q_{pW}	Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria

$$\frac{Q_{W,gn,in}}{H_i} = \frac{173959}{9.940} = 17501 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano}$$

Risultati di calcolo stagionale

Servizio riscaldamento

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pH}	678697 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{H,gn}$	87.1 %
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	63.3 %
Consumo annuo di Metano		67174 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		5056 kWh

Servizio acqua calda sanitaria

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pW}	173959 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{W,gn}$	45.00 %

Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{w,g}$	39.58 %
Consumo annuo di Metano		17501 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		o kWh

3.3.8 Verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H

Dati di progetto

Località	Treviglio
Rapporto S/V	0.58 m ⁻¹
Dati climatici	Zona E con 2237 GG

L'interpolazione lineare è il metodo che consente di calcolare il valore di EP_H limite per tutti i casi non indicati nelle tabelle. Graficamente si tratta di determinare il valore corrispondente al nostro caso su un piano con in ascissa i gradi giorno [GG] e in ordinata EP_H limite [kWh/m²anno]. I valori della tabella (Tabella 1.3 dell'Allegato C del DLgs 311) definiscono i punti per cui passano le linee (limite superiore con S/V = 0.9 e limite inferiore con S/V = 0.2) che racchiudono la regione di piano che definisce i valori limite per il rispetto della legge.

Nel nostro caso i valori della tabella che racchiudono la Zona climatica E sono: A(2101; 34), B(3000; 46.8), C(2101; 88) e D(3000; 116).

Le rette passanti per AB e CD si ricavano con la seguente formula:

$$\frac{x - X_1}{y - Y_1} = \frac{X_2 - X_1}{Y_2 - Y_1}$$

Grazie alla quale si trova:

$$f_{AB} : y = \frac{x}{70.2} + 4.1$$

$$f_{CD} : y = \frac{x}{32.1} + 22.6$$

Ponendo in queste ultime due formule il valore x = 2237 (GG di Treviglio) si trovano i punti E e F che rappresentano i limiti superiore ed inferiore di EP_H per i Gradi Giorno di Treviglio:

- E (2237, 36)
- F (2237, 92.3)

A questo punto, per trovare EP_H limite, basta calcolare la media rapportata al valore di S/V = 0.58 calcolandola tra i punti E e F:

$$EP_{H \text{ lim}} = Y_E + \left[\frac{(Y_F - Y_E)}{(0.9 - 0.2)} \cdot (0.58 - 0.2) \right] = 66.6$$

Quindi possiamo dire che per un edificio con S/V pari a 0.58 localizzato a Treviglio, il valore di EP_H limite con il quale confrontare il valore di EP_H di progetto, vale:

$$EP_H \text{ limite} = 66.6 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

Il valore di EP_H di progetto è dato dalla seguente formula:

$$EP_H = \frac{Q}{S_{\text{utile}}} = \frac{678697}{3956.7} = 171.53 \text{ [kWh/m}^2\text{anno]}$$

$$EP_H = 171.53 \text{ [kWh/m}^2\text{anno]}$$

La verifica della prestazione energetica prevista dal decreto stabilisce che:

$$EP_H < EP_{H \text{ lim}}$$

Noi abbiamo:

$$171.53 > 66.6 \text{ [kWh/(m}^2 \text{ anno)]}$$

La relazione non è verificata, pertanto dovremo provvedere ad apportare modifiche per far rientrare il fabbisogno di energia primaria nei limiti stabiliti.

3.3.9 Certificazione energetica

La certificazione energetica degli edifici è uno strumento indicato dalla Direttiva europea 2002/91/CE, già presente nella Legge 10/91 e prescritto dal DLgs 192 che ha l'obiettivo di sensibilizzare tutti gli attori del processo edilizio in riferimento alle problematiche energetico - ambientali e introdurre il parametro "efficienza energetica" come valore del mercato edilizio. La certificazione energetica è il processo con cui il certificatore energetico stabilisce il livello di efficienza energetica di un edificio grazie all'analisi del progetto e delle fasi di realizzazione delle opere. Il risultato del processo certificativo è l'Attestato di certificazione che comprende la classificazione energetica dell'edificio.

Il D.G.R. 8745/08, al punto 10, stabilisce che *"L'attestato di certificazione energetica, di cui all'Allegato C, è il documento sintetico attestante i risultati della certificazione energetica dell'edificio a cui esso si riferisce. L'attestato di certificazione energetica può riferirsi a una o più unità immobiliari, facenti parte di un medesimo edificio. L'attestato di certificazione energetica riferito a più unità immobiliari può essere prodotto solo nel momento in cui le stesse siano servite dal medesimo impianto termico destinato alla climatizzazione invernale o al solo riscaldamento, abbiano la medesima destinazione d'uso e sia presente un unico proprietario o un amministratore."*

La classificazione è lo strumento più efficace previsto dall'Attestato di certificazione energetica perché dichiara in modo chiaro all'utente finale il livello di efficienza energetica del bene oggetto dell'acquisto o dell'affitto. Esistono diverse proposte su come fare la classificazione energetica a livello locale e si possono dividere in due famiglie a seconda della modalità di definizione della classe. Alla prima appartengono le classificazioni per le quali la suddivisione in classi energetiche è basata sui limiti fissi, alla seconda le classificazioni che prevedono limiti in funzione di $EP_{H \text{ lim}}$ del DLgs 311. Nella tabella seguente è presentato un esempio per entrambe le classificazioni.

	Classificazione con limiti fissi	Classificazione in funzione di EP_{lim}
Classe A	$\leq 30 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 60\% EP_{lim2010}$
Classe B	$\leq 50 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 100\% EP_{lim2010}$
Classe C	$\leq 70 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 100\% EP_{lim2008}$
Classe D	$\leq 90 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 120\% EP_{lim2008}$
Classe E	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 140\% EP_{lim2008}$
Classe F	$\leq 160 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 170\% EP_{lim2008}$
Classe G	$> 160 \text{ kWh/m}^2$	$\leq 200\% EP_{lim2008}$

Tabella 3.20 Esempi di classificazioni energetiche

La Regione Lombardia con la Delibera del 26 giugno 2007 – n. 8/5018, introduce a livello regionale nuove regole per l'efficienza energetica degli edifici, tra cui anche una nuova procedura per la certificazione energetica. La prestazione energetica del sistema edificio-impianto viene definita dal valore del fabbisogno di energia primaria per la climatizzazione invernale (in kWh/m²anno per gli edifici residenziali e in kWh/m³anno per tutti gli altri). La classificazione prevede 8 classi dalla A+ alla G in funzione della zona climatica di appartenenza della località in cui ha sede l'edificio e in relazione alla sua destinazione d'uso.

Di seguito, riportiamo la classificazione energetica dell'edificio oggetto di studio.

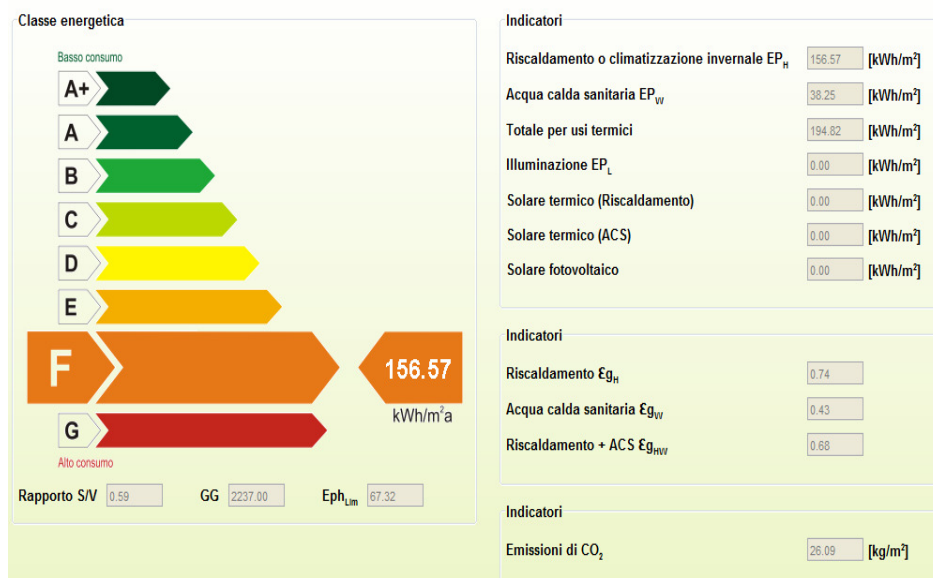


Figura 3.26 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.

3.4 Riqualificazione A.L.E.R.

3.4.1 Introduzione alla riqualificazione A.L.E.R.

La costruzione del modello energetico dello stato di fatto dell'edificio sito in Treviglio e oggetto di studio, ha fornito un valore di calcolo dell'indice di prestazione energetica EP_H superiore a quello limite e comunque tale da catalogare il sistema edificio-impianto in questione come non isolato e con impiantistica obsoleta. Il risultato ottenuto impone la necessità di procedere a mezzo diagnosi energetica ad analizzare le singole patologie ed apportare le dovute cure per ridurre il fabbisogno di energia primaria e migliorarne le prestazioni anche in termini di comfort, facendo rientrare l'indice prestazione energetica nei limiti stabiliti dalla norma.

La prima ipotesi di intervento viene condotta parallelamente con quello che effettivamente l'Azienda A.L.E.R. ha inserito nel programma triennale degli interventi di riqualificazione energetica del patrimonio esistente, in conformità al disposto normativo regionale e in base alle disponibilità economiche di bilancio.

In particolare come già accennato nel paragrafo "4.1.1_Approccio operativo", gli interventi programmati da A.L.E.R. in sequenza sono:

- ristrutturazione impiantistica;
- miglioramento dell'involucro.

Infatti, al punto 10.3 della D.G.R. IX/3522 del 23 Maggio 2012, si prescrive che:

"Gli Enti Proprietari di immobili di edilizia residenziale pubblica procedono, in alternativa a quanto disposto al paragrafo precedente, alla riqualificazione energetica degli edifici ed all'adeguamento impiantistico degli stessi, predisponendo programmi pluriennali di intervento, con l'obiettivo di un progressivo allineamento delle caratteristiche del patrimonio abitativo pubblico alle esigenze di riduzione delle dispersioni degli edifici e di educazione dell'utenza alla responsabilizzazione energetica. Nei programmi possono essere inseriti anche interventi finanziati in conto terzi attraverso l'utilizzo delle Esco e forme di sperimentazione di intervento sulle diverse tipologie impiantistiche ed edilizie presenti nel patrimonio del singolo Ente Proprietario, anche al fine di definire modalità di intervento, utilizzabili quali buone pratiche. Per tutti gli edifici di edilizia residenziale pubblica, con la definizione dei programmi pluriennali, si devono prevedere interventi che consentano di ottenere un risparmio del 15% rispetto ai consumi della stagione termica; tale risparmio dovrà essere attestato mediante un bilancio energetico che consideri le minori dispersioni dell'involucro e il maggior rendimento degli impianti ovvero il ricorso a reti di teleriscaldamento con cogenerazione o termovalorizzazione. A seguito della realizzazione degli interventi, deve essere predisposto un monitoraggio per le successive due stagioni termiche al fine di valutare l'effettivo risparmio conseguito. Con successivi atti dirigenziali Regione Lombardia definirà le modalità tecnico-operative relative ai suddetti adempimenti."

Per completezza di trattazione, si riporta anche la disposizione di norma sulla termoregolazione e contabilizzazione del calore di cui al punto 10.2 della D.G.R. IX/2601 del 30 Novembre 2011,

(alla quale l'A.L.E.R. non è sottratta, ma dovendo gestire un rilevante patrimonio edilizio, vi provvede con interventi programmati nel tempo, in base alle priorità ed alle disponibilità) che interessa gli impianti di riscaldamento a servizio degli edifici civili costituenti il patrimonio edilizio del territorio lombardo e che recita:

"La L.R. 24/06 prevede l'adozione di sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore per gli impianti termici a servizio di più unità immobiliari, al fine di favorire il contenimento dei consumi energetici attraverso la suddivisione delle spese per la climatizzazione invernale in base ai consumi effettivi di ciascuna unità. La regolazione climatica deve essere indipendente per singolo ambiente o per singola unità immobiliare e, ove possibile, assistita da compensazione climatica. La contabilizzazione deve poter individuare i consumi di energia termica utile per singola unità immobiliare e deve essere effettuata anche per i consumi di acqua calda sanitaria, ove questa è prodotta centralmente, attraverso l'individuazione dei consumi volontari di energia termica utile. In caso di impossibilità tecnica nella individuazione dei consumi di energia termica utile riferiti all'acqua calda sanitaria, è prescritta l'installazione di contatori di acqua calda sanitaria che individuino i consumi per singola unità immobiliare. I nuovi impianti progettati e realizzati successivamente all'entrata in vigore del presente dispositivo devono obbligatoriamente prevedere sistemi di termoregolazione e contabilizzazione del calore. Tale obbligo è altresì previsto per le sostituzioni dei generatori di calore, anche se la sostituzione non coinvolga tutti i generatori che costituiscono l'impianto. Eventuali casi di impossibilità tecnica alla installazione dei suddetti sistemi di termoregolazione e contabilizzazione devono essere riportati in apposita relazione tecnica del progettista o del tecnico abilitato, da allegare al libretto di centrale. L'impossibilità tecnica può riguardare solo gli impianti esistenti, anche se in corso di ristrutturazione, o le sole sostituzioni di generatori di calore. I soggetti idonei all'installazione delle apparecchiature di contabilizzazione e termoregolazione vengono individuati negli installatori di cui al successivo capitolo 15. L'installatore dovrà farsi carico anche della registrazione al CURIT dell'apposita scheda di cui a successivo atto dirigenziale. Tale scheda dovrà essere registrata al CURIT con le stesse modalità e tempistiche previste per la scheda identificativa dell'impianto e l'inosservanza di tali obblighi espone l'installatore alle medesime sanzioni previste per la gestione delle schede identificative. L'obbligo di installazione di detti sistemi per gli impianti termici esistenti si applica secondo quanto indicato nella tabella seguente:

Tipologia Impianto	Data entro cui adottare le misure necessarie per termoregolazione e contabilizzazione
Superiore 350 kW E installazione ante 1/8/97	1/8/2012
Maggiore o uguale a 116,4 kW E installazione ante 1/8/98	1/8/2013
I restanti impianti	1/8/2014

Di recente la D.G.R. IX/3522 del 22/05/2012 ne ha modificato l'assetto, dichiarando:

1. di modificare ed integrare le disposizioni di cui al punto 10.2 della deliberazione della Giunta regionale n. 2601/2011, prevedendo di posticipare l'obbligo di dotazione dei sistemi di termoregolazione e di contabilizzazione alla data dell'1.8.2014 nei seguenti casi:

- *Impianti termici per i quali il cambio di combustibile sia avvenuto dopo l'1/8/1997;*
- *Impianti termici che sono stati collegati a reti di teleriscaldamento dopo l'1.8.1997;*
- *Impianti per i quali viene approvato un progetto di ristrutturazione complessiva che consenta un miglioramento dell'efficienza energetica non inferiore al 40% rispetto al rendimento dell'impianto originario".*

In ottemperanza alla DGR IX/2601 del 30 Novembre 2011, la sostituzione del generatore di calore dell'edificio A.L.E.R. di via Dei Mulini n. 10/20 (del tipo ad alta temperatura e bruciatore bistadio, marca PIROL e potenza termica al focolare 400 kW) risponderà ai requisiti minimi degli impianti termici e cioè:

"I nuovi impianti termici, quelli ristrutturati e quelli per i quali è sostituito il generatore di calore devono rispettare i seguenti valori minimi di efficienza globale media stagionale:

- *Per i generatori con fluido termovettore liquido $75 + 3\text{Log}P_n$, dove $\text{Log} P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore;*
- *Per i generatori con fluido termovettore aria $65 + 3\text{Log}P_n$, dove $\text{Log} P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore.*

In ogni caso i generatori di calore devono avere un rendimento termico utile nominale maggiore o uguale al limite di $90 + 2\text{Log}P_n$ in corrispondenza di un carico pari al 100% della potenza termica utile nominale e dove $\text{Log}P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile nominale del generatore espressa in kW. Per valori di P_n superiori a 400 kW si applica il limite massimo corrispondente a 400 kW.

Nel caso di installazione di pompe di calore, si ha:

Le nuove pompe di calore elettriche, a gas o alimentate termicamente, abbiano un COP, un GUE o un COP_t , in condizioni nominali maggiore o uguale al rispettivo valore riportato, in funzione della tipologia impiantistica adottata, nella tabella seguente:

Pompe di calore	Tipologia	Condizioni nominali di riferimento	COP - GUE
Elettriche	aria - acqua	7° - 35°	≥ 3,00
	acqua - acqua	10° - 35°	≥ 4,50
	terra - acqua	0° - 35°	≥ 4,00
	terra - aria	0° - 20°	≥ 4,00
	acqua - aria	15° - 20°	≥ 4,70
	aria - aria	7° - 20°	≥ 4,00
Endotermiche	aria-acqua	7° - 30°	≥ 1,38
	acqua - acqua	10° - 30°	≥ 1,56
	terra - acqua	0° - 30°	≥ 1,47
	terra - aria	0° - 20°	≥ 1,59
	acqua - aria	10° - 20°	≥ 1,60
	aria - aria	7° - 20°	≥ 1,46
Assorbimento	aria - acqua	7° - 50°	≥ 1,30
	terra- acqua	0° - 50°	≥ 1,25
	acqua-acqua	10° - 50°	≥ 1,40

In generale la norma prescrive altresì che:

I valori riportati in tabella, ripresi dalla D.G.R. 8745/08 e ss.mm.ii., possono subire modifiche in ragione di eventuali aggiornamenti alla D.G.R. stessa a cui si riferiscono. I valori dell'efficienza media stagionale possono essere disattesi solo per i casi di semplice sostituzione del generatore di calore, purché vengano rispettati i valori minimi dei rendimenti previsti per i generatori stessi. All'installazione di un nuovo generatore di calore a servizio di un impianto termico centralizzato deve essere associata l'installazione di una centralina di termoregolazione programmabile che comandi ogni generatore di calore e dispositivi modulanti per la regolazione automatica della temperatura ambiente nei singoli locali o nelle singole zone che, per le loro caratteristiche di uso ed esposizione possano godere, a differenza degli altri ambienti riscaldati, di apporti di calore gratuiti. Detta centralina deve essere pilotata da sonde di rilevamento della temperatura esterna, con programmatore che consenta la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura nell'arco delle 24 ore. Nei casi di semplice sostituzione del generatore di calore è possibile derogare all'obbligo di installazione della centralina in oggetto, dimostrando la non fattibilità tecnica in apposita relazione di un tecnico abilitato. Per impianti termici individuali, la centralina deve consentire la programmazione e la regolazione della temperatura ambiente su due livelli di temperatura nell'arco delle 24 ore, non necessariamente assistita da sonde di rilevamento della temperatura esterna. Qualora, nella sostituzione del generatore di calore di un impianto termico individuale, non fosse possibile rispettare, per garantire la sicurezza, i livelli di rendimento di cui sopra, nel caso in cui il sistema fumario per l'evacuazione dei prodotti della combustione sia al servizio di più utenze e di tipo collettivo ramificato, e qualora sussistano motivi tecnici o regolamenti locali che impediscano di avvalersi della deroga prevista all'articolo 2, comma 2 del Decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 551, è possibile installare generatori di calore che abbiano rendimento termico utile, a carico parziale pari al 30% della potenza termica utile nominale, maggiore o uguale a $85 + 3\text{Log}P_n$, dove $\text{Log}P_n$ è il logaritmo in base 10 della potenza utile

nominale del generatore al servizio del singolo impianto termico, espressa in kW. Inoltre deve essere predisposta una dettagliata relazione con indicati i motivi della deroga, da allegare alla dichiarazione di conformità, ai sensi del Decreto Ministeriale 22 gennaio 2008, n. 37 e successive modifiche ed integrazioni.”

E' opportuno precisare che la scelta degli interventi di miglioramento dell'efficienza energetica è dettata, per quanto riguarda l'Azienda A.L.E.R., da un interesse pubblico a voler migliorare in generale le prestazioni termiche del proprio patrimonio esistente degli anni '70 e '80, dal rispetto della normativa vigente in particolare:

- ilcendendo sul contenimento delle dispersioni energetiche e quindi sulla riduzione di CO₂ in ambiente, oltre che sul comfort abitativo;
- eliminando i ben noti fenomeni di sbilanciamento termico e di surriscaldamento estivo degli ambienti maggiormente esposti all'irraggiamento solare.

L'obiettivo di adeguare gli edifici ad un buono standard energetico resta primario, ma le limitazioni di natura economica sgomberano il campo da ogni illusione se non la certezza di provvedervi con le proprie risorse di bilancio (o con il ricorso a finanziamento di terzi tramite ESCO) e quindi limitando l'azione progressiva della riqualificazione che sarà ridotta all'essenziale per poter coinvolgere un maggior numero di edifici. Infatti, alle A.L.E.R. è precluso, per mancanza di requisiti, il beneficio degli incentivi fiscali previsti dall'art. 11 del decreto sviluppo n. 83 del 26 giugno 2012 e cioè agevolazione fiscale del 50% per interventi di ristrutturazione edilizia e del 55% per la riqualificazione energetica.

3.4.2 Descrizione degli interventi di riqualificazione energetica

Analizziamo in dettaglio gli interventi, a partire da quello primario della ristrutturazione impiantistica.

L'impianto di riscaldamento esistente è del tipo centrale e cioè il cuore della produzione del calore è concentrata nella centrale termica posta all'esterno del complesso edilizio.

Il locale tecnologico è ubicato al piano seminterrato ed ha accesso indipendente dall'esterno. Come riportato sullo schema originale di progetto, contiene:

- il generatore di calore con relativo bruciatore, alimentato a gas metano da rete;
- un collettore di mandata e uno di ritorno ciascuno con tre stacchi (andata e ritorno) per la distribuzione del fluido termovettore a mezzo tubazioni in acciaio isolate posate in parte a vista e in parte interrate in cunicoli;
- ciascuno dei due stacchi serve n. 3 scale e cioè un gruppo di 27 alloggi (il terzo circuito collegato in comune agli altri due è di riserva) e il fluido circola a mezzo elettropompe;
- la regolazione dell'impianto è caratterizzata da due centraline, una per ogni circuito, collegate alla sonda esterna, alla sonda ad immersione sulla tubazione di mandata e al servomotore della valvola miscelatrice per la regolazione della temperatura dell'acqua.

La distribuzione del calore negli alloggi è architettata tramite radiatori in acciaio collegati in parallelo a mezzo valvole a quattro vie (distribuzione monotubo in rame isolato con derivazione dal montante di scala tramite collettore).

La riqualificazione impiantistica essenzialmente consiste:

- nella sostituzione del generatore esistente con due nuovi in acciaio (collegati tra loro in parallelo) del tipo a condensazione e a modulazione totale della potenza termica del bruciatore (alimentato a gas metano da rete);
- nella sostituzione della centralina climatica esistente e delle relative sonde in campo con una nuova collegata tramite bus alle caldaie (gestione del funzionamento in cascata), alle pompe del tipo elettronico a portata variabile (in luogo di quelle esistenti a portata fissa) e ai servomotori delle valvole miscelatrici. La conduzione originaria della caldaia mantenuta a temperatura costante con limitazione della temperatura di ritorno, viene trasformata in una a temperatura variabile con riduzione delle dispersioni di calore ed essendo i generatori due, con funzionamento in sequenza con inserimento in funzione del carico richiesto (notevole risparmio di energia primaria);
- nell'implementazione sui collettori di piano, modificandoli, di valvole di zona a tre vie abbinata a termostato ambiente (in base alla segnalazione del termostato la valvola deviatrice apre la via di alimentazione ai corpi scaldanti, oppure la chiude, by-passando il fluido direttamente nei tubi di ritorno dell'impianto);
- implementazione sulla tubazione di ritorno del singolo alloggio del contabilizzatore di calore diretto costituito da contatore a turbina (ad impulsi) collegato a sonde ad immersione di rilievo della temperatura del fluido termovettore e a display elettronico di conversione della portata in energia termica utile;
- sostituzione delle valvole a quattro vie esistenti di normale chiusura e apertura con nuove termostatiche, cioè in grado di regolare in automatico la temperatura ambiente dei locali, sfruttando gli apporti interni di calore.

Con l'ausilio del programma Edilclima impianti e, a partire dalla modellazione termica rappresentativa dello stato di fatto, si è provveduto ad effettuare una simulazione intermedia per la verifica dei nuovi parametri prestazionali calcolati a seguito della ristrutturazione impiantistica sopra descritta. Si è potuto constatare un miglioramento della classe energetica di riferimento iniziale F e un risparmio energetico pari a circa il 25%.

Di seguito si riporta la certificazione energetica calcolata con il programma di calcolo regionale CENED⁺ versione 1.20, avendo trasferito il file di diagnosi energetica in formato .xlm.

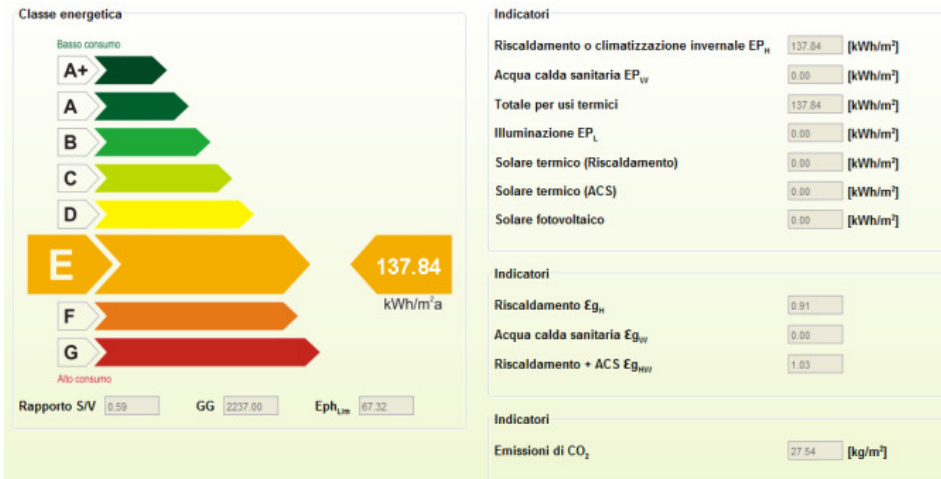


Figura 3.27 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.

Una seconda simulazione ha tenuto conto anche della possibilità di inserire (dividendo le potenzialità) oltre che la nuova caldaia a condensazione anche delle pompe di calore ad assorbimento e alimentate a gas metano secondo lo schema impiantistico seguente:

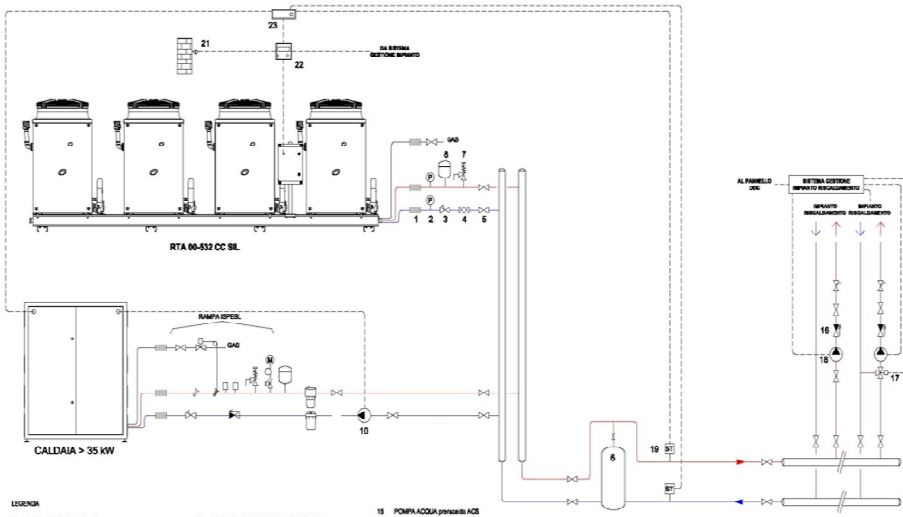


Figura 3.28 Schema impiantistico del kit costituito da pompe di calore e caldaia a condensazione

Anche in tale circostanza si è provveduto a modificare il modello termico e analogamente a ricalcolare la nuova classe energetica:

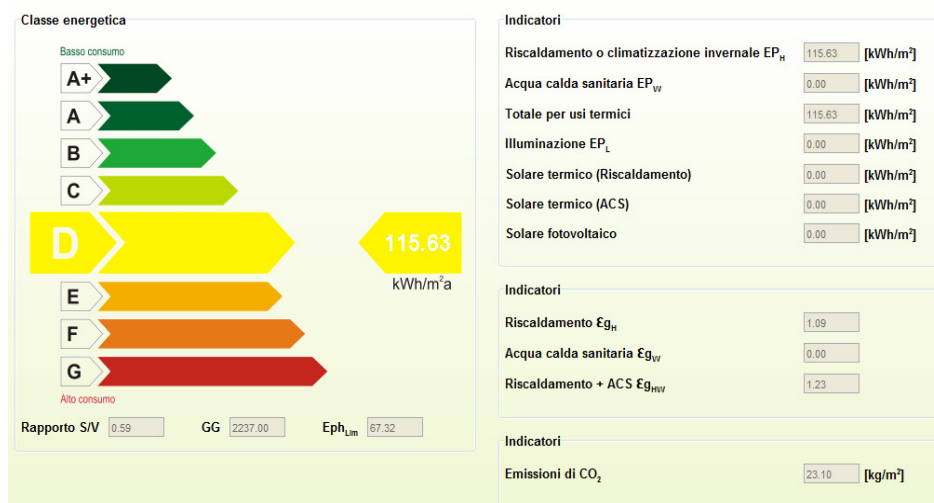


Figura 3.29 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.

Il risparmio energetico calcolato in questa seconda simulazione intermedia, rispetto ai valori iniziali, è pari a circa il 40 %.

Il secondo intervento programmato da A.L.E.R. riguarda l'involucro.

Abbiamo verificato con l'esame termografico l'integrità dell'intonaco esterno del fabbricato, del tipo plastico, eseguito in opera (tecnica utilizzata a metà degli anni '70) e attraverso la documentazione di appalto e progettuale dell'edificio esistente, che i paramenti murari (comprese le quinte in c.a.) fossero dotati all'interno dell'intercapedine di un pannello isolante in lana di vetro dello spessore di 6 cm.

Constato ciò, seguendo le indicazioni dell'A.L.E.R., si è provveduto a riqualificare l'involucro nel seguente modo:

- inserimento dietro il calorifero, ancorato sulla parete sottofinestra, di un pannello riflettente in alluminio per contenere le dispersioni di calore verso l'esterno evidenziate dall'esame termografico;
- sostituzione dei serramenti esistenti con telaio in ferro e doppio vetro (del tipo monoblocco "Secco") compreso le tapparelle, con nuovi monoblocco, telaio in alluminio a taglio termico e doppio vetro camera avente intercapedine al Argon e del tipo basso emissivi;
- isolamento del solaio sottotetto con materassino di lana di roccia dello spessore di 10 cm posto sull'estradosso, per il contenimento delle dispersioni termiche degli alloggi posti all'ultimo piano;

- completamento dell'isolamento del primo solaio di calpestio (i porticati sono già stati isolati da A.L.E.R. alla fine degli anni '80 con materassino di lana di roccia, contenuto in apposita controsoffittatura in doghe di alluminio), con isolamento all'estradosso (soffitto box) con materiale isolante ad alta prestazione termica (pannello Aeropan spessore 1 cm).

Stabilite le tipologie di intervento sopra descritte, si ripete la diagnosi energetica a partire dallo stato di fatto, tenendo ovviamente in considerazione le modifiche apportate:

- correzione degli elementi disperdenti e conseguente ricalcolo delle caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi e trasparenti;
- calcolo della potenza dispersa complessivamente dall'edificio;
- calcolo del fabbisogno energetico;
- calcolo e verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H;
- certificazione energetica;
- piano finanziario sulla base dei risultati ottenuti ed analisi costi/benefici.

3.4.3 *Correzione degli elementi disperdenti*

Dall'analisi dello stato di fatto si evince che tutte le strutture dell'edificio, opache verticali, opache orizzontali e trasparenti, presentano criticità in quanto non rispettano le prescrizioni termiche e igrometriche stabilite da normativa (Allegato C al DLgs n. 311/06), quindi andrebbero modificate o sostituite interamente; ma come abbiamo poc'anzi accennato, questa prima ipotesi sceglie di intervenire esclusivamente su alcune di queste strutture, che provvediamo ora a mostrare in modo dettagliato.

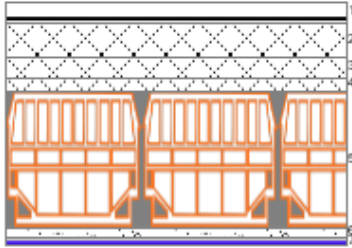
Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali

Le strutture opache orizzontali interessate dall'intervento sono il pavimento su box e il soffitto sotto tetto. Si tratta di strutture critiche in quanto non rispettano i valori di trasmittanza termica stabiliti da normativa ($U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno, $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le coperture, allegato C al DLgs n. 311/06). Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche abbiamo aggiunto, nel pavimento su box, un pannello semirigido di Aeropan dallo spessore di 1 cm, mentre nel soffitto sotto tetto, lastre di polistirene espanso sintetico dallo spessore di 10 cm.

Descrizione della struttura: Pavimento su box

Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche della struttura, siamo andati ad aggiungere uno strato isolante costituito da un pannello semirigido di Aeropan dallo spessore di 1 cm. Nonostante questa modifica, la trasmittanza termica della struttura non rispetta le indicazioni da normativa ($U = 0.556 \text{ W/m}^2\text{K} > 30\% \cdot U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$), ma non si poteva fare altrimenti a causa della mancanza dello spazio sufficiente per aggiungere uno spessore maggiore di isolante.

Trasmittanza termica	0.556 W/m ² K
Spessore	355 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	5.0 °C
Permeanza	0.657 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	453 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	426 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.040 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.072 -
Sfasamento onda termica	- 13.0 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in marmo	30,00	3,000	0,010	2700	1,00	10000
2	C.I.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
3	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
4	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
5	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
6	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
7	Pannello semirigido Aeropan	10,00	0,013	0,769	150	1,00	5
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

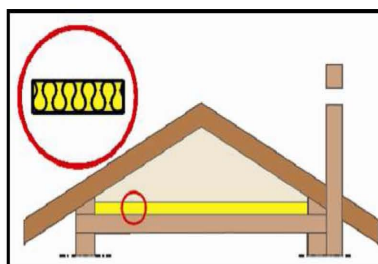
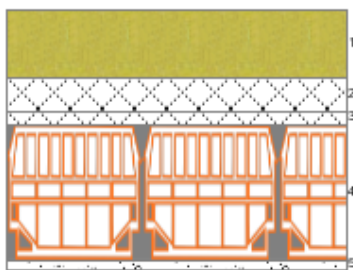
Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Descrizione della struttura: Soffitto sotto tetto

Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche della struttura, siamo andati ad aggiungere uno strato isolante costituito da lastre in polistirene espanso sintetico dallo spessore di 10 cm.

Trasmittanza termica	0.299 W/m ² K
Spessore	385 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	5.0 °C
Permeanza	25.016 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	319 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	292 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.058 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.193 -
Sfasamento onda termica	- 9.8 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Polistirene espanso sint. In lastre (UNI 7819)	100,00	0,040	2,500	25	1,25	45
2	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
3	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
4	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
5	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W

M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti

All'interno dell'edificio abbiamo tre tipologie di serramenti, due apribili di dimensioni 890 mm x 1525 mm e 1390 mm x 1525 mm, e una scorrevole di dimensioni 1890 mm x 2425 mm. Tutti i serramenti sono caratterizzati da un telaio in materiale metallico e vetri del tipo isolante costituiti da due cristalli planimetrici e possiedono persiane avvolgibili. Come per le strutture orizzontali e verticali opache, anche per quanto riguarda quelle trasparenti i valori di trasmittanza non sono verificati da normativa ($U = 2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le chiusure trasparenti comprensive degli infissi, $U = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i vetri, allegato C al DLgs n. 311/06). Per migliorare le caratteristiche termiche dei componenti finestrati, siamo andati a sostituirli con serramenti di uguali dimensioni, costituiti anch'essi da telaio in materiale metallico, ma con doppio vetro con vetro camera ad argon e con maggiormente performanti, quindi con $U = 2.10 \text{ W/m}^2\text{K}$ anziché $U = 3.27 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Infisso esistente

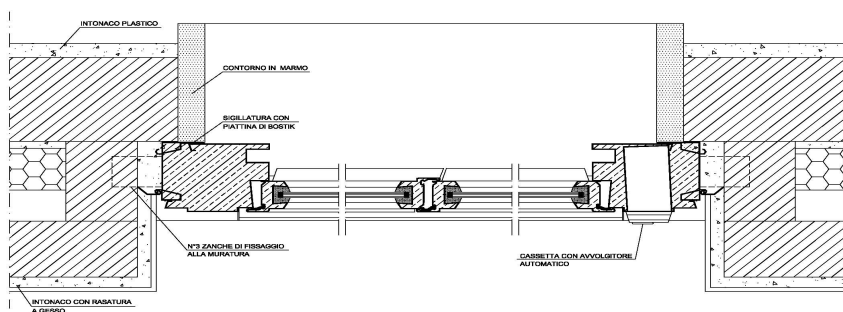


Figura 3.30 Serramento esistente con telaio metallico e vetri del tipo isolante

Nuovo infisso

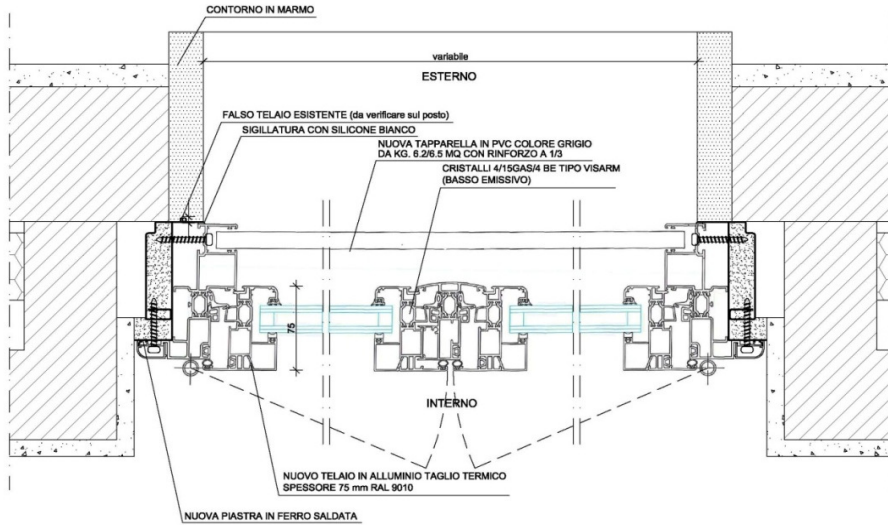
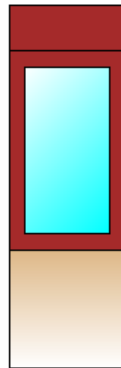


Figura 3.31 Nuovo serramento con telaio metallico e doppio vetro con vetro camera ad argon

Descrizione della finestra: Finestra 890 x 1525



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	-
Classe di permeabilità	Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w 2.100 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g 1.100 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	ϵ	0.837 -
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\text{ inv}}$	1.00 -
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\text{ est}}$	1.00 -

Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -
--------------------------------	------------	---------

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0.16 m ² K/W
Ore giornaliere di chiusura		8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza		89.0 cm
Altezza		152.5 cm

Caratteristiche del telaio

Area totale	A_w	1.357 m ²
Area vetro	A_g	0.835 m ²
Area telaio	A_f	0.522 m ²
Fattore di forma	F_f	0.62 -
Perimetro vetro	L_g	3.870 m
Perimetro telaio	L_f	4.830 m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	2.402 W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------------------

Cassonetto

Trasmittanza termica	U	1.122 W/m ² K
Altezza	H_{cass}	35.00 cm
Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.31 m ²

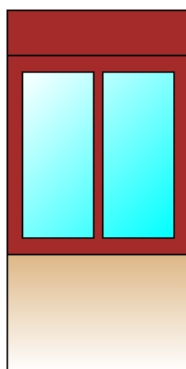
Muro sottofinestra

Trasmittanza termica	U	0.926 W/m ² K
Altezza	H_{sott}	90.00 cm
Area		0.80 m ²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica	Ψ	0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale		4.83 m

Descrizione della finestra: Finestra 1390 x 1525



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	-
Classe di permeabilità	Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w 2.100 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g 1.100 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	ϵ	0.837 -
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\text{ inv}}$	1.00 -
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\text{ est}}$	1.00 -
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure	0.16 m ² K/W
Ore giornaliere di chiusura	8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza	139.0 cm
Altezza	152.5 cm

Caratteristiche del telaio

Area totale	A_w	2.120 m ²
Area vetro	A_g	1.375 m ²
Area telaio	A_f	0.745 m ²
Fattore di forma	F_f	0.65 -
Perimetro vetro	L_g	7.280 m
Perimetro telaio	L_f	5.830 m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U 2.246 W/m²K

Cassonetto

Trasmittanza termica U 1.122 W/m²K

Altezza H_{cass} 35.00 cm

Profondità P_{cass} 30.00 cm

Area frontale 0.49 m²

Muro sottofinestra

Trasmittanza termica U 0.926 W/m²K

Altezza H_{sott} 90.00 cm

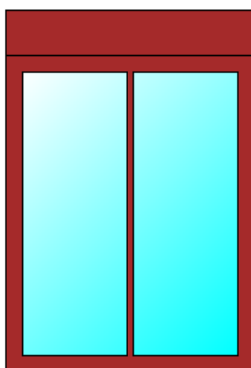
Area 1.25 m²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica Ψ 0.350 W/mK

Lunghezza perimetrale 5.83 m

Descrizione della finestra: Finestra 1890 x 2425



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento -

Classe di permeabilità Senza classificazione

Trasmittanza termica U_w 2.100 W/m²K

Trasmittanza solo vetro U_g 1.100 W/m²K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività ε 0.837 -

Fattore tendaggi (invernale) f_{c inv} 1.00 -

Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1.00 -
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0.16 m ² K/W
Ore giornaliere di chiusura		8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza		189.0 cm
Altezza		242.5 cm

Caratteristiche del telaio

Area totale	A_w	4.583 m ²
Area vetro	A_g	3.518 m ²
Area telaio	A_f	1.065 m ²
Fattore di forma	F_f	0.77 -
Perimetro vetro	L_g	11.960 m
Perimetro telaio	L_f	8.630 m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	2.674 W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------------------

Cassonetto

Trasmittanza termica	U	1.122 W/m ² K
Altezza	H_{cass}	35.00 cm
Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.66 m ²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica	Ψ	0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale		8.63 m

3.4.4 Calcolo della potenza dispersa

Dati climatici della località

Località	Treviglio
Provincia	Bergamo
Altitudine s.l.m.	125 m
Gradi giorno	2237
Zona climatica	E

Temperatura esterna di progetto - 5.0 °C

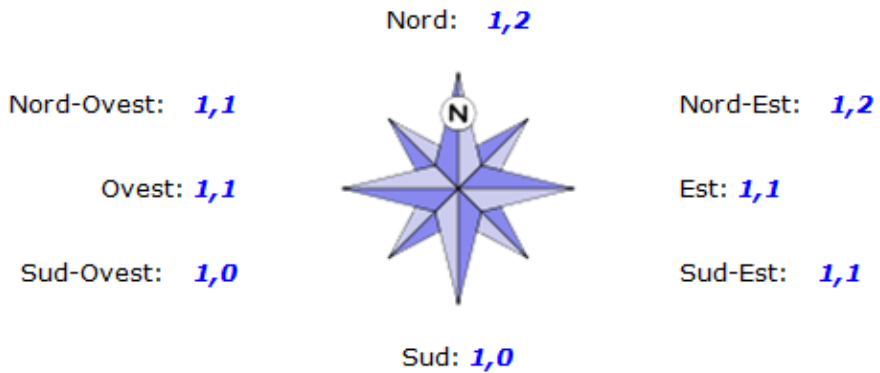
Dati geometrici dell'intero edificio

Superficie in pianta netta 3956.76 m²
Superficie esterna lorda 8810.50 m²
Volume netto 11078.93 m³
Volume lordo 15125.35 m³
Rapporto S/V 0.58 m⁻¹

Opzioni di calcolo

Metodologia di calcolo Vicini presenti
Coefficiente di sicurezza adottato 1.12 –

Coefficienti di esposizione solare



Avendo apportato modifiche all'involucro dell'edificio, anche le dispersioni di calore per trasmissione attraverso esso cambiano, le mostriamo di seguito, raggruppate per esposizione.

Prospetto Nord – Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	692,61	10985	5,5
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	280,22	7296	3,7
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	61,59	1711	0,9
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	66,57	2242	1,1
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	128,43	77	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	128,43	212	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	513,72	8399	4,2
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	475,14	4989	2,5
Finestra 890 x 1525	2,100	-5,0	25,0	40,72	2565	1,3
Finestra 1390 x 1525	2,100	-5,0	25,0	63,64	4009	2,0
Porta Finestra 1890 x 2425	2,100	-5,0	25,0	82,42	5193	2,6
Totale					47679	24,0

Prospetto Sud – Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	537,69	7818	3,9
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	381,15	9097	4,6
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	49,27	1255	0,6
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	50,31	1553	0,8
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	115,83	64	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	115,83	175	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	463,32	6944	3,5
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	359,42	3459	1,7
Finestra 890 x 1525	2,100	-5,0	25,0	32,58	1881	0,9
Finestra 1390 x 1525	2,100	-5,0	25,0	50,91	2940	1,5
Porta Finestra 1890 x 2425	2,100	-5,0	25,0	54,95	3173	1,6
Totale					38359	19,3

Prospetto Sud – Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	750,15	10411	5,2
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	299,84	6831	3,4
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	61,59	1497	0,8
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	59,21	1744	0,9
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	133,11	70	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	133,11	192	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	532,44	7617	3,8
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	423,41	3890	2,0
Finestra 890 x 1525	2,100	-5,0	25,0	40,72	2245	1,1
Finestra 1390 x 1525	2,100	-5,0	25,0	63,64	3508	1,8
Porta Finestra 1890 x 2425	2,100	-5,0	25,0	54,95	3029	1,5

Totale 41035 20,6

Prospetto Nord – Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0,529	-5,0	25,0	650,32	9885	5,0
Quinta perimetrale	0,868	-5,0	25,0	258,14	6441	3,2
Muro sotto finestra	0,926	-5,0	25,0	49,27	1312	0,7
Cassonetto	1,122	-5,0	25,0	46,63	1505	0,8
R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	113,17	65	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	113,17	179	0,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	-5,0	25,0	452,68	7093	3,6
W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	333,55	3356	1,7
Finestra 890 x 1525	2,100	-5,0	25,0	32,58	1967	1,0
Finestra 1390 x 1525	2,100	-5,0	25,0	50,91	3074	1,5
Porta Finestra 1890 x 2425	2,100	-5,0	25,0	41,21	2488	1,3

Totale 37364 18,8

Prospetto Orizzontale

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
<i>Pavimento su porticato</i>	0,418	-5,0	25,0	618,14	6461	3,2
<i>Pavimento su box</i>	0,556	5,0	15,0	927,30	7735	3,9
<i>Soffitto sotto tetto</i>	0,299	5,0	15,0	1545,45	6929	3,5
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	-5,0	25,0	688,91	207	0,1
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	-5,0	25,0	688,91	720	0,4

Totale 22052 11,1

Prospetto non disperdente

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
<i>Muro perimetrale</i>	0,529	-5,0	25,0	34,02	450	0,2
<i>Muro su vano scala</i>	0,811	8,0	12,0	822,22	8001	4,0
<i>Porta ingresso alloggio</i>	1,911	8,0	12,0	62,37	1430	0,7
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	-5,0	25,0	93,88	23	0,0
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	-5,0	25,0	93,88	62	0,0
<i>IF - Parete - Solaio interpiano</i>	0,545	-5,0	25,0	375,52	2456	1,2

Totale 12421 6,2

Legenda simboli

- U Trasmittanza termica di un elemento disperdente [W/m²K]
- Ψ Trasmittanza termica lineica di un ponte termico [W/m²K]
- T_e Temperatura di esposizione dell'elemento [°C]
- ΔT Differenza tra la temperatura esterna di progetto e quella interna [°C]
- Sup. Superficie di un elemento disperdente [m²]
- Lungh. Lunghezza di un ponte termico [m]
- Φ_{tr} Potenza dispersa per trasmissione [W]
- %Φ_{Tot} Rapporto percentuale tra il Φ_{tr} dell'elemento e il totale dei Φ_{tr}

La potenza dispersa per ventilazione φ_{ve} essendo riferita al volume netto dell'edificio resta uguale.

Descrizione zona termica	V _{netto} [m ³]	Φ _{ve} [W]
<i>Zona 1</i>	11078,9	46162

Totale 46162

Legenda simboli

V_{netto} Volume netto della zona termica
 ϕ_{ve} Potenza dispersa per ventilazione

Anche la potenza dispersa per intermittenza ϕ_{rh} riferita alle fasi di accensione e di spegnimento dell'impianto resta uguale.

Descrizione zona termica	S_u [m ²]	f_{RH} [-]	Φ_{rh} [W]
Zona 1	3956,76	6	23741

Totale 23741

Legenda simboli

S_u Superficie in pianta netta della zona termica
 f_{rh} Fattore di ripresa
 ϕ_{ve} Potenza dispersa per intermittenza

Come già detto, le dispersioni totali sono date dalla somma delle singole dispersioni, moltiplicate per il coefficiente di sicurezza:

$$\phi_{\text{hl,sic}} = (\phi_{\text{tr}} + \phi_{\text{ve}} + \phi_{\text{rh}}) \cdot 1.12$$

Dove:

$\phi_{\text{hl,sic}}$ Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza [W]
 ϕ_{tr} Potenza dispersa per trasmissione [W]
 ϕ_{ve} Potenza dispersa per ventilazione [W]
 ϕ_{rh} Potenza dispersa per intermittenza [W]
 1.12 Coefficiente di sicurezza adottato

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni totali è il seguente:

Descrizione zona termica	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{\text{hl,sic}}$ [W]
Zona 1	268813	301071

Totale 268813 301071

Legenda simboli

ϕ_{hl} Potenza totale dispersa
 $\phi_{\text{hl,sic}}$ Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

3.4.5 Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro Q_H

Per procedere con il calcolo del fabbisogno energetico, bisogna tenere conto di alcune informazioni riguardanti l'edificio e il suo contorno:

Opzioni di calcolo:

Metodologia di calcolo	Vicini presenti
Stagione di calcolo	Convenzionale, dal 15 Ottobre al 15 Aprile
Durata della stagione	183 giorni

Dati geometrici:

Superficie in pianta netta	3956.76 m ²
Superficie esterna lorda	8810.50 m ²
Volume netto	11078.93 m ³
Volume lordo	15125.35 m ³
Rapporto S/V	0.58 m ⁻¹

Temperature esterne medie e numero di giorni nella stagione considerata

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	3,8	5,6	9,6	13,0	-	-	-	-	-	13,5	9,3	5,2
N° giorni	-	31	28	31	15	-	-	-	-	-	17	30	31

Irradiazione solare giornaliera media mensile

Esposizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Nord	MJ/m ²	1,6	2,4	3,6	5,3	7,6	9,2	9,1	6,4	4,2	2,9	1,8	1,4
Nord-Est	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Est	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Sud-Est	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Sud	MJ/m ²	6,7	8,9	10,9	10,5	9,8	9,6	10,5	11,2	11,7	10,9	7,0	6,4
Sud-Ovest	MJ/m ²	5,3	7,5	10,3	11,6	11,9	12,2	13,5	13,1	11,8	9,4	5,7	5,0
Ovest	MJ/m ²	3,2	5,2	8,3	10,9	12,8	13,9	15,3	13,0	10,0	6,6	3,5	2,9
Nord-Ovest	MJ/m ²	1,7	2,9	5,2	8,0	10,4	11,9	12,5	9,7	6,5	3,7	2,0	1,5
Orizzontale	MJ/m ²	4,0	6,8	11,3	15,9	19,5	21,6	23,2	19,1	13,9	8,7	4,6	3,6

Prima di procedere con il calcolo del fabbisogno energetico bisogna precisare che le informazioni riguardanti l'edificio e il suo contorno sono rimaste quasi invariate (tranne per il cambio serramenti e la coibentazione del solaio sottotetto e sui box), ciò che ha subito modifiche più rilevanti è il sistema impiantistico, adeguandolo alla normativa secondo le indicazioni della D.G.R. IX/2601 del 30 Novembre 2011 e della successiva D.G.R. IX/3522 del 23 Maggio 2012. Innanzitutto, come già detto, abbiamo sostituito il vecchio generatore con uno nuovo a condensazione in alluminio (Figura 3.32) che adatta la potenza termica utile alla richiesta di calore modulando la potenza del bruciatore da 30 a 300 kW. Esso sarà dotato anche di una nuova

centralina di regolazione climatica che con più rilievi in campo e abbinata a pompe elettroniche di distribuzione del fluido termovettore migliora sensibilmente le capacità di ottimizzazione del sistema edificio-impianto esistente.



Figura 3.32 Generatore a condensazione in alluminio con centralina di regolazione climatica

Abbiamo sostituito i circolatori esistenti a velocità e portata costante con nuovi circolatori elettronici ad alto rendimento; essi adattano le prestazioni in funzione dei reali fabbisogni dell'impianto (portata e pressione) con un risparmio energetico fino all'80% rispetto ad un circolatore tradizionale con conseguente riduzione dei rumori all'interno delle tubazioni in presenza di valvole termostatiche (Figura 3.33).



Figura 3.33 Circolatore tradizionale esistente e circolatore elettronico ad alto rendimento

Siamo andati ad implementare, sul sistema monotubo di distribuzione del fluido termovettore all'interno degli alloggi, i contatori di calore diretti e le valvole di zona abbinati al cronotermostato ambiente che permettono:

- la contabilizzazione del calore, in modo che l'inquilino abbia il controllo del consumo di energia termica asservita all'alloggio, , verificando in termini economici il risparmio;
- l'autonomia impiantistica, grazie all'installazione di cronotermostati del tipo digitale programmabili posizionati all'interno di ogni abitazione e abbinati a elettrovalvole di zona.

In figura 3.34 si può notare la distribuzione esistente, con i collettori di piano collegati derivati con stacco dal montante di scala (mandata e di ritorno), ciascuno dei quali serve un alloggio, e la modifica apportata con l'aggiunta degli elementi sopra citati.

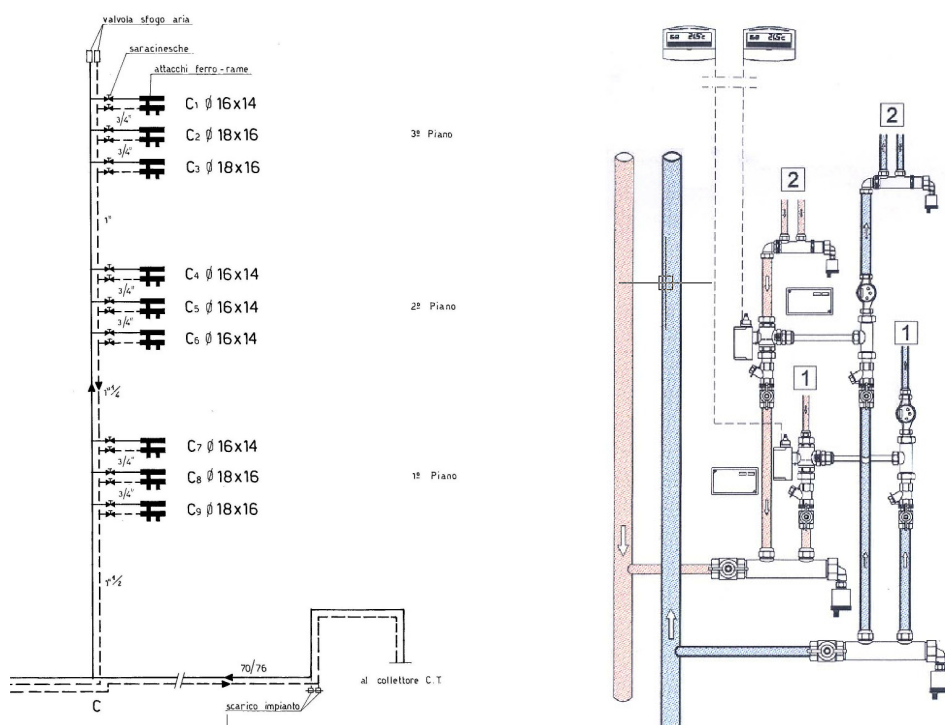


Figura 3.34 Distribuzione esistente e nuova distribuzione, successiva alle modifiche apportate

Infine, abbiamo sostituito le valvole a quattro vie dei radiatori, con nuove valvole di regolazione automatica con comando termostatico adatte per impianti monotubo.

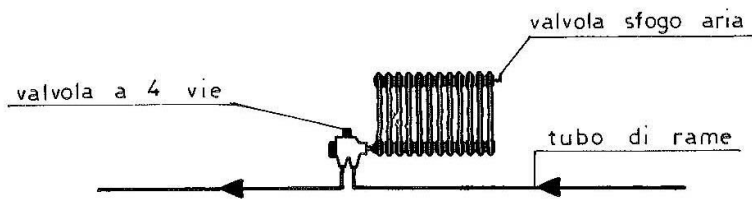


Figura 3.35 Circuito esistente monotubo e nuova valvola termostatica

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale invernale $Q_{H,nd}$

Di seguito i risultati dei calcoli relativi alle dispersioni per trasmissione.

H_T : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso l'esterno

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	H _T [W/K]
Muro perimetrale	0,523	2664,79	1394,4
Quinta perimetrale	0,853	1219,35	1040,5
Muro sotto finestra	0,908	221,72	201,2
Cassonetto	1,098	222,73	244,6
Pavimento su porticato	0,414	618,14	256,1
R - Parete - Copertura	0,020	490,54	9,8
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	766,11	42,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	1962,16	1069,4
W - Parete - Telaio	0,350	1591,51	557,0
Finestra 890 x 1525	1,924	146,60	282,0
Finestra 1390 x 1525	1,924	229,10	440,8
Porta Finestra 1890 x 2425	1,924	233,53	449,3

Totale 5987,3

H_U : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, U} [-]	H _U [W/K]
Muro su vano scala	0,811	822,22	0,48	320,0
Porta ingresso alloggio	1,911	62,37	0,48	57,2
Pavimento su box	0,556	927,30	0,60	309,4
Soffitto sotto tetto	0,299	1545,45	0,60	277,2
R - Parete - Copertura	0,020	782,79	-	9,2
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	507,22	-	16,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	375,52	-	98,2

Totale 1087,3

H_N : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, N} [-]	H _N [W/K]
Quinta con giunto divisorio alloggio	1,001	841,70	0,00	0,0
Quinta divisorio alloggio	1,268	181,02	0,00	0,0
Pavimento intermedio	0,972	3090,90	0,00	0,0
Soffitto intermedio	1,125	3090,90	0,00	0,0
R - Parete - Copertura	0,020	18,48	-	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	18,48	-	0,0
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	73,92	-	0,0
IW - Parete - Parete interna	-0,008	516,00	-	0,0

Totale 0,0

Zona 1

Nr.	Descrizione locale	V _{netto} [m ³]	n _{e, H} [1/h]	H _{ve} [W/K]
1	Alloggio 1A	204,40	0,30	20,4
2	Alloggio 2A	206,05	0,30	20,6
3	Alloggio 3A	204,20	0,30	20,4
4	Alloggio 1B	205,91	0,30	20,6
5	Alloggio 2B	205,91	0,30	20,6
6	Alloggio 3B	204,20	0,30	20,4
7	Alloggio 1C	204,29	0,30	20,4
8	Alloggio 2B	205,74	0,30	20,6
9	Alloggio 3C	204,29	0,30	20,4
10	Alloggio 1D	204,32	0,30	20,4
11	Alloggio 2D	205,46	0,30	20,5
12	Alloggio 3D	207,03	0,30	20,7
13	Alloggio 1 E	205,69	0,30	20,6
14	Alloggio 2 E	206,70	0,30	20,7

15	Alloggio 3E	204,26	0,30	20,4
16	Alloggio 1 F	204,34	0,30	20,4
17	Alloggio 2 F	204,60	0,30	20,5
18	Alloggio 3 F	205,58	0,30	20,6
19	Alloggio 4 A	204,20	0,30	20,4
20	Alloggio 5 A	206,05	0,30	20,6
21	Alloggio 6 A	204,40	0,30	20,4
22	Alloggio 1 B	204,20	0,30	20,4
23	Alloggio 2 B	205,91	0,30	20,6
24	Alloggio 3 B	205,91	0,30	20,6
25	Alloggio 4 C	204,29	0,30	20,4
26	Alloggio 5 C	205,74	0,30	20,6
27	Alloggio 6 C	204,29	0,30	20,4
28	Alloggio 4 D	204,32	0,30	20,4
29	Alloggio 5 D	205,46	0,30	20,5
30	Alloggio 6 D	207,03	0,30	20,7
31	Alloggio 4 E	205,69	0,30	20,6
32	Alloggio 5 E	206,70	0,30	20,7
33	Alloggio 6 E	204,26	0,30	20,4
34	Alloggio 4 F	204,34	0,30	20,4
35	Alloggio 5 F	204,60	0,30	20,5
36	Alloggio 6 F	205,58	0,30	20,6
37	Alloggio 7 A	204,20	0,30	20,4
38	Alloggio 8 A	206,05	0,30	20,6
39	Alloggio 9 A	204,40	0,30	20,4
40	Alloggio 7 B	204,20	0,30	20,4
41	Alloggio 8 B	205,91	0,30	20,6
42	Alloggio 9 B	205,91	0,30	20,6
43	Alloggio 7 C	204,29	0,30	20,4
44	Alloggio 8 C	205,74	0,30	20,6
45	Alloggio 9 C	204,29	0,30	20,4
46	Alloggio 7 D	204,32	0,30	20,4
47	Alloggio 8 D	205,46	0,30	20,5
48	Alloggio 9 D	207,03	0,30	20,7
49	Alloggio 7 E	205,69	0,30	20,6
50	Alloggio 8 E	206,70	0,30	20,7
51	Alloggio 9 E	204,26	0,30	20,4
52	Alloggio 7 F	204,34	0,30	20,4
53	Alloggio 8 F	204,60	0,30	20,5
54	Alloggio 9 F	205,58	0,30	20,6

Totale **1107,9**

Legenda simboli

- U Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
- Ψ Trasmittanza termica lineica del ponte termico
- Sup. Superficie dell'elemento disperdente

Lungh.	Lunghezza dell'elemento disperdente
$b_{tr, X}$	Fattore di correzione dello scambio termico
V_{netto}	Volume netto del locale
$n_{e, H}$	Ricambio orario

Sommando le perdite per trasmissione con quelle per ventilazione e sottraendo la somma degli apporti interni e solari, il fabbisogno di energia utile stagionale invernale $Q_{H, nd}$ dell'edificio risulta essere:

Mese	$Q_{H, tr}$ [kWh]	$Q_{H, ve}$ [kWh]	$Q_{H, ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H, nd}$ [kWh]
Ottobre	21080	2959	24039	8583	6705	15288	10626
Novembre	58364	8535	66900	8629	11832	20460	46940
Dicembre	81890	12199	94090	7393	12226	19620	74653
Gennaio	89259	13353	102613	8041	12226	20267	82510
Febbraio	72064	10721	82785	11569	11043	22612	60592
Marzo	58731	8572	67303	18858	12226	31084	38197
Aprile	19742	2789	22532	11753	5916	17669	8022
Totali	401132	59129	460260	74826	72174	146999	321541

Legenda simboli

$Q_{H, tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H, ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H, ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H, tr} + Q_{H, ve}$
Q_{SI}	Apporti solari
Q_i	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = $Q_{SI} + Q_i$
$Q_{H, nd}$	Energia Utile

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale estivo $Q_{H,nd}$

H_T : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso l'esterno

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	H _T [W/K]
Muro perimetrale	0,523	2664,79	1394,4
Quinta perimetrale	0,853	1219,35	1040,5
Muro sotto finestra	0,908	221,72	201,2
Cassonetto	1,098	222,73	244,6
Pavimento su porticato	0,414	618,14	256,1
R - Parete - Copertura	0,020	490,54	9,8
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	766,11	42,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	1962,16	1069,4
W - Parete - Telaio	0,350	1591,51	557,0
Finestra 890 x 1525	1,924	146,60	282,0
Finestra 1390 x 1525	1,924	229,10	440,8
Porta Finestra 1890 x 2425	1,924	233,53	449,3

Totale 5987,3

H_U : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, U} [-]	H _U [W/K]
Muro su vano scala	0,811	822,22	0,48	320,0
Porta ingresso alloggio	1,911	62,37	0,48	57,2
Pavimento su box	0,556	927,30	0,60	309,4
Soffitto sotto tetto	0,299	1545,45	0,60	277,2
R - Parete - Copertura	0,020	782,79	-	9,2
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	507,22	-	16,1
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	375,52	-	98,2

Totale 1087,3

H_N : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr, N} [-]	H _N [W/K]
Quinta con giunto divisorio alloggio	1,001	841,70	0,00	0,0
Quinta divisorio alloggio	1,268	181,02	0,00	0,0
Pavimento intermedio	0,972	3090,90	0,00	0,0
Soffitto intermedio	1,125	3090,90	0,00	0,0
R - Parete - Copertura	0,020	18,48	-	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	18,48	-	0,0
IF - Parete - Solaio interpiano	0,545	73,92	-	0,0
IW - Parete - Parete interna	-0,008	516,00	-	0,0

Totale 0,0

289

Zona 1

Nr.	Descrizione locale	V _{netto} [m ³]	n _{e, c} [1/h]	H _{ve} [W/K]
1	Alloggio 1A	204,40	0,30	20,4
2	Alloggio 2A	206,05	0,30	20,6
3	Alloggio 3A	204,20	0,30	20,4
4	Alloggio 1B	205,91	0,30	20,6
5	Alloggio 2B	205,91	0,30	20,6
6	Alloggio 3B	204,20	0,30	20,4
7	Alloggio 1C	204,29	0,30	20,4
8	Alloggio 2B	205,74	0,30	20,6
9	Alloggio 3C	204,29	0,30	20,4
10	Alloggio 1D	204,32	0,30	20,4
11	Alloggio 2D	205,46	0,30	20,5
12	Alloggio 3D	207,03	0,30	20,7
13	Alloggio 1 E	205,69	0,30	20,6
14	Alloggio 2 E	206,70	0,30	20,7
15	Alloggio 3E	204,26	0,30	20,4
16	Alloggio 1 F	204,34	0,30	20,4
17	Alloggio 2 F	204,60	0,30	20,5
18	Alloggio 3 F	205,58	0,30	20,6
19	Alloggio 4 A	204,20	0,30	20,4
20	Alloggio 5 A	206,05	0,30	20,6
21	Alloggio 6 A	204,40	0,30	20,4
22	Alloggio 1 B	204,20	0,30	20,4
23	Alloggio 2 B	205,91	0,30	20,6
24	Alloggio 3 B	205,91	0,30	20,6
25	Alloggio 4 C	204,29	0,30	20,4
26	Alloggio 5 C	205,74	0,30	20,6
27	Alloggio 6 C	204,29	0,30	20,4
28	Alloggio 4 D	204,32	0,30	20,4
29	Alloggio 5 D	205,46	0,30	20,5
30	Alloggio 6 D	207,03	0,30	20,7
31	Alloggio 4 E	205,69	0,30	20,6
32	Alloggio 5 E	206,70	0,30	20,7
33	Alloggio 6 E	204,26	0,30	20,4
34	Alloggio 4 F	204,34	0,30	20,4
35	Alloggio 5 F	204,60	0,30	20,5
36	Alloggio 6 F	205,58	0,30	20,6
37	Alloggio 7 A	204,20	0,30	20,4
38	Alloggio 8 A	206,05	0,30	20,6
39	Alloggio 9 A	204,40	0,30	20,4
40	Alloggio 7 B	204,20	0,30	20,4
41	Alloggio 8 B	205,91	0,30	20,6
42	Alloggio 9 B	205,91	0,30	20,6
43	Alloggio 7 C	204,29	0,30	20,4

44	Alloggio 8 C	205,74	0,30	20,6
45	Alloggio 9 C	204,29	0,30	20,4
46	Alloggio 7 D	204,32	0,30	20,4
47	Alloggio 8 D	205,46	0,30	20,5
48	Alloggio 9 D	207,03	0,30	20,7
49	Alloggio 7 E	205,69	0,30	20,6
50	Alloggio 8 E	206,70	0,30	20,7
51	Alloggio 9 E	204,26	0,30	20,4
52	Alloggio 7 F	204,34	0,30	20,4
53	Alloggio 8 F	204,60	0,30	20,5
54	Alloggio 9 F	205,58	0,30	20,6

Totale 1107,9

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
Sup.	Superficie dell'elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza dell'elemento disperdente
$b_{tr, X}$	Fattore di correzione dello scambio termico
V_{netto}	Volume netto del locale
$n_{e, H}$	Ricambio orario

Sommando le perdite per trasmissione con quelle per ventilazione e sottraendo la somma degli apporti interni e solari, il fabbisogno di energia utile stagionale estivo dell'edificio risulta essere:

Mese	$Q_{C, tr}$ [kWh]	$Q_{C, ve}$ [kWh]	$Q_{C, ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{qn} [kWh]	$Q_{C, nd}$ [kWh]
Marzo	49186	7340	56526	10950	7099	18049	1
Aprile	64986	9572	74558	23507	11832	35338	37
Maggio	47677	6841	54519	27830	12226	40056	860
Giugno	24236	3191	27427	29269	11832	41101	13993
Luglio	12412	1319	13730	32338	12226	44564	30834
Agosto	15043	1731	16774	28355	12226	40581	23813
Settembre	31368	4307	35675	21921	11832	33753	2836
Ottobre	62415	9149	71565	15651	12226	27878	7
Novembre	26728	3984	30713	2876	3944	6820	0
Totali	334052	47435	381487	192698	95443	288140	72380

Legenda simboli

$Q_{H, tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H, ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H, ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H, tr} + Q_{H, ve}$
Q_{SI}	Apporti solari
Q_i	Apporti interni

Q_{gn} Totale apporti gratuiti = $Q_{SI} + Q_I$
 $Q_{H,nd}$ Energia Utile

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Modalità di funzionamento dell'impianto di riscaldamento

Funzionamento intermittente (con spegnimento)

Giorni a settimana di funzionamento 7 giorni

Ore giornaliere di spegnimento 10.0 ore

Fattore correttivo dell'energia utile

Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Rendimenti stagionali dell'impianto

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	93,0	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	99,5	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{H,d}$	94,7	%
Rendimento di produzione	$\eta_{H,gn}$	100,3	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	85,4	%

Secondo il comma 1, Allegato I del DLgs 311, bisogna verificare che il rendimento globale medio stagionale (η_g) sia $\geq (65 + 3\log P_n)\%$ se $P_n < 1000$ kW, e $\eta_g \geq 74\%$ se $P_n \geq 1000$ kW. Per quanto riguarda il nostro edificio, abbiamo che:

$$85.4 \% > 82.5 \%$$

Questo significa che il rendimento globale medio stagionale risulta essere maggiore o uguale al valore del rendimento globale medio stagionale limite, quindi la relazione, dopo le modifiche apportate, viene verificata.

Caratteristiche sottosistema di emissione

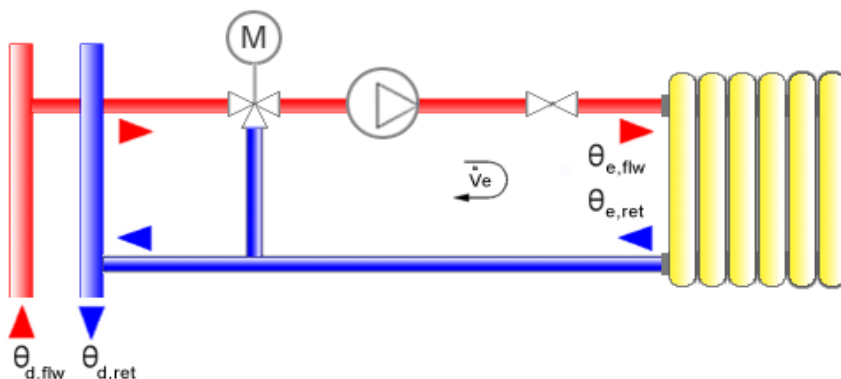
Tipo di terminale di erogazione Radiatori su parete esterna non isolata
 (U > 0.8 W/m²K)
 Potenza nominale dei corpi scaldanti 301071 W
 Fabbisogni elettrici 0 W

Caratteristiche sottosistema di regolazione

Tipo Climatica + zona con regolatore

Caratteristiche sottosistema di distribuzione

Descrizione rete	Rete di distribuzione riscaldamento
Coefficiente di perdita	0.08 -
Fabbisogni elettrici	1065 W
Fattore di recupero termico	0.85 -
Tipo di circuito	Termostato modulante, valvola a 2 vie



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10.0 %
ΔT nominale lato aria	50.0 °C
Esponente n del corpo scaldante	1.30 -
ΔT di progetto lato acqua	30.0 °C
Portata nominale	9500.23 kg/h
Temperatura di mandata massima	80.0 °C
Temperatura di ritorno obiettivo	20.0 °C
ΔT mandata/ritorno massimo	40.0 °C
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	5.0 °C

Temperatura dell'acqua del circuito

Mese	giorni	EMETTITORI			DISTRIBUZIONE		
		$\theta_{e,avg}$ [°C]	$\theta_{e,flw}$ [°C]	$\theta_{e,ret}$ [°C]	$\theta_{d,avg}$ [°C]	$\theta_{d,flw}$ [°C]	$\theta_{d,ret}$ [°C]
ottobre	17	26,7	33,4	20,0	29,2	38,4	20,0
novembre	30	37,7	55,3	20,0	40,2	60,3	20,0
dicembre	31	46,2	66,2	26,2	48,7	71,2	26,2
gennaio	31	48,5	68,5	28,5	51,0	73,5	28,5
febbraio	28	43,2	63,2	23,2	45,7	68,2	23,2
marzo	31	33,1	46,3	20,0	35,6	51,3	20,0
aprile	15	25,1	30,2	20,0	27,6	35,2	20,0

Legenda simboli

$\theta_{e,avg}$	Temperatura media degli emettitori
$\theta_{e,flw}$	Temperatura di mandata degli emettitori
$\theta_{e,ret}$	Temperatura di ritorno degli emettitori
$\theta_{d,avg}$	Temperatura media della rete di distribuzione
$\theta_{d,flw}$	Temperatura di mandata della rete di distribuzione
$\theta_{d,ret}$	Temperatura di ritorno della rete di distribuzione

Sottosistema di generazione

Generatore 1 – Caldaia a condensazione

Dati generali

Servizio	Riscaldamento	
Tipo di generatore	Caldaia a condensazione	
Marca/Serie/Modello	PARADIGMA ITALIA SRL/Gas 210 Eco/Gas 210 Eco 200	
Potenza nominale al focolare	ϕ_{cn}	204.00 kW

Caratteristiche

Perdita al camino a bruciatore acceso (Valore noto da costruttore o misurato)	$P'_{ch,on}$	2.10 %
Perdita al camino a bruciatore spento (Valore noto da costruttore o misurato)	$P'_{ch,off}$	0.00 %
Perdita al mantello (Valore noto da costruttore o misurato)	$P'_{gn,env}$	0.00 %
Rendimento utile a potenza nominale	$\eta_{gn,Pn}$	97.90 %

Rendimento utile a potenza intermedia	$\eta_{gn,Pint}$	108.00 %
ΔT temperatura di ritorno/fumi	$\Delta\theta_{w,fl}$	60.0 °C
Tenore di ossigeno dei fumi	$O_{2,fl,dry}$	6.00 %

Fabbisogni elettrici

Potenza elettrica bruciatore	W_{br}	160 W
Fattore di recupero elettrico	k_{br}	0.80 -
Potenza elettrica pompe circolazione	W_{af}	632 W
Fattore di recupero elettrico	k_{af}	0.80 -

Dati per generatori modulanti (riferiti alla potenza minima)

Potenza minima al focolare	$\phi_{cn,min}$	21.00 kW
Perdita al camino a bruciatore acceso	$P'_{ch,on,min}$	0.00 %
Potenza elettrica bruciatore	$W_{br,min}$	34 W
ΔT temperatura di ritorno/fumi	$\Delta\theta_{w,fl,min}$	20.0 °C
Tenore di ossigeno dei fumi	$O_{2,fl,dry,min}$	6.00 %

Ambiente di installazione

Ambiente di installazione	Centrale termica	
Fattore di riduzione delle perdite	$k_{gn,env}$	0.70 -

Temperatura ambiente installazione [°C]

Gen	Febb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
8,8	10,6	14,6	19,0	22,7	27,0	29,4	28,9	25,6	19,9	14,3	10,2

Temperatura dell'acqua del generatore di calore

Generatore di calore a temperatura scorrevole

Tipo di circuito	Circuito finale con portata indipendente
Potenza utile del generatore	199.72 kW
Salto termico nominale in caldaia	10.0 °C

Mese	giorni	GENERAZIONE		
		$\theta_{gn,avg}$ [°C]	$\theta_{gn,flw}$ [°C]	$\theta_{gn,ret}$ [°C]
ottobre	17	38,0	38,4	37,6
novembre	30	58,9	60,3	57,6
dicembre	31	68,9	71,2	66,6
gennaio	31	71,0	73,5	68,4
febbraio	28	66,2	68,2	64,3
marzo	31	50,3	51,3	49,4
aprile	15	34,9	35,2	34,7

Legenda simboli

$\theta_{gn,avg}$	Temperatura media del generatore di calore
$\theta_{gn,flw}$	Temperatura di mandata del generatore di calore
$\theta_{gn,ret}$	Temperatura di ritorno del generatore di calore

Combustibile

Tipo	Metano
Potere calorifico inferiore	H_i 9.940 kWh/Nm ³
Fattore di conversione	f_p 1.000 -

Generatore 2 – Caldaia a condensazione

Dati generali

Servizio	Riscaldamento
Tipo di generatore	Caldaia a condensazione
Marca/Serie/Modello	PARADIGMA ITALIA SRL/Gas 210 Eco/Gas 210 Eco 113
Potenza nominale al focolare	ϕ_{cn} 115.00 kW

Caratteristiche

Perdita al camino a bruciatore acceso (Valore noto da costruttore o misurato)	$P'_{ch,on}$	1.90 %
Perdita al camino a bruciatore spento (Valore noto da costruttore o misurato)	$P'_{ch,off}$	0.00 %
Perdita al mantello (Valore noto da costruttore o misurato)	$P'_{gn,env}$	0.00 %
Rendimento utile a potenza nominale	$\eta_{gn,Pn}$	98.10 %
Rendimento utile a potenza intermedia	$\eta_{gn,Pint}$	107.30 %

$\theta_{gn,ret}$

Temperatura di ritorno del generatore di calore

Combustibile

Tipo

Metano

Potere calorifico inferiore

 H_i 9.940 kWh/Nm³

Fattore di conversione

 f_p 1.000 –**Risultati dei calcoli mensili del servizio di riscaldamento**Fabbisogni termici ed elettrici

Mese	gg	FABBISOGNI TERMICI					FABBISOGNI ELETTRICI			
		$Q_{h,nd}$ [kWh]	Q'_h [kWh]	$Q_{H,solare}$ [kWh]	$Q_{processo}$ [kWh]	$Q_{H,qn,out}$ [kWh]	$Q_{H,e,aux}$ [kWh]	$Q_{H,d,aux}$ [kWh]	$Q_{H,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{H,qn,aux}$ [kWh]
gennaio	31	82510	64064	0	0	74229	0	147	0	542
febbraio	28	60592	44211	0	0	51558	0	101	0	460
marzo	31	38197	23397	0	0	27913	0	54	0	454
aprile	15	8022	3308	0	0	4219	0	8	0	119
maggio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	10626	5347	0	0	6612	0	12	0	187
novembre	30	46940	33264	0	0	39114	0	76	0	462
dicembre	31	74653	57443	0	0	66700	0	132	0	527
TOTALI	183	321541	231034	0	0	270346	0	530	0	2753

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{h,nd}$	Energia termica utile per riscaldamento
Q_h	Energia utile al netto di eventuali perdite recuperate e per funzionamento non continuo dell'impianto
$Q_{H,solare}$	Energia termica da produzione solare per riscaldamento
$Q_{processo}$	Energia termica fornita dal sottosistema di generazione per usi di processo
$Q_{H,qn,out}$	Energia termica fornita dalla generazione per riscaldamento (comprensiva di $Q_{H,solare}$)
$Q_{H,e,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di emissione
$Q_{H,d,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione
$Q_{H,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{H,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di generazione

Dettagli impianto termico

Mese	gg	$\eta_{H,rg}$ [%]	$\eta_{H,d}$ [%]	$\eta_{H,s}$ [%]	$\eta_{H,dp}$ [%]	$\eta_{H,gn}$ [%]	$\eta_{H,q}$ [%]
gennaio	31	99,5	93,3	-	-	100,4	86,3
febbraio	28	99,5	92,7	-	-	100,5	85,8
marzo	31	99,5	90,6	-	-	100,1	83,6
aprile	15	99,5	84,7	-	-	98,9	77,2
maggio	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	99,5	87,4	-	-	98,8	79,6
novembre	30	99,5	91,9	-	-	100,5	85,1
dicembre	31	99,5	93,1	-	-	100,5	86,1

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$\eta_{H,rg}$	Rendimento mensile di regolazione
$\eta_{H,d}$	Rendimento mensile di distribuzione
$\eta_{H,s}$	Rendimento mensile di accumulo
$\eta_{H,dp}$	Rendimento mensile di distribuzione primaria
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile di generazione
$\eta_{H,g}$	Rendimento globale medio mensile

Dettagli generatore: 1 – Caldaia a condensazione

Mese	gg	$Q_{H,qn,out}$ [kWh]	$Q_{H,qn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,qn}$ [%]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	31	47470	48002	97,5	4829
febbraio	28	32971	33152	97,7	3335
marzo	31	17850	17641	97,6	1775
aprile	15	2698	2614	96,6	263
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	17	4228	4102	96,4	413
novembre	30	25014	24952	97,8	2510
dicembre	31	42655	43030	97,6	4329

Mese	gg	FC_{nom} [-]	FC_{min} [-]	$P_{ch,on}$ [%]	$P_{ch,off}$ [%]	$P_{gn,env}$ [%]	R [%]
gennaio	31	0,542	5,124	1,64	0,000	0,000	0,000
febbraio	28	0,415	3,933	1,22	0,000	0,000	0,000
marzo	31	0,199	1,910	0,15	0,000	0,000	0,000
aprile	15	0,000	0,593	-0,67	0,000	0,000	0,000
maggio	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	0,000	0,821	-0,55	0,000	0,000	0,000
novembre	30	0,291	2,776	0,69	0,000	0,000	0,000
dicembre	31	0,486	4,601	1,45	0,000	0,000	0,000

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC_{nom}	Fattore di carico a potenza nominale

FC_{min}	Fattore di carico a potenza minima
$P_{ch,on}$	Perdite al camino a bruciatore acceso
$P_{ch,off}$	Perdite al camino a bruciatore spento
$P_{gn,env}$	Perdite al mantello
R	Fattore percentuale di recupero di condensazione

Dettagli generatore: 2 – Caldaia a condensazione

Mese	gg	$Q_{H,gn,out}$ [kWh]	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,gn}$ [%]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	31	26760	24773	105,9	2492
febbraio	28	18587	17136	106,0	1724
marzo	31	10063	9258	104,8	931
aprile	15	1521	1393	103,3	140
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	17	2384	2184	103,3	220
novembre	30	14101	12972	105,7	1305
dicembre	31	24046	22223	106,0	2236

Mese	gg	FC_{nom} [-]	FC_{min} [-]	$P_{ch,on}$ [%]	$P_{ch,off}$ [%]	$P_{gn,env}$ [%]	R [%]
gennaio	31	0,496	4,551	-7,29	0,000	0,000	9,78
febbraio	28	0,380	3,472	-7,62	0,000	0,000	10,33
marzo	31	0,185	1,688	-7,32	0,000	0,000	10,66
aprile	15	0,000	0,526	-7,13	0,000	0,000	10,66
maggio	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	0,000	0,728	-7,07	0,000	0,000	10,66
novembre	30	0,269	2,446	-7,65	0,000	0,000	10,66
dicembre	31	0,445	4,075	-7,43	0,000	0,000	10,02

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per riscaldamento
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile del generatore
Combustibile	Consumo mensile di combustibile
FC_{nom}	Fattore di carico a potenza nominale
FC_{min}	Fattore di carico a potenza minima
$P_{ch,on}$	Perdite al camino a bruciatore acceso
$P_{ch,off}$	Perdite al camino a bruciatore spento
$P_{gn,env}$	Perdite al mantello
R	Fattore percentuale di recupero di condensazione

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]	Q_{pH} [kWh]
gennaio	31	72775	689	74272
febbraio	28	50288	561	51508
marzo	31	26898	508	28003
aprile	15	4007	127	4283
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	17	6286	200	6720
novembre	30	37924	539	39095
dicembre	31	65253	659	66686
TOTALI	183	263431	3282	270567

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per riscaldamento
$Q_{H,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per riscaldamento
Q_{pH}	Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

$$\frac{Q_{H,gn,in}}{H_i} = \frac{263431}{9.940} = 26502 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano}$$

Fabbisogno di energia primaria per acqua calda sanitaria

Per quanto riguarda il fabbisogno di acqua calda sanitaria i dati restano invariati rispetto allo stato di fatto, quindi ci limitiamo a riportare i dati relativi ai fabbisogni termici ed elettrici e quelli relativi al fabbisogno di energia primaria.

Fabbisogni termici ed elettrici

Mese	gg	FABBISOGNI TERMICI				FABBISOGNI ELETTRICI		
		$Q_{h,w}$ [kWh]	$Q_{W,solare}$ [kWh]	$Q_{processo}$ [kWh]	$Q_{W,qn,out}$ [kWh]	$Q_{W,ric,aux}$ [kWh]	$Q_{W,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{W,qn,aux}$ [kWh]
gennaio	31	5848	0	0	6649	0	0	0
febbraio	28	5282	0	0	6005	0	0	0
marzo	31	5848	0	0	6649	0	0	0
aprile	30	5660	0	0	6434	0	0	0
maggio	31	5848	0	0	6649	0	0	0
giugno	30	5660	0	0	6434	0	0	0
luglio	31	5848	0	0	6649	0	0	0
agosto	31	5848	0	0	6649	0	0	0
settembre	30	5660	0	0	6434	0	0	0
ottobre	31	5848	0	0	6649	0	0	0
novembre	30	5660	0	0	6434	0	0	0
dicembre	31	5848	0	0	6649	0	0	0
TOTALI	365	68859	0	0	78281	0	0	0

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{h,w}$	Fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria
$Q_{W,solare}$	Energia termica da produzione solare per acqua calda sanitaria
$Q_{processo}$	Energia termica fornita dal sistema di generazione per usi di processo
$Q_{W,qn,out}$	Energia termica fornita dalla generazione per acqua calda sanitaria (comprensiva di $Q_{W,solare}$)
$Q_{W,ric,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari della rete di ricircolo
$Q_{W,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{W,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari del sottosistema di generazione

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$Q_{W,aux}$ [kWh]	Q_{pw} [kWh]
gennaio	31	14775	0	14775
febbraio	28	13345	0	13345
marzo	31	14775	0	14775
aprile	30	14298	0	14298
maggio	31	14775	0	14775
giugno	30	14298	0	14298
luglio	31	14775	0	14775
agosto	31	14775	0	14775
settembre	30	14298	0	14298
ottobre	31	14775	0	14775
novembre	30	14298	0	14298
dicembre	31	14775	0	14775
TOTALI	365	173959	0	173959

Legenda simboli

- gg Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
- $Q_{W,gn,in}$ Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per acqua sanitaria
- $Q_{W,aux}$ Fabbisogno elettrico totale per acqua sanitaria
- Q_{pw} Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria

$$\frac{Q_{W,gn,in}}{H_i} = \frac{173959}{9.940} = 17501 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano}$$

Risultati di calcolo stagionale

Servizio riscaldamento

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pH}	270567 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{H,gn}$	100.3 %
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	85.4 %
Consumo annuo di Metano		26502 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		3282 kWhe

Servizio acqua calda sanitaria

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pW}	173959 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{W,gn}$	45.00 %
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	39.58 %
Consumo annuo di Metano		17501 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		0 kWhe

3.4.6 Verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H

Per un edificio con S/V pari a 0.58 localizzato a Treviglio (Zona E con 2237 GG), il valore di EP_H limite con il quale confrontare il valore di EP di progetto, vale:

$$EP_H \text{ limite} = 66.6 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

Il valore di EP_H di progetto è dato dalla seguente formula:

$$EP_H = \frac{Q}{S_{\text{utile}}} = \frac{270567}{3956.76} = 68.38 \text{ [kWh/m}^2\text{anno]}$$

$$EP_H = 68.38 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

La verifica della prestazione energetica prevista dal decreto stabilisce che:

$$EP_H < EP_{H \text{ lim}}$$

Noi abbiamo:

$$68.38 > 66.6$$

La relazione non è verificata, pertanto dovremmo provvedere ad apportare ulteriori modifiche per far rientrare il fabbisogno di energia primaria nei limiti stabiliti.

3.4.7 Certificazione energetica

Esportando i dati del file di calcolo eseguito con il programma Edilclima in formato .xml, gli stessi vengono rielaborati con il programma ufficiale CENED⁺ versione 1.2.0 per la determinazione della classe energetica a seguito degli interventi sopra descritti.

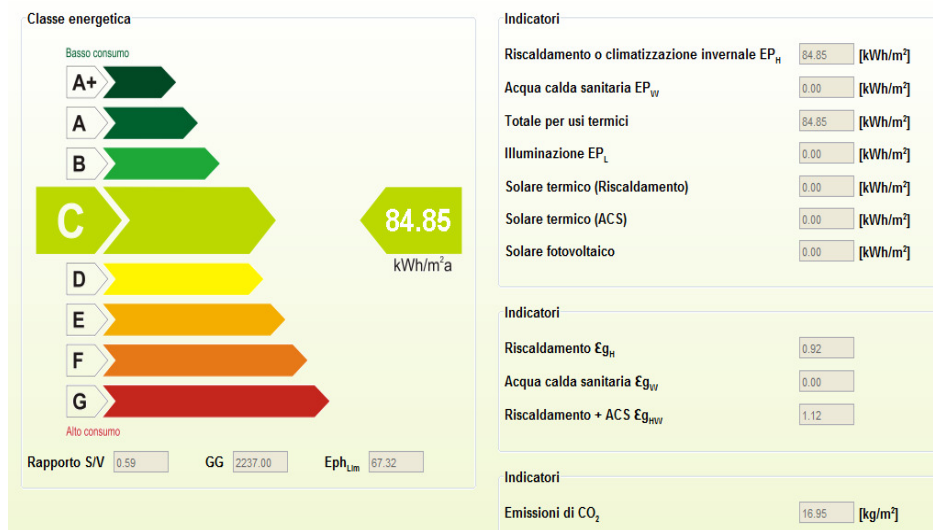


Figura 3.36 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.

3.4.8 Piano finanziario

La ricerca di una ottimalità economica si concretizza nell'analisi costi/benefici che si rivela, nei campi di relativa competenza, uno strumento potente, oggettivo e ampiamente applicabile. L'analisi economica presenta due vantaggi oggettivi, il primo dei quali è quello di fornire risultati rigorosi (le fonti di errore sono da attribuire esclusivamente all'attendibilità dei dati in ingresso), il secondo invece consiste nel determinare indici di convenienza dai quali è immediatamente possibile stabilire l'opportunità economica dei progetti studiati. A carattere generale, l'analisi di convenienza economica viene impostata secondo una logica che prevede il semplice raffronto tra la spesa per l'investimento ed i benefici monetizzati, che si presume vengano "generati" dall'intervento stesso nell'arco della sua vita. Una volta stabiliti i termini del confronto, si procede ad una comparazione aritmetica: nel caso in cui il termine relativo all'investimento prevalga sui benefici monetizzati presunti dall'investimento stesso, non è consigliabile intraprendere la relativa azione; se, al contrario, prevale il termine relativo ai benefici significa che l'azione è remunerativa e sarà quindi consigliata la sua realizzazione. Nel nostro caso, oltre ad una questione puramente economica, subentra anche un'analisi dei benefici in termini di risparmio energetico, che, ovviamente, influiscono sulla valutazione della fattibilità dell'intervento programmato, prevalendo anche sugli aspetti puramente finanziari.

La stesura del piano finanziario è stata eseguita seguendo le due diverse fasi di intervento: prima è stata fatta una valutazione costi benefici tenendo conto solo dell'intervento impiantistico e poi

una seconda analisi tenendo conto della riqualificazione impiantistica assieme agli interventi edilizi previsti sull'involucro dei fabbricati.

3.4.8.1 Intervento impiantistico

L'intervento impiantistico prevede un costo stimato dei lavori pari a € 118360.00 comprensivo di IVA. A fronte della seguente situazione precedente all'intervento:

- costo del combustibile Metano per riscaldamento
 $66.966 \text{ m}^3 \cdot 0,88 \text{ €/m}^3 = 58.930,08 \text{ €}$
- costo dell'energia elettrica per riscaldamento
 $5.000 \text{ kWh} \cdot 0,24 \text{ €/kWh} = 1.200,00 \text{ €}$

Per una spesa totale di € 59459.99 e vista la situazione dei consumi successiva all'intervento:

- costo del combustibile Metano per riscaldamento
 $50.035 \text{ m}^3 \cdot 0,88 \text{ €/m}^3 = 44.030,80 \text{ €}$
- costo dell'energia elettrica per riscaldamento
 $3.648 \text{ kWh} \cdot 0,24 \text{ €/kWh} = 875,52 \text{ €}$

Per una spesa totale di € 44.906,32, si ottiene un risparmio annuo, dopo l'estinzione del finanziamento stimato in 12 anni, pari a € 15.223,32.

Ai fini della verifica del vantaggio economico dell'investimento si è ipotizzato di sottoscrivere un finanziamento con determinate caratteristiche: il tasso di inflazione viene trascurato, si suppone che i risparmi complessivi annuali siano costanti e si presume la durata di vita dell'impianto riqualificato pari a 20 anni. Tenendo presente che:

- il tasso d'interesse è pari al 5%;
- la durata del finanziamento è di 12 anni;
- la quota annuale di ammortamento è pari a € 13.354,02.

La stima dell'intervento risulta la seguente:

- spesa annua totale per consumi e quote d'ammortamento
 $44.906,32 \text{ €} + 13.354,02 \text{ €} = 58.260,34 \text{ €}$
- risparmio annuo per la durata dell'ammortamento
 $60.129,64 \text{ €} - 58.260,34 \text{ €} = 1.869,30 \text{ €}$

Sommando la quota annuale di ammortamento con il risparmio annuo per la durata dell'ammortamento

$$13.354,02 \text{ €} + 1.869,30 \text{ €} = 15.223,32 \text{ €},$$

si ottiene, come visto in precedenza, il risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento, che risulta minore rispetto al valore annuale netto VAN pari a € 16.568,12.

Il valore annuale netto è la differenza tra la somma dei benefici ed il valore dell'investimento al momento attuale. Sapendo che il risparmio economico dato dal consumo di combustibile Metano e di energia elettrica è pari a € 15.223,32, tenendo nuovamente conto che l'inflazione sia trascurabile e i risparmi complessivi rimangano costanti ogni anno, dalla tabella 4.18 si ricava che, per un tasso d'interesse pari al 5% e per una durata del finanziamento di 12 anni, il fattore di annualità è 8.86325, da cui il calcolo del VAN è il seguente:

$$(15.223,32 \text{ €} \cdot 8,86325) - 118.360,00 \text{ €} = 16.568,12 \text{ €}$$

Dal valore e dal segno ottenuti per il VAN, e dal calcolo reale del risparmio annuo, è possibile concludere che l'investimento è remunerativo per il capitale impegnato e quindi consigliabile, anche in relazione al risparmio energetico che ne deriva che, nella fattispecie, si attesta al 25%.

FATTORE DI ANNUALITÀ										
	r [%]									
n	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
1	0,990099	0,980392	0,970874	0,961538	0,952381	0,943396	0,934579	0,925926	0,917431	0,908091
2	1,9704	1,94156	1,91347	1,88609	1,85941	1,83339	1,80802	1,78326	1,75911	1,73554
3	2,94099	2,88388	2,82861	2,77509	2,72325	2,67301	2,62432	2,57710	2,53129	2,48685
4	3,90197	3,80773	3,71710	3,62990	3,54595	3,46511	3,38721	3,31213	3,23972	3,16987
5	4,85343	4,71346	4,57971	4,45182	4,32948	4,21236	4,10020	3,99271	3,88965	3,79079
6	5,79548	5,60113	5,41719	5,24214	5,07569	4,91732	4,76654	4,62288	4,48592	4,35526
7	6,72819	6,47199	6,23028	6,00205	5,78637	5,58238	5,38929	5,20637	5,03295	4,84842
8	7,65168	7,32548	7,01969	6,73274	6,46321	6,20979	5,97130	5,74664	5,53482	5,33493
9	8,56602	8,16224	7,78611	7,43533	7,10782	6,80169	6,51523	6,24689	5,99525	5,75902
10	9,4713	8,98259	8,53020	8,11090	7,72173	7,36009	7,02358	6,71008	6,41766	6,14457
11	10,3676	9,78685	9,25262	8,76048	8,30641	7,88687	7,49867	7,13896	6,80519	6,49500
12	11,2551	10,5773	9,95400	9,38507	8,86325	8,39384	7,94269	7,53608	7,16073	6,81369
13	12,1337	11,3484	10,6350	9,98565	9,39357	8,85268	8,35765	7,90378	7,48690	7,10336
14	13,0037	12,1062	11,2961	10,5631	9,89864	9,29498	8,74547	8,24424	7,78615	7,36669
15	13,8651	12,8493	11,9379	11,1184	10,3797	9,71225	9,10791	8,55948	,06069	7,60608
16	14,7179	13,5777	12,5611	11,6523	10,8378	10,1059	9,44665	8,85137	8,31256	7,82371
17	15,5623	14,2919	13,1661	12,1657	11,2741	10,4773	9,76322	9,12164	8,54363	8,02155
18	16,3983	14,9920	13,7535	12,6593	11,6896	10,8276	10,0591	9,37189	8,75563	8,20141
19	17,2260	15,6785	14,3238	13,1339	12,0853	11,1581	10,3356	9,60360	8,95001	8,36492
20	18,0456	16,3514	14,8775	13,5903	12,4622	11,4699	10,5940	9,81815	9,12855	8,51356
21	18,8570	17,0112	15,4150	14,0292	12,8212	11,7641	10,8355	10,0168	9,29224	8,64869
22	19,6604	17,6580	15,9369	14,4511	13,1630	12,0416	11,0612	10,2007	9,44243	8,77154
23	20,4558	18,2922	16,4436	14,8568	13,4886	12,3034	11,2722	10,3711	9,58021	8,88322
24	21,2434	18,9139	16,9355	15,2470	13,7986	12,5504	11,4693	10,5288	9,70661	8,98474
25	22,0232	19,5235	17,4131	15,6221	14,0939	12,7834	11,6536	10,6748	9,82258	9,07704
26	22,7952	20,1210	17,8768	15,9828	14,3752	13,0032	11,8258	10,8100	9,92897	9,16095
27	23,5596	20,7069	18,3270	16,3296	14,6430	13,2105	11,9867	10,9352	10,0266	9,23722
28	24,3164	21,2813	18,7641	16,6631	14,8981	13,4062	12,1371	11,0511	10,1161	9,30657
29	25,0658	21,8444	19,1885	16,9837	15,1411	13,5907	12,2777	11,1584	10,1983	9,36961
30	25,8077	22,3965	19,6004	17,2920	15,3725	13,7648	12,4090	11,2578	10,2737	9,42691

Tabella 3.21 Fattore di annualità

Di seguito, presentiamo una scheda riassuntiva della descritta analisi costi/benefici.

PIANO FINANZIARIO			
SITUAZIONE PRIMA DELL'INTERVENTO			
Gas naturale ▼	Stagione	Combustibile	Energia elettrica
		<i>Stm³</i>	<i>kWh</i>
Consumi di combustibile ed energia elettrica negli anni precedenti	2007/2008	70.410	5.000
	2008/2009	65.600	5.000
	2009/2010	67.407	5.000
	2010/2011	64.445	5.000
	MEDIA	66.966	5.000
Costo combustibile	€/Stm ³	0,88	
Costo energia elettrica	€/kWh	0,24	
Costo annuo medio energia prima dell'intervento			€ 60.129,64
COSTO DELL'INTERVENTO			
Importo totale interventi IVA esclusa		€ 107.600,00	
IVA	10%	€ 10.760,00	
Importo totale interventi compresa IVA			€ 118.360,00
SITUAZIONE DOPO L'INTERVENTO			
Gas naturale ▼	Consumo annuo	Prezzo unitario	
	<i>Stm³</i>	€/Stm ³	
	50.035	0,88	
Energia elettrica	kWh	€/kWh	
	3.648	0,24	
Spesa energetica annua successiva all'intervento			€ 44.906,32
CARATTERISTICHE DEL FINANZIAMENTO			
Tasso di interesse		5%	
Durata del finanziamento	(anni)	12	
Quota annuale ammortamento			€ 13.354,02
CALCOLO DEL VALORE DELL'INTERVENTO			
Spesa annua totale per consumi e quota di ammortamento		€ 58.260,34	
Risparmio annuo per la durata dell'ammortamento		€ 1.869,30	
Risparmio totale attualizzato al termine dell'ammortamento			€ 16.568,12
Risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento		€ 15.223,32	
Durata di vita dell'intervento	(anni)	20	
Risparmio totale attualizzato dell'intervento			€ 69.734,99
Legenda:		Dati di Input	
		Risultati di calcolo	

Figura 3.37 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici

3.4.8.2 Intervento impiantistico e sull'involucro edilizio

Come anticipato, la stessa metodologia di analisi è stata svolta sull'intervento mirato al miglioramento dell'impianto e dell'involucro edilizio, aggiungendo ai costi di riqualificazione impiantistica quelli sostenuti per la sostituzione dei serramenti dell'intero complesso e dell'isolamento del sottotetto, pavimento sui box e parete sottofinestra (dietro calorifero).

In questo caso l'intervento prevede un costo stimato dei lavori pari a € 662.706,00 comprensivo di IVA.

A fronte della seguente situazione precedente all'intervento:

- costo del combustibile Metano per riscaldamento
 $66.966 \text{ m}^3 \cdot 0,88 \text{ €/m}^3 = 58.930,08 \text{ €}$
- costo dell'energia elettrica per riscaldamento
 $5.000 \text{ kWh} \cdot 0,24 \text{ €/kWh} = 1.200,00 \text{ €}$

Per una spesa totale di € 60.129,64 e vista la situazione dei consumi successiva all'intervento:

- costo del combustibile Metano per riscaldamento
 $36.230 \text{ m}^3 \cdot 0,88 \text{ €/m}^3 = 31.882,40 \text{ €}$
- costo dell'energia elettrica per riscaldamento
 $2.841 \text{ kWh} \cdot 0,24 \text{ €/kWh} = 681,84 \text{ €}$

Per una spesa totale di € 32.564,24, si ottiene un risparmio annuo, dopo l'estinzione del finanziamento stimato in 12 anni, pari a € 27.565,40.

Ai fini della verifica del vantaggio economico dell'investimento si è ipotizzato di sottoscrivere un finanziamento con determinate caratteristiche: il tasso di inflazione viene trascurato, si suppone che i risparmi complessivi annuali siano costanti e si presume la durata di vita dell'impianto riqualificato pari a 40 anni. Tenendo presente che:

- il tasso d'interesse è pari al 5%;
- la durata del finanziamento è di 40 anni;
- la quota annuale di ammortamento è pari a € 38.621,29.

La stima dell'intervento risulta la seguente:

- spesa annua totale per consumi e quote d'ammortamento
 $32.564,24 \text{ €} + 38.621,29 \text{ €} = 71.185,53 \text{ €}$
- risparmio annuo per la durata dell'ammortamento
 $60.129,64 \text{ €} - 71.185,53 \text{ €} = - 11.055,89 \text{ €}$

Sommando la quota annuale di ammortamento con il risparmio annuo per la durata dell'ammortamento

$$38.621,29 \text{ €} - 11.055,89 \text{ €} = 27.565,40 \text{ €}$$

Si ottiene, come visto in precedenza, il risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento, che risulta maggiore rispetto al valore annuale netto VAN pari a € - 189.708,92. Il valore annuale netto è la differenza tra la somma dei benefici ed il valore dell'investimento al momento attuale. Sapendo che il risparmio economico dato dal consumo di combustibile Metano e di energia elettrica è pari a € 27.565,40, tenendo nuovamente conto che l'inflazione sia trascurabile e i risparmi complessivi rimangano costanti ogni anno, si ricava che, per un tasso d'interesse pari al 5% e per una durata del finanziamento di 40 anni, il fattore di annualità è 17.15908, il calcolo del VAN è il seguente:

$$(27.565,40 \text{ €} \cdot 17.15908) - 662.706,00 \text{ €} = - 189.708,92 \text{ €}$$

Dal valore e dal segno ottenuti per il VAN è possibile concludere che l'investimento non è remunerativo per il capitale impegnato e quindi non sarebbe consigliabile dal punto di vista finanziario. Nella realtà il risultato della diagnosi energetica è particolarmente positivo verificandosi un risparmio energetico che si attesta al 46 % dei consumi storici che giustifica ampiamente il costo degli interventi.

Di seguito, presentiamo una scheda riassuntiva dell'analisi costi-benefici descritta.

PIANO FINANZIARIO			
SITUAZIONE PRIMA DELL'INTERVENTO			
Gas naturale ▼	Stagione	Combustibile	Energia elettrica
		<i>Stm³</i>	<i>kWh</i>
Consumi di combustibile ed energia elettrica negli anni precedenti	<i>2007/2008</i>	70.410	5.000
	<i>2008/2009</i>	65.600	5.000
	<i>2009/2010</i>	67.407	5.000
	<i>2010/2011</i>	64.445	5.000
	MEDIA	66.966	5.000
Costo combustibile	€/Stm ³	0,88	
Costo energia elettrica	€/kWh	0,24	
Costo annuo medio energia prima dell'intervento			€ 60.129,64
COSTO DELL'INTERVENTO			
Importo totale interventi IVA esclusa		€ 602.460,00	
IVA	10%	€ 60.246,00	
Importo totale interventi compresa IVA			€ 662.706,00
SITUAZIONE DOPO L'INTERVENTO			
Gas naturale ▼	Consumo annuo	Prezzo unitario	
	<i>Stm³</i>	<i>€/Stm³</i>	
	36.230	0,88	
Energia elettrica	kWh	€/kWh	
	2.841	0,24	
Spesa energetica annua successiva all'intervento			€ 32.564,24
CARATTERISTICHE DEL FINANZIAMENTO			
Tasso di interesse		5%	
Durata del finanziamento	(anni)	40	
Quota annuale ammortamento			€ 38.621,29
CALCOLO DEL VALORE DELL'INTERVENTO			
Spesa annua totale per consumi e quota di ammortamento		€ 71.185,53	
Risparmio annuo per la durata dell'ammortamento		-€ 11.055,89	
Risparmio totale attualizzato al termine dell'ammortamento			-€ 189.708,92
Risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento		€ 27.565,40	
Durata di vita dell'intervento	(anni)	40	
Risparmio totale attualizzato dell'intervento			-€ 189.708,92
Legenda:		Dati di Input	
		Risultati di calcolo	

Figura 3.38 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici

Dal punto di vista della valutazione delle prestazioni energetiche del sistema edificio-impianto si ottengono i seguenti risultati in termini di rendimenti:

Simbolo	Descrizione	Stato di fatto	Riqualificazione A.L.E.R.
$\eta_{H,e}$	Rendimento di emissione	<i>90,0 %</i>	<i>93,0 %</i>
$\eta_{H,rg}$	Rendimento di regolazione	<i>85,8 %</i>	<i>99,5 %</i>
$\eta_{H,d}$	Rendimento di distribuzione	<i>94,7 %</i>	<i>94,7 %</i>
$\eta_{H,gn}$	Rendimento di produzione	<i>87,1 %</i>	<i>100,3 %</i>
$\eta_{H,g}$	Rendimento globale medio stagionale	<i>63,3 %</i>	<i>85,4 %</i>

In una situazione economica strettamente penalizzante, causata dall'assenza di finanziamenti regionali ad hoc a costo zero, il risultato a cui si è pervenuti in termini di miglioramento del rendimento globale medio stagionale del 35 %, rappresenta per l'A.L.E.R. un notevole risultato in termini di efficientamento energetico. E poi, con un esborso ulteriore di € 38.000,00, l'A.L.E.R., avendone le disponibilità, potrebbe migliorare ulteriormente il sistema edificio-impianto installando, assieme alla caldaia a condensazione, pompe di calore a metano.

3.5 Riqualificazione "Zero Energy"

3.5.1 Introduzione alla riqualificazione "Zero Energy"

L'analisi dello stato di fatto delle prestazioni energetiche dell'edificio A.L.E.R., sito in Treviglio (BG) e oggetto di studio, in sintesi rappresentato dall'indice di prestazione energetica EP_H, evidenzia l'importanza di un programma di riqualificazione energetica.

Lo strumento adottato per muoversi correttamente in questa direzione è stata la diagnosi energetica degli edifici esistenti, di cui si è già detto.

Infatti, ponendosi l'obiettivo di capire come l'energia viene utilizzata e quali siano le cause di eventuali sprechi, in collaborazione con l'Azienda A.L.E.R. si sono identificati e analizzati in modo approfondito quali interventi siano necessari al fine di riqualificare l'immobile in modo da soddisfare i requisiti minimi imposti dalla legislazione vigente in materia e quali vantaggi economici e di confort ambiente derivabili dalle proposte.

Il passo successivo è stato poi quello di analizzare tutti gli interventi necessari, ragionando in sinergia sia per migliorare gli aspetti impiantistici e sia quelli prestazionali dell'involucro, al fine di progettare il complesso edilizio esistente di cui trattasi "a energia quasi zero", obiettivo fissato dalla comunità europea entro il 31 dicembre 2020, secondo la definizione introdotta dalla direttiva dell'unione europea 2010/31/UE del 19/05/2010 e cioè:

"edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I. Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze"

per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile.

Nel caso di studio si tratterà di una "ristrutturazione importante" come definita dall'art. 2 della direttiva, in quanto:

- *Il costo complessivo della ristrutturazione per quanto riguarda l'involucro dell'edificio o i sistemi tecnici per l'edilizia supera il 25 % del valore dell'edificio, escluso il valore del terreno sul quale questo è situato;*
- *La ristrutturazione riguarda più del 25 % della superficie dell'involucro dell'edificio.*

Poiché l'Italia non ha ancora adottato le misure necessarie affinché siano fissati i requisiti minimi di prestazione energetica per gli edifici o le unità immobiliari al fine di raggiungere livelli ottimali in funzione dei costi (la prima relazione in merito dovrebbe essere trasmessa al consiglio europeo entro il 30 giugno 2012), come riportato nell'art. 3 della direttiva, si è cercato di applicare una metodologia di calcolo della prestazione energetica del sistema edificio impianto in questione, seguendo le indicazioni di cui all'allegato I.

In particolare, coerentemente con la legislazione vigente anche a livello regionale, si è :

- determinata la prestazione energetica del complesso edilizio dell'A.L.E.R. di Bergamo sulla base della quantità di energia, reale o calcolata, consumata annualmente per

- soddisfare le varie esigenze legate ad un uso normale dell'edificio che corrisponde al fabbisogno energetico per il riscaldamento, il rinfrescamento e coprire il fabbisogno di acqua calda per uso domestico;
- espressa la prestazione energetica con un parametro numerico indicatore del consumo di energia primaria in relazione al vettore energetico utilizzato sia esso il metano o l'energia elettrica di rete;
 - seguita, per quanto possibile, la metodologia di calcolo dell'energia proposta dalla direttiva, valutando alcuni fattori dell'edificio e cioè:
 - la capacità termica;
 - l'isolamento;
 - i ponti termici;
 - i sistemi solari passivi e protezione solare;
 - le condizioni climatiche interne, incluso il clima degli ambienti interni progettato;

e degli impianti di:

- riscaldamento e produzione acs. (caratteristiche degli isolamenti);
- condizionamento d'aria;
- ventilazione meccanica degli alloggi;
- generazione di calore ed elettricità a partire da energia da fonti rinnovabili.

L'iter progettuale degli interventi che si andrà a descrivere, comporterà la riduzione al minimo della domanda di energia "quasi zero" rispetto ai valori storici dello stato di fatto ed anche il miglioramento dell'efficienza energetica con lo sfruttamento delle fonti alternative.

L'obiettivo finale sarà quello di ottenere una soluzione ottimale dal punto di vista estetico e funzionale e soprattutto energetico, con debito conto degli aspetti economici e di concreta fattibilità, anche in relazione alle caratteristiche morfologiche del sito di ubicazione del condominio A.L.E.R.

3.5.2 Descrizione degli interventi di riqualificazione energetica

Il primo tipo di intervento interessa gli impianti esistenti a servizio del complesso edilizio in esame (con l'introduzione anche di nuovi sistemi impiantistici).

Infatti, la riqualificazione oggetto della progettazione prevede modifiche rilevanti sul sistema di generazione, regolazione ed emissione dell'impiantistica esistente dedicata al riscaldamento degli ambienti. In sintesi, si ha:

- la sostituzione della caldaia a gas esistente con kit di pompe di calore ad assorbimento e caldaia a condensazione per la produzione dell'acqua calda sanitaria, apparecchiature alimentate a metano e funzionanti in parallelo;
- la sostituzione dei circolatori esistenti con nuovi elettronici a portata variabile;
- la sostituzione del sistema di regolazione esistente preordinato ad una conduzione della caldaia con mantenimento della temperatura costante, con uno nuovo costituito da

- collegamenti bus per la conduzione di più apparecchiature in sequenza (di cui una dotata di scambiatore a condensazione) e mantenimento della temperatura variabile;
- la sostituzione dell'impianto di riscaldamento dei singoli locali ad alta temperatura costituito da corpi radianti a parete in acciaio e distribuzione ad anello mono tubo, con pannelli radianti annegati nel pavimento a bassa temperatura.

A completamento anche l'installazione di nuovi impianti volti al contenimento dei consumi e delle emissioni di CO₂ in ambiente, in particolare:

- l'implementazione del nuovo sistema di regolazione e contabilizzazione del calore per rendere autonomo ogni alloggio nella gestione dell'impianto di riscaldamento;
- l'installazione di un nuovo impianto di produzione centrale di acqua calda sanitaria, con conseguente eliminazione di n. 54 caldaiette a metano per una potenzialità installata totale di 810 kW, costituito da un impianto solare per la copertura del 70.7 % del fabbisogno di energia termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria composto da 40 collettori solari del tipo sotto vuoto posizionati in copertura e abbinati a 4 bollitori da 1000 litri ciascuno posizionati in centrale termica, questi ultimi a doppia serpentina e completi di stazione satellitare solare;
- l'installazione di un nuovo impianto di ventilazione meccanica controllata per ogni alloggio, a portata fissa (paria a 0,58 vol/h), del tipo a doppio flusso con recuperatore di calore, costituito da doppia rete di canali collegata ai due ventilatori uno di mandata con filtrazione dell'aria esterna e uno di ripresa con possibilità di recuperare il 92,2% del calore dell'aria in uscita.

Nella progettazione si è tenuto conto anche del fenomeno del surriscaldamento estivo degli ambienti dovuto all'irraggiamento del sole a causa delle rientranze estive di calore.

A tal guisa, si è verificata l'inerzia termica delle pareti del fabbricato, cioè la capacità di trattenere il calore prima che esso venga rilasciato in ambiente confinato, migliorando lo sfasamento dell'onda termica e i riducendo i fattori di attenuazione.

Per il contenimento delle radiazioni solari attraverso i serramenti, si è optato per l'utilizzo di nuovi doppi e/o tripli vetri basso emissivi e di elementi schermanti esterni fissi e mobili.

Noti i carichi estivi, si è progettato l'impianto di raffrescamento costituito dagli stessi pannelli radianti, dato che il circuito refrigerante viene prodotto dalle medesime pompe di calore installate per il riscaldamento (con l'aggiunta di un serbatoio inerziale da 1000 litri ubicato all'interno della centrale termica esistente). Tuttavia, per il controllo del grado di umidità in ambiente, si è previsto altresì l'utilizzo di un deumidificatore meccanico, costituito dal recuperatore di calore, attivato in modalità deumidificante estiva.

Infine, nell'intento di ridurre i consumi a quasi zero, si sono dimensionati, in relazione ai fabbisogni di energia elettrica, due campi fotovoltaici:

- il primo costituito da 53 pannelli in silicio policristallino, posti in copertura con esposizione a sud per la produzione del 100 % del fabbisogno di energia richiesto dalle apparecchiature elettriche presenti nella centrale termica e a corredo degli impianti di produzione calore per il riscaldamento, produzione di acqua calda sanitaria e per il condizionamento estivo;
- il secondo costituito da più sottocampi per un totale di 667 pannelli, dislocati così come indicato nel progetto architettonico, per la copertura al 100 % dei consumi elettrici dei singoli alloggi e degli impianti comuni presenti nel condominio A.L.E.R. (illuminazione esterna e dei vani scala, impianto ascensore ecc..).

Il secondo tipo di intervento riguarda l'involucro edilizio, con le seguenti modifiche:

- sostituzione dei serramenti esistenti aventi telaio in ferro e doppio vetro stratificato (del tipo monoblocco "Secco") compreso le tapparelle in PVC, con nuovi serramenti Schuco del tipo monoblocco e telaio in alluminio a taglio termico, guarnizioni di tenuta e triplo vetro camera, avente intercapedine ad Argon e filtro dei raggi solari con costituito dal trattamento basso emissivo della superficie più esterna;
- isolamento del solaio sottotetto con materassino di polistirene espanso sinterizzato dello spessore di 10 cm posto sull'estradosso, per il contenimento delle dispersioni termiche degli alloggi posti all'ultimo piano;
- isolamento del primo solaio di calpestio con l'aggiunta di tre pannelli semirigidi Aeropan dallo spessore di 1 cm ciascuno, costituito da materiale isolante ad alta prestazione termica;
- miglioramento dell'isolamento delle partizioni esterne opache verticali tramite realizzazione di cappotto costituito da uno strato isolante in lastre termo compresse di polistirene espanso dallo spessore di 12 cm;
- sostituzione della pavimentazione interna degli alloggi costituita da piastrelle di cemento dello spessore di tre centimetri e massetto di sabbia e cemento di due centimetri, con nuova pavimentazione in gres porcellanato di un centimetro posata su massetto additivato di quattro centimetri, a copertura del pannello radiante composto da una serpentina di tubi in polietilene e di elemento in polistirene preformato di spessore 40 mm di contenimento della stessa.

Definiti gli interventi descritti per il raggiungimento dei risultati attesi, si è riproposto l'approccio operativo già utilizzato per analizzare le prestazioni energetiche dello stato di fatto e della riqualificazione A.L.E.R., e cioè procedendo con:

- correzione degli elementi disperdenti e conseguente ricalcolo delle caratteristiche termiche e igrometriche dei componenti opachi e trasparenti;
- calcolo della potenza dispersa complessivamente dall'edificio;
- calcolo del fabbisogno energetico;
- verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H;
- certificazione energetica;

- piano finanziario sulla base dei risultati ottenuti, mettendo in evidenza il rapporto costi/benefici.

Anche se il progetto prevede una modifica funzionale del piano terra, si ritiene corretto e congruo stralciare tali ambienti, aventi destinazione d'uso diversa da quella residenziale a carattere continuativo, nello sviluppo del nuovo modello energetico e nella determinazione della classe energetica, in modo tale da poter effettuare raffronti a parità di volumetria e caratteristiche tipologiche degli ambienti.

3.5.3 Correzione degli elementi disperdenti

Dall'analisi dello stato di fatto si evince che tutte le strutture dell'edificio, opache verticali, opache orizzontali e trasparenti, presentano criticità in quanto non rispettano le prescrizioni termiche e igrometriche stabilite da normativa (Allegato C al DLgs n. 311/06), quindi vanno modificate o sostituite interamente; lo si mostra ora in modo dettagliato.

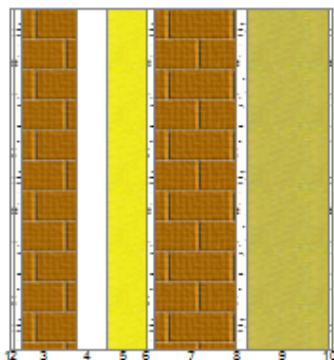
Trasmittanza termica delle strutture opache verticali

L'edificio di Treviglio è costituito da 7 diverse tipologie di pacchetti murari (muro perimetrale, quinta perimetrale, muro sotto finestra, muro su vano scala, cassonetto, quinta con giunto divisorio alloggio, quinta divisorio alloggio), tutti elementi critici della struttura, in quanto nessuno di essi rispetta i valori di trasmittanza termica stabiliti da normativa ($U = 0.34 \text{ W/m}^2\text{K}$, allegato C al DLgs n. 311/06). Di seguito l'analisi delle caratteristiche termiche e igrometriche dei diversi pacchetti successiva alle modifiche apportate.

Descrizione della struttura: Muro perimetrale

Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche della struttura, siamo andati ad aggiungere uno strato isolante costituito da lastre di polistirene espanso, estruso con pelle, dallo spessore di 12 cm.

Trasmittanza termica	0.204 $\text{W/m}^2\text{K}$
Spessore	470 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	14.3 °C
Permeanza	199.005 $10^{-12} \text{ kg/sm}^2\text{Pa}$
Massa superficiale (con intonaci)	235 kg/m^2
Massa superficiale (senza intonaci)	152 kg/m^2
Trasmittanza periodica	0.013 $\text{W/m}^2\text{K}$
Fattore attenuazione	0.063 -
Sfasamento onda termica	- 12.1 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	-	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	9
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	45,00	-	-	-	-	-
5	Fibra di vetro - Feltro resinato	60,00	0,053	-	11	0,84	-
6	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	-
7	Mattone forato	120,00	0,387	-	717	0,84	-
8	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
9	Polistirene espanso, estruso con pelle	120,00	0,036	-	30	1,25	-
10	Intonaco plastico	5,00	0,300	-	1300	0,84	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.084
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.653
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

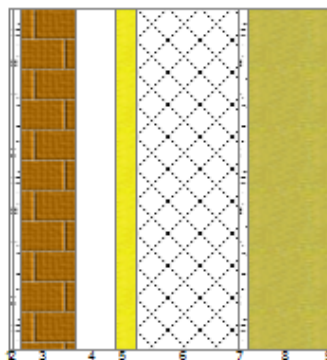
Verifica del rischio di condensa

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno; aggiungendo lo strato isolante si è eliminata anche la formazione di condensa superficiale.

Descrizione della struttura: Quinta perimetrale

Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche della struttura, siamo andati ad aggiungere uno strato isolante costituito da lastre termo compresse di polistirene espanso del tipo EPS 100 dallo spessore di 10 cm, rivestito con intonaco plastico dallo spessore di 5 mm.

Trasmittanza termica	0.240 W/m ² K
Spessore	475 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	199.005 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	488 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	426 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.007 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.031 -
Sfasamento onda termica	- 11.4 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	-	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	-	2000	1,00	23
3	Mattone forato	80,00	0,400	-	775	0,84	9
4	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	60,00	-	-	-	-	-
5	Fibra di vetro - Feltro resinato	30,00	0,053	-	11	0,84	-
6	C.l.s. di sabbia e ghiaia (pareti interne)	150,00	1,910	-	2400	1,00	-
7	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
8	Polistirene espanso, estruso con pelle	120,00	0,036	-	30	1,25	-
9	Intonaco plastico	5,00	0,300	-	1300	0,84	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI,max}$	0.084
Fattore di temperatura del componente f_{RSI}	0.653
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

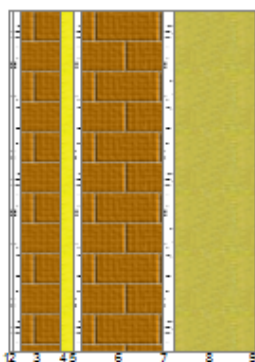
Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno; aggiungendo lo strato isolante si è eliminata anche la formazione di condensa superficiale.

Descrizione della struttura: Muro sotto finestra

Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche della struttura, siamo andati ad aggiungere uno strato isolante costituito da lastre termo compresse di polistirene espanso del tipo EPS 100 dallo spessore di 10 cm.

Trasmittanza termica	0.227 W/m ² K
Spessore	365 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	5.191 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	208 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	126 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.031 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.139 -
Sfasamento onda termica	- 10.3 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Intonaco di gesso puro	5,00	0,350	0,014	1200	1,00	11
2	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
3	Muratura in laterizio pareti esterne (um. 1.5%)	60,00	0,360	0,167	600	0,84	7
4	Fibra di vetro - Feltro resinato	20,00	0,053	0,377	11	0,84	1
5	Malta di cemento	10,00	1,400	0,007	2000	1,00	23
6	Mattone forato	120,00	0,387	0,310	717	0,84	9
7	Malta di cemento	15,00	1,400	0,011	2000	1,00	23
8	Polistirene espanso, estruso con pelle	120,00	0,036	3,333	30	1,25	300
9	Intonaco plastico	5,00	0,300	0,017	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è più soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$) **Positiva**

Mese critico **Gennaio**

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI,max}$ 0.796

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} 0.945

Umidità relativa superficiale accettabile 80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Risultati mensili della verifica della condensa superficiale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	P_{int} [Pa]	P_{est} [Pa]	θ_{acc} [°C]	P_{acc} [Pa]	f_{RSI} [-]
ottobre	20.0	14.9	1519	1216	16.7	1899	0.351
novembre	20.0	9.3	1519	935	16.7	1899	0.691
dicembre	20.0	5.2	1519	707	16.7	1899	0.776
gennaio	20.0	3.8	1519	705	16.7	1899	0.796
febbraio	20.0	5.6	1519	665	16.7	1899	0.770
marzo	20.0	9.6	1519	798	16.7	1899	0.682
aprile	20.0	14.0	1519	952	16.7	1899	0.448

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
P_{int}	Pressione dell'ambiente interno
P_{est}	Pressione dell'ambiente esterno

θ_{acc} Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
 P_{acc} Pressione minima accettabile sulla superficie interna
 f_{RSI} Fattore di temperatura superficiale

Risultati mensili della verifica della condensa interstiziale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	ϕ_{int} [%]	ϕ_{est} [%]	g_c [g/m ²]	M_a [g/m ²]	Periodi	Stato
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	65	72	0.0	0	1	Asciutto
<i>novembre</i>	20.0	9.3	65	80	0.0	0	1	Asciutto
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	65	80	0.0	0	1	Asciutto
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	65	88	0.0	0	1	Asciutto
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	65	73	0.0	0	1	Asciutto
<i>marzo</i>	20.0	9.6	65	67	0.0	0	1	Asciutto
<i>aprile</i>	20.0	14.0	65	60	0.0	0	1	Asciutto
<i>maggio</i>	18.0	17.7	65	69	0.0	0	1	Asciutto
<i>giugno</i>	22.0	22.0	65	63	0.0	0	1	Asciutto
<i>luglio</i>	24.4	24.4	65	63	0.0	0	1	Asciutto
<i>agosto</i>	23.9	23.9	65	64	0.0	0	1	Asciutto
<i>settembre</i>	20.6	20.6	65	65	0.0	0	1	Asciutto

Legenda simboli

θ_{int} Temperatura dell'ambiente interno
 θ_{est} Temperatura dell'ambiente esterno
 ϕ_{int} Umidità relativa dell'ambiente interno
 ϕ_{est} Umidità relativa dell'ambiente esterno
 g_c Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
 M_a Pressione minima accettabile sulla superficie interna
 Periodi Periodi del mese

Distribuzione della temperatura nella struttura [°C]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Int.</i>	19.7	19.4	19.2	19.1	19.2	19.4	19.7	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
1	19.7	19.4	19.1	19.1	19.2	19.4	19.7	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
2	19.7	19.4	19.1	19.0	19.1	19.4	19.6	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
3	19.5	19.0	18.6	18.4	18.6	19.0	19.4	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
4	19.1	18.1	17.3	17.1	17.4	18.1	18.9	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
5	19.1	18.1	17.3	17.1	17.4	18.1	18.9	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
6	18.7	17.3	16.3	16.0	16.4	17.4	18.5	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
7	18.7	17.3	16.3	15.9	16.4	17.4	18.5	17.9	22.0	24.4	23.9	20.6
8	15.0	9.4	5.4	4.0	5.8	9.7	14.1	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6
<i>Est.</i>	14.9	9.4	5.3	3.9	5.7	9.7	14.1	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Distribuzione della pressione parziale del vapore nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
<i>Int.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
1	1519	1518	1518	1518	1518	1518	1518	1341	1717	1985	1927	1576
2	1517	1515	1513	1513	1513	1514	1515	1341	1717	1985	1927	1576
3	1513	1508	1504	1504	1503	1506	1509	1342	1716	1984	1926	1576
4	1513	1508	1504	1504	1503	1505	1508	1342	1716	1984	1926	1576
5	1512	1505	1499	1499	1498	1501	1505	1342	1716	1984	1926	1576
6	1503	1488	1476	1476	1474	1481	1489	1344	1714	1982	1925	1577
7	1500	1483	1469	1469	1466	1474	1484	1344	1714	1982	1925	1577
8	1217	937	710	708	668	801	955	1394	1657	1924	1890	1582
<i>Est.</i>	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582

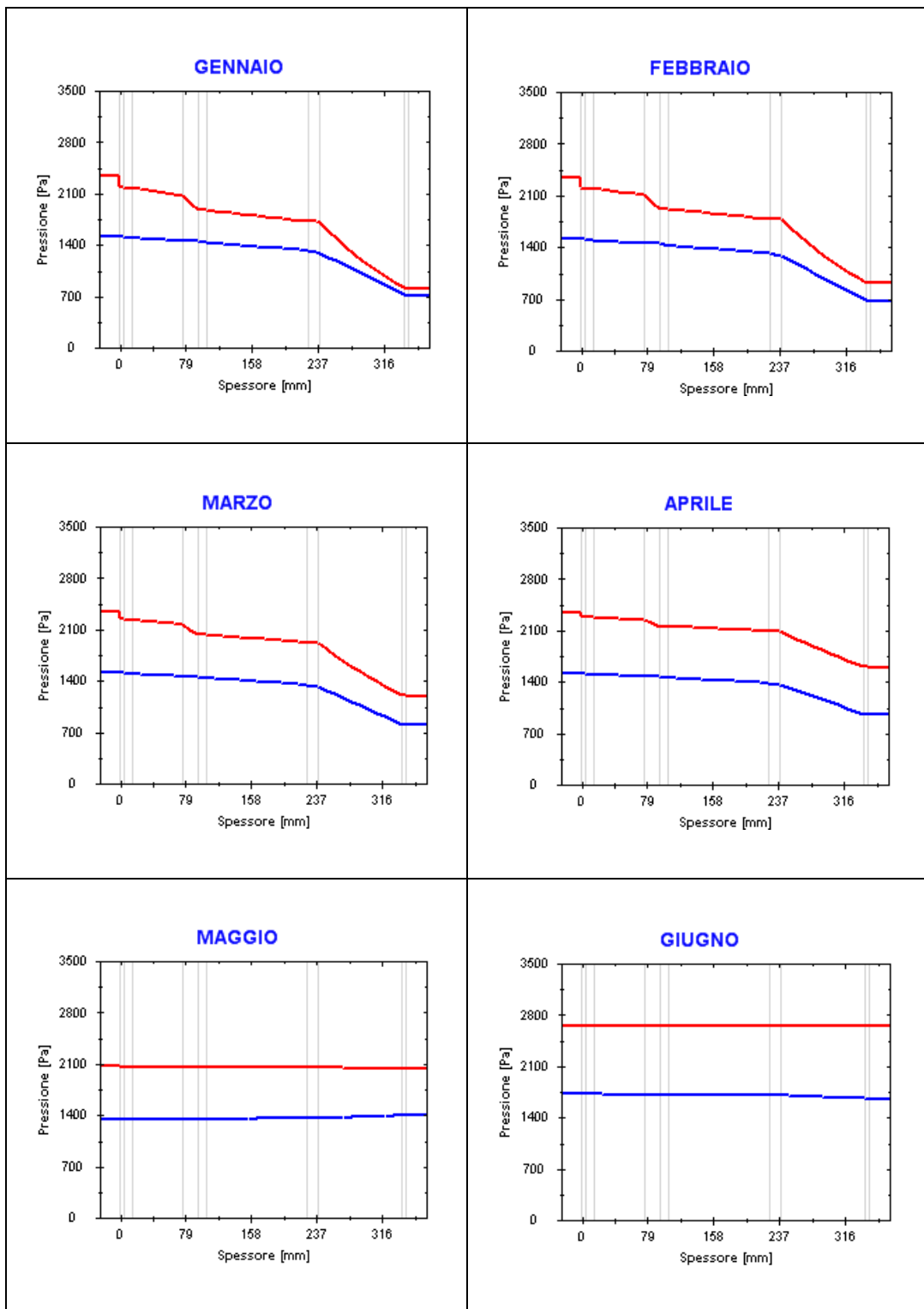
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

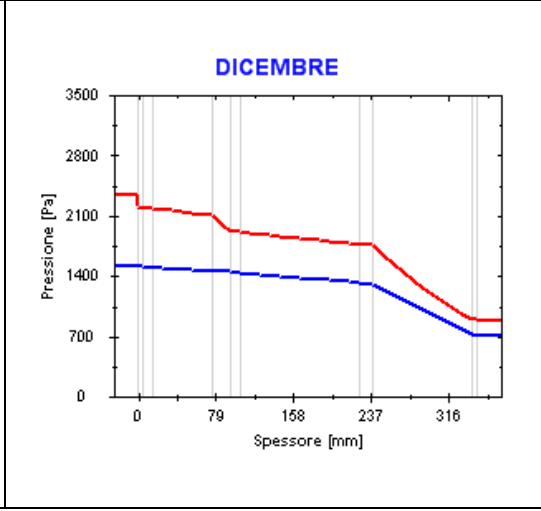
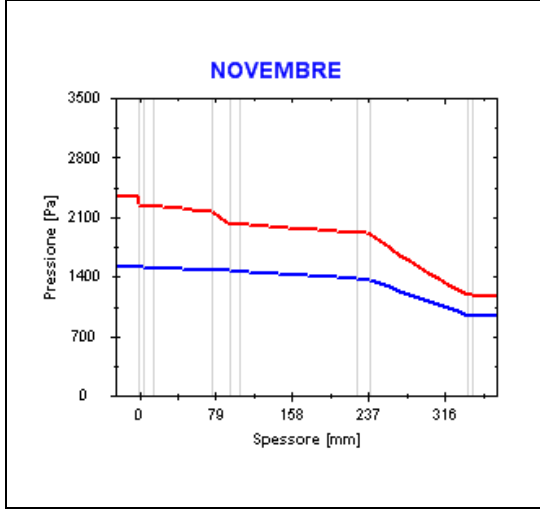
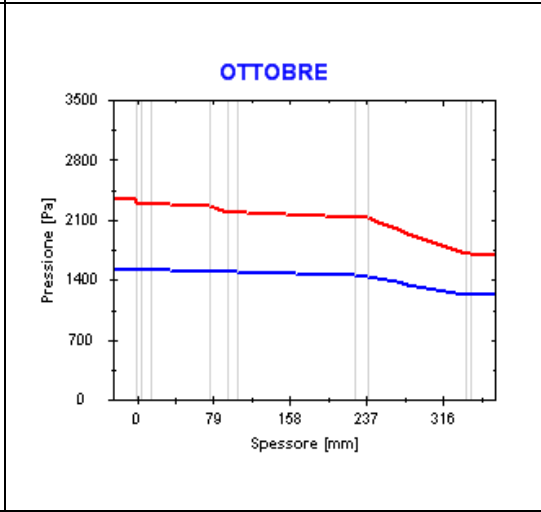
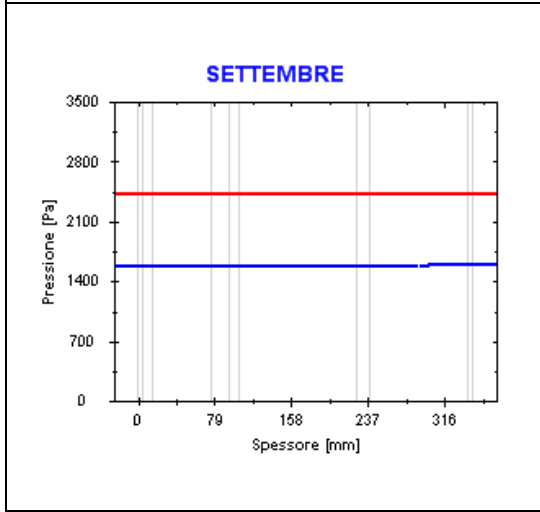
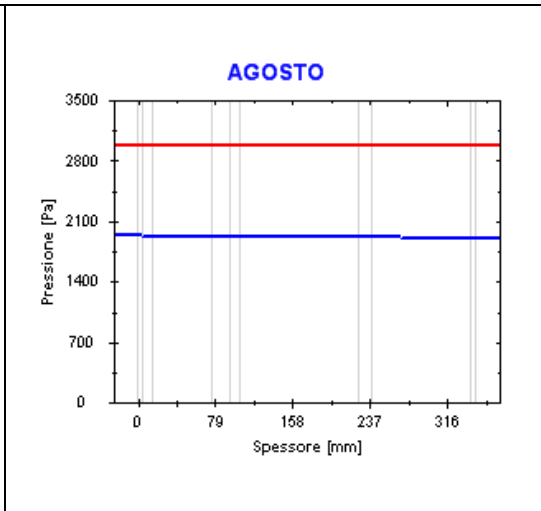
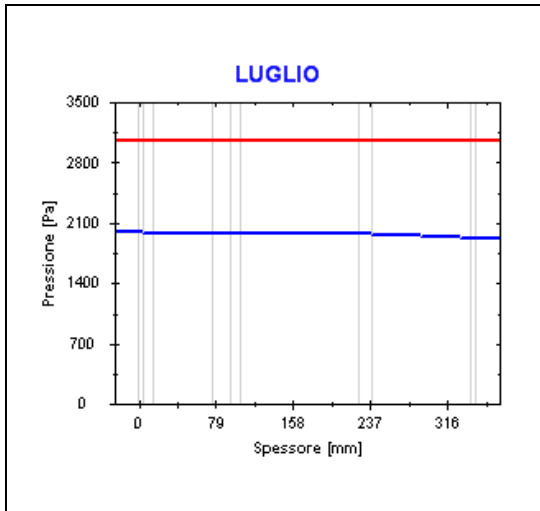
Distribuzione della pressione di saturazione nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425
<i>Int.</i>	2297	2253	2221	2211	2225	2255	2290	2061	2642	3055	2964	2425
1	2294	2248	2215	2204	2218	2251	2287	2061	2642	3055	2964	2425
2	2293	2246	2212	2200	2215	2248	2285	2061	2642	3055	2964	2425
3	2267	2191	2138	2120	2143	2195	2254	2059	2642	3055	2964	2425
4	2207	2073	1978	1947	1988	2080	2185	2056	2642	3055	2964	2425
5	2206	2070	1976	1944	1985	2078	2184	2056	2642	3055	2964	2425
6	2159	1977	1853	1812	1864	1986	2129	2053	2642	3055	2964	2425
7	2157	1974	1849	1807	1860	1983	2127	2053	2642	3055	2964	2425
8	1700	1182	896	813	920	1205	1606	2025	2642	3055	2964	2425
<i>Est.</i>	1698	1178	892	810	917	1202	1603	2025	2642	3055	2964	2425

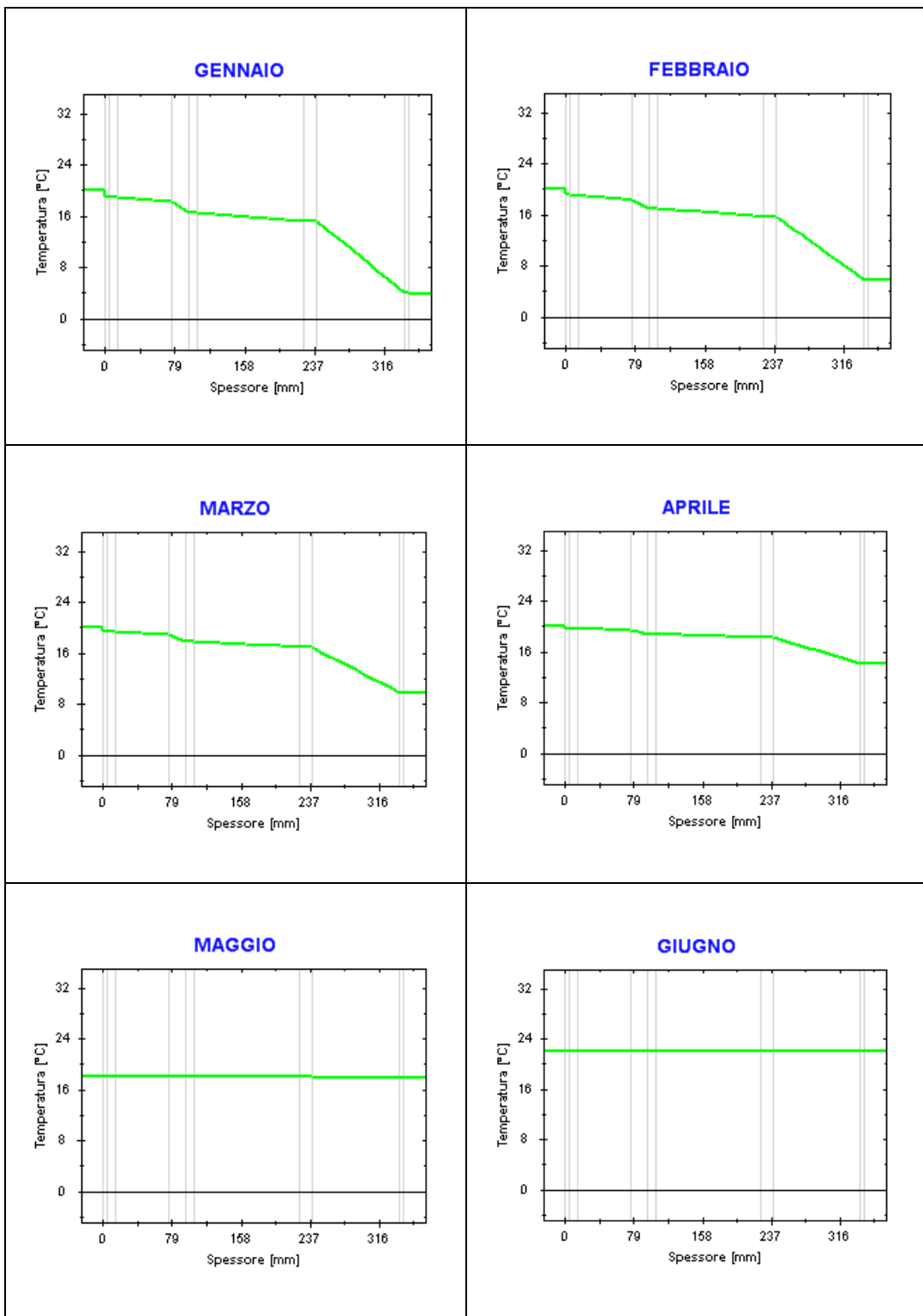
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

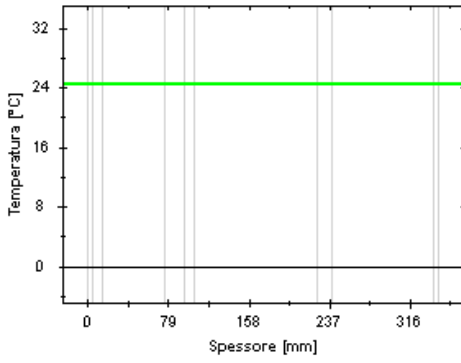




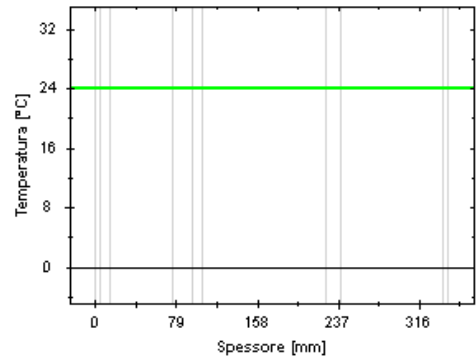
Grafici mensili delle temperature [°C]



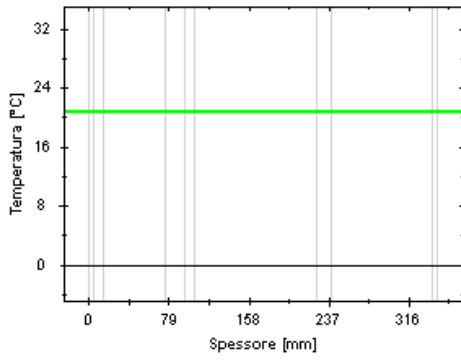
LUGLIO



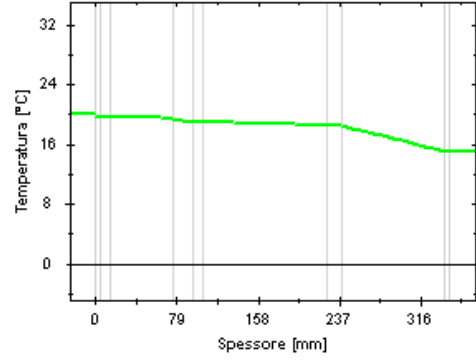
AGOSTO



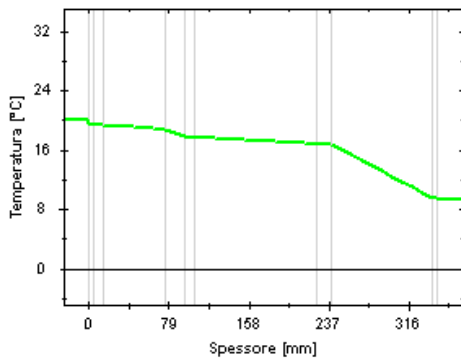
SETTEMBRE



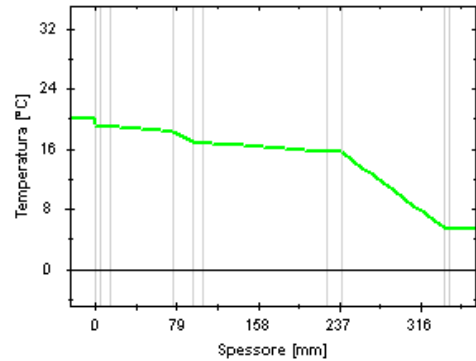
OTTOBRE



NOVEMBRE



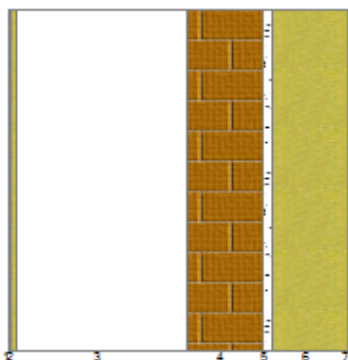
DICEMBRE



Descrizione della struttura: Cassonetto

Per migliorare le caratteristiche termiche e igrometriche della struttura, siamo andati ad aggiungere uno strato isolante costituito da lastre termo compresse di polistirene espanso del tipo EPS 100 dallo spessore di 10 cm.

Trasmittanza termica	0.257 W/m ² K
Spessore	542 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	0.010 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	143 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	106 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.057 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.223 -
Sfasamento onda termica	- 7.6 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,130	-	-	-
1	Acciaio	2,00	52,000	-	7800	0,45	9999999
2	Polistirene espanso sint. in lastre (UNI 7819)	10,00	0,040	-	30	1,25	60
3	Intercapedine debolmente ventilata Av=600 mm ² /m	270,00	-	-	-	-	-
4	Mattono forato	120,00	0,387	-	717	0,84	-
5	Malta di cemento	15,00	1,400	-	2000	1,00	-
6	Polistirene espanso, estruso con pelle	120,00	0,036	-	30	1,25	-
7	Intonaco plastico	5,00	0,400	-	1400	0,84	-
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.084
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.667
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Trasmittanza termica delle strutture opache orizzontali

Le strutture orizzontali presenti nell'edificio sono il pavimento su porticato, il pavimento su box, il pavimento intermedio, il soffitto sotto tetto e il soffitto intermedio. Anche in questo caso, si tratta di strutture critiche in quanto nessuna di esse rispetta i valori di trasmittanza termica stabiliti da normativa ($U = 0.33 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i pavimenti verso locali non riscaldati o verso l'esterno, $U = 0.30 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le coperture, allegato C al DLgs n. 311/06). Avendo apportato modifiche progettuali in particolar modo al piano terra, che non è più adibito a box, ma ha subito una trasformazione funzionale con destinazione d'uso completamente diverse, e quindi ciò che era "pavimento su box" è diventato "pavimento su locali riscaldati", migliorando comunque le prestazioni termiche con l'aggiunta di un pannello semirigido Aeropan dallo spessore di 1 cm, costituito dall'isolante nano tecnologico Aktarus Spaceloft® a bassissima conducibilità termica, combinato tramite pressofusione, ad uno speciale rivestimento in PP rinforzato con fibra di vetro ad altissima resistenza. Si è inoltre aggiunto l'analisi del "pavimento su vespaio", non presente nei dati relativi allo stato di fatto, in quanto con il cambio di destinazione sopra descritto, i locali devono essere dotati di pavimento aerato. In particolare, nel soffitto sotto tetto abbiamo coibentato con uno strato di polistirene espanso sinterizzato in lastre, dallo spessore di 10 cm;

mentre sull'estradosso dei solai su porticato, previsto tre pannelli semirigidi di Aeropan dallo spessore di 1 cm ciascuno. Tutti i pavimenti degli alloggi nel progetto di tesi vengono ristrutturati in toto con l'eliminazione della pavimentazione esistente sopra descritta, per poggiare sullo strato di calcestruzzo di argilla espansa (o sul sottofondo di cemento magro nel caso del pavimento su vespaio) il nuovo sistema di emissione riscaldamento/raffrescamento a pavimento radiante a bassa temperatura, prodotto dalla ditta RDZ (Figura 3.39), modello Cover, composto di una serpentina radiante costituita da tubo in PE-Xc di 17 mm di diametro con interassi 8 e 16 cm, posato su un pannello in polistirene di spessore 40 mm preformato; il tutto rivestito da una caldana additivata per pannelli e piastrelle in ceramica.

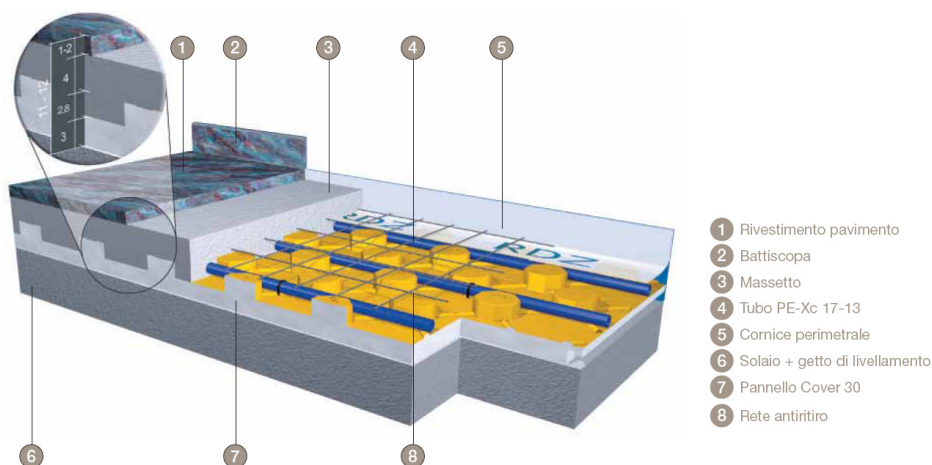


Figura 3.39 Sistema di emissione riscaldamento/raffrescamento a pavimento radiante a bassa temperatura

Tale impianto consente in fase di riscaldamento e raffrescamento, uniformità di distribuzione del calore e basso gradiente termico in altezza, a raggiungimento del massimo confort. Inoltre, avvenendo scambi termici a bassa temperatura, si evidenziano nella gestione elevati risparmi energetici e assenza di polveri in ambiente causate dai moti convettivi dell'aria.

Di seguito si riportano le analisi delle caratteristiche termiche e igrometriche delle stratigrafie disperdenti oggetto di modifiche.

Descrizione della struttura: Pavimento su porticato

Trasmittanza termica	0.243 W/m ² K
Spessore	405 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	- 5.0 °C
Permeanza	0.002 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	432 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	425 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.007 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.030 -
Sfasamento onda termica	- 14.3 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
2	Caldana additivata per pannelli	30,00	1,000	0,030	1800	0,88	30
3	Tubo del pannello – H30	0,00	-	-	-	-	-
4	Polistirene espanso	30,00	0,034	0,882	25	1,30	70
5	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
6	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
7	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
8	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
9	Pannelli semirigido Aeropan	30,00	0,013	2,308	150	1,00	5
10	Intonaco plastico	5,00	0,300	0,017	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduktività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa superficiale, e non è nemmeno più soggetta a fenomeni di condensa interstiziale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$) Positiva

Mese critico Gennaio

Fattore di temperatura del mese critico $f_{RSI,max}$ 0.796

Fattore di temperatura del componente f_{RSI} 0.940

Umidità relativa superficiale accettabile 80 %

Verifica criticità di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Risultati mensili della verifica della condensa superficiale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	P_{int} [Pa]	P_{est} [Pa]	θ_{acc} [°C]	P_{acc} [Pa]	f_{RSI} [-]
<i>ottobre</i>	20.0	14.9	1519	1216	16.7	1899	0.351
<i>novembre</i>	20.0	9.3	1519	935	16.7	1899	0.691
<i>dicembre</i>	20.0	5.2	1519	707	16.7	1899	0.776
<i>gennaio</i>	20.0	3.8	1519	705	16.7	1899	0.796
<i>febbraio</i>	20.0	5.6	1519	665	16.7	1899	0.770
<i>marzo</i>	20.0	9.6	1519	798	16.7	1899	0.682
<i>aprile</i>	20.0	14.0	1519	952	16.7	1899	0.448

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
P_{int}	Pressione dell'ambiente interno
P_{est}	Pressione dell'ambiente esterno
θ_{acc}	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
P_{acc}	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
f_{RSI}	Fattore di temperatura superficiale

Risultati mensili della verifica della condensa interstiziale

Mese	θ_{int} [°C]	θ_{est} [°C]	ϕ_{int} [%]	ϕ_{est} [%]	g_c [g/m ²]	Ma [g/m ²]	Periodi	Stato
ottobre	20.0	14.9	65	72	0.0	0	1	Asciutto
novembre	20.0	9.3	65	80	0.0	0	1	Asciutto
dicembre	20.0	5.2	65	80	0.0	0	1	Asciutto
gennaio	20.0	3.8	65	88	0.0	0	1	Asciutto
febbraio	20.0	5.6	65	73	0.0	0	1	Asciutto
marzo	20.0	9.6	65	67	0.0	0	1	Asciutto
aprile	20.0	14.0	65	60	0.0	0	1	Asciutto
maggio	18.0	17.7	65	69	0.0	0	1	Asciutto
giugno	22.0	22.0	65	63	0.0	0	1	Asciutto
luglio	24.4	24.4	65	63	0.0	0	1	Asciutto
agosto	23.9	23.9	65	64	0.0	0	1	Asciutto
settembre	20.6	20.6	65	65	0.0	0	1	Asciutto

Legenda simboli

θ_{int}	Temperatura dell'ambiente interno
θ_{est}	Temperatura dell'ambiente esterno
ϕ_{int}	Umidità relativa dell'ambiente interno
ϕ_{est}	Umidità relativa dell'ambiente esterno
g_c	Temperatura minima accettabile sulla superficie interna
M_a	Pressione minima accettabile sulla superficie interna
Periodi	Periodi del mese

Distribuzione della temperatura nella struttura [°C]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
Amb.	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	18.0	22.0	24.4	23.9	20.6
Int.	19,7	19,4	19,1	19,0	19,1	19,4	19,6	18,0	22.0	24.4	23.9	20.6
1	19,7	19,3	19,1	19,0	19,1	19,4	19,6	18,0	22.0	24.4	23.9	20.6
2	19,7	19,3	19,0	18,9	19,0	19,3	19,6	18,0	22.0	24.4	23.9	20.6
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Est.	14.9	9.3	5.2	3.8	5.6	9.6	14.0	17.7	22.0	24.4	23.9	20.6

Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Distribuzione della pressione parziale del vapore nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
<i>Int.</i>	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1519	1341	1718	1985	1927	1576
1	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
2	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Est.</i>	1216	935	707	705	665	798	952	1394	1656	1924	1890	1582

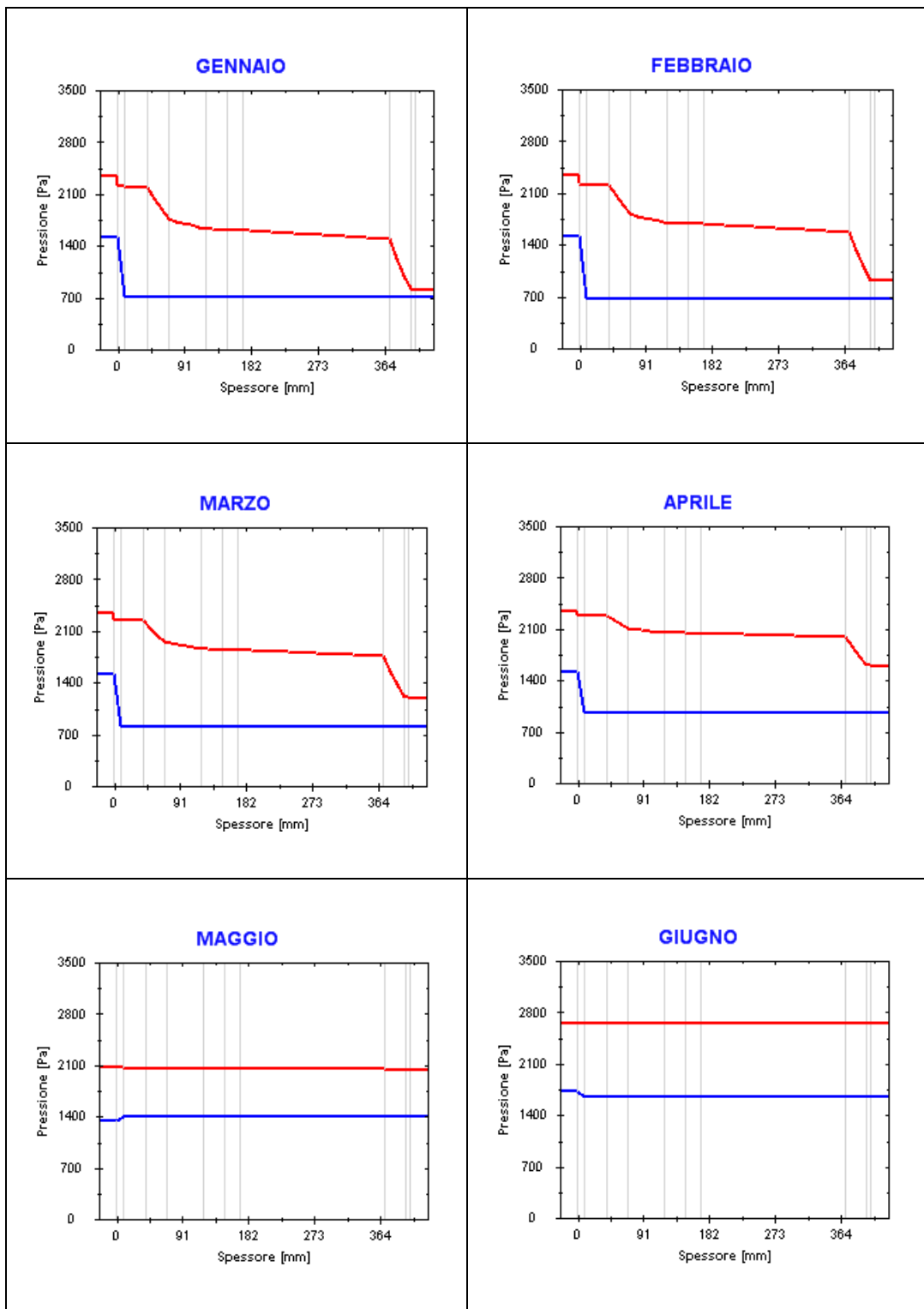
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

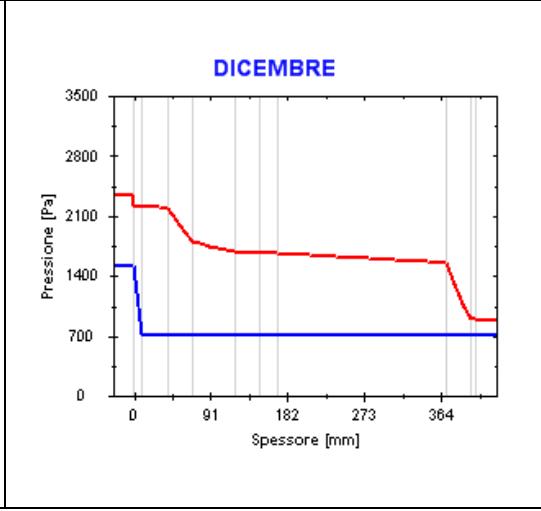
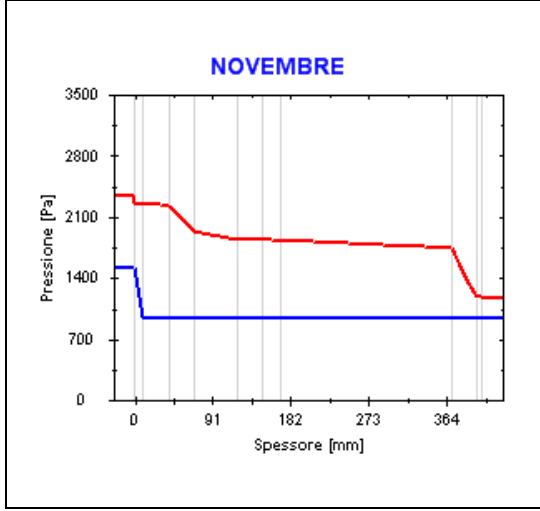
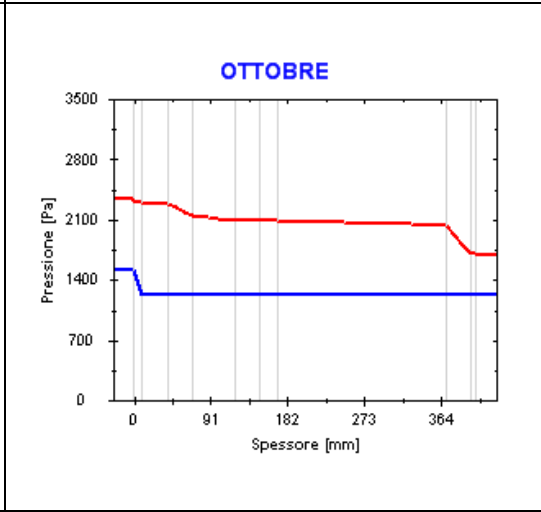
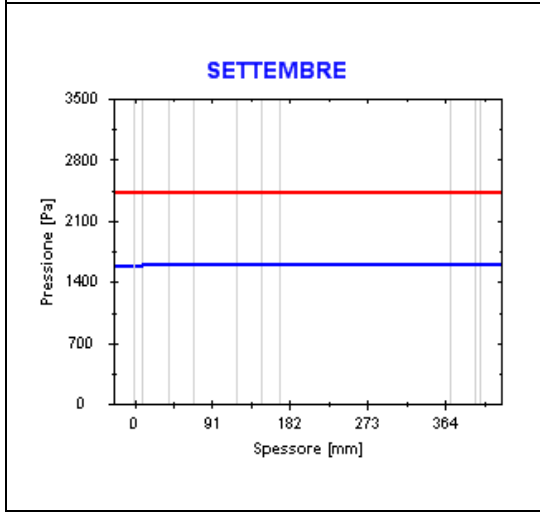
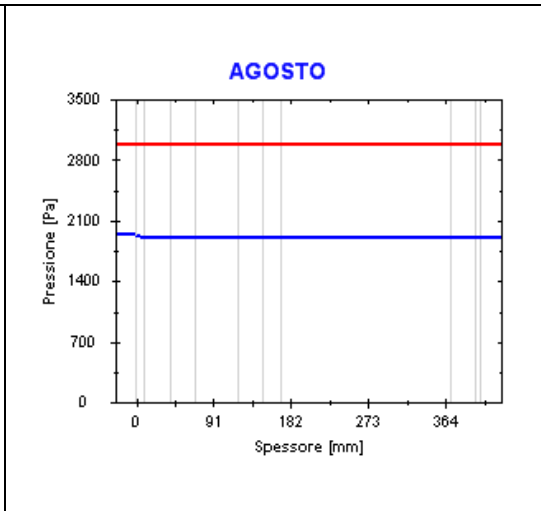
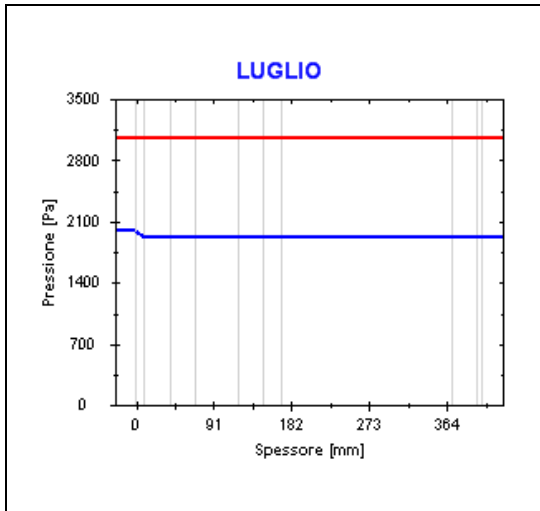
Distribuzione della pressione di saturazione nella struttura [Pa]

Strato	Ott	Nov	Dic	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set
<i>Amb.</i>	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2337	2063	2642	3055	2964	2425
<i>Int.</i>	2293	2246	2212	2201	2216	2249	2286	2061	2642	3055	2964	2425
1	2292	2244	2209	2197	2212	2246	2284	2060	2642	3055	2964	2425
2	2287	2233	2194	2181	2198	2236	2278	2060	2642	3055	2964	2425
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Est.</i>	1693	1171	884	801	909	1195	1598	2024	2642	3055	2964	2425

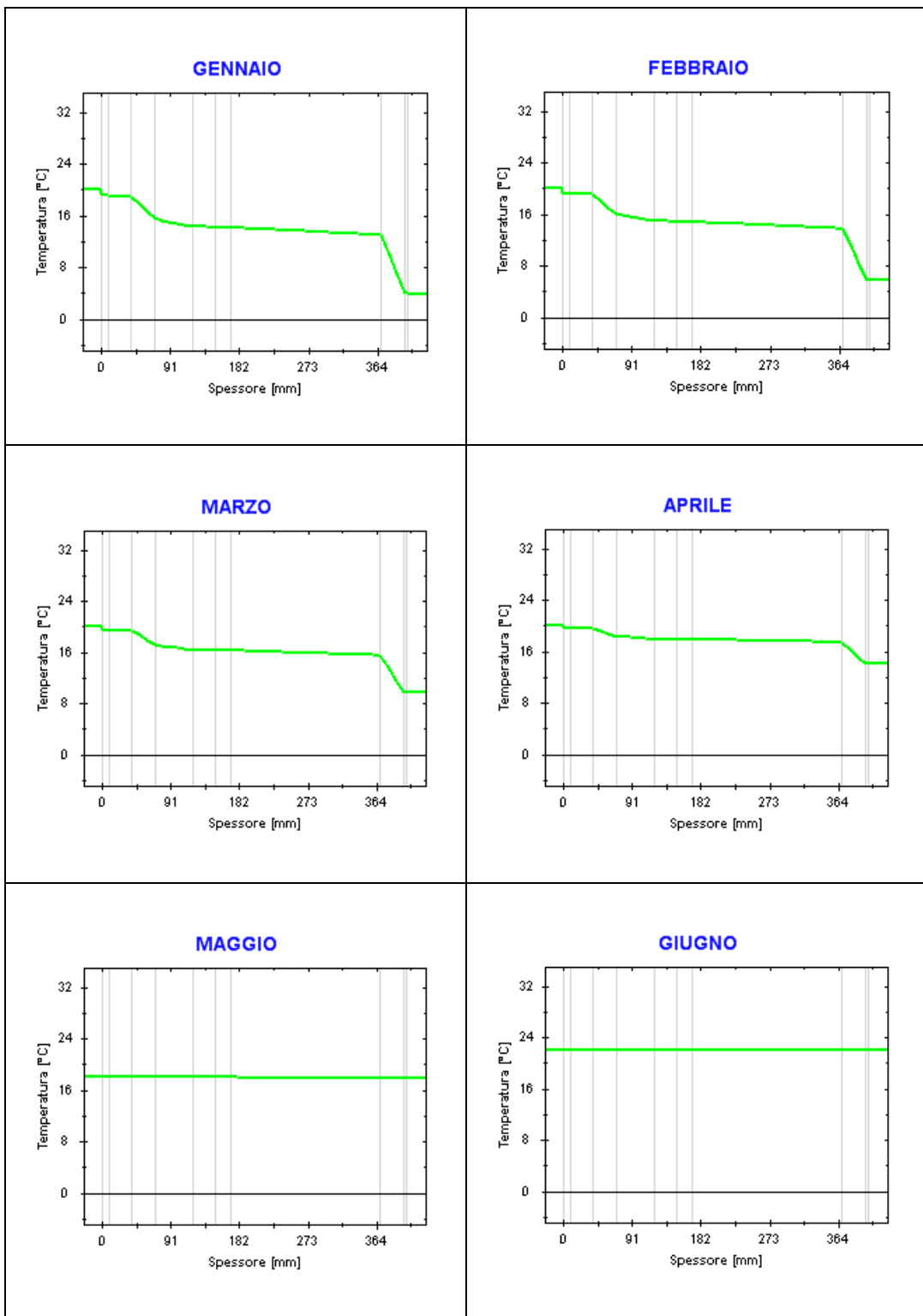
Valori sul lato esterno dello strato; Amb.=ambiente interno; Int.=a valle dello strato liminare interno; Est.=ambiente esterno

Grafici mensili delle pressioni parziali e di saturazione del vapore

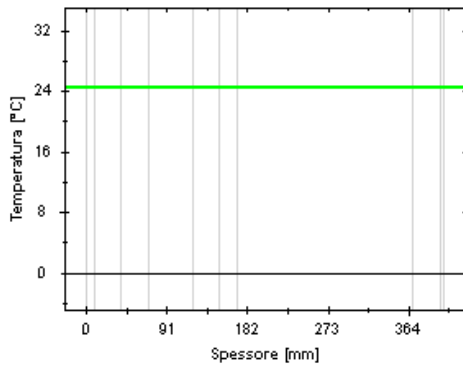




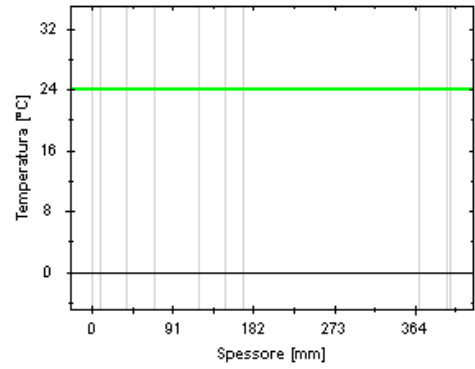
Grafici mensili delle temperature [°C]



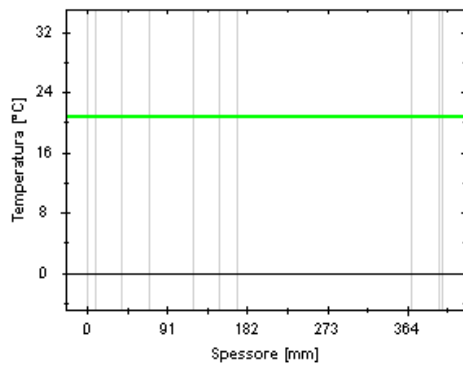
LUGLIO



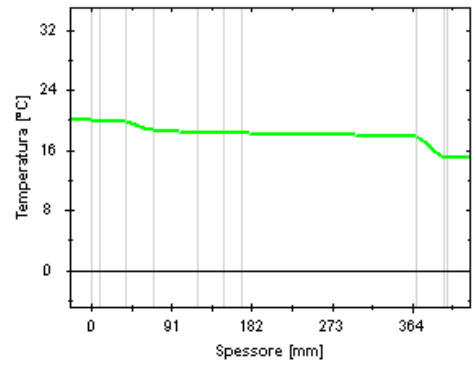
AGOSTO



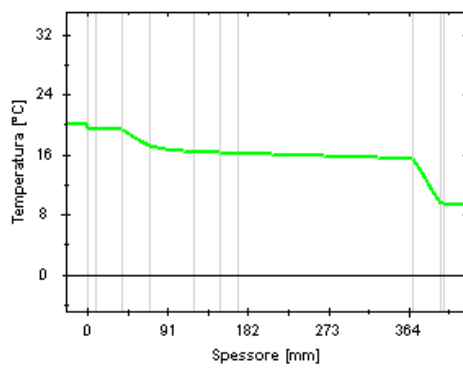
SETTEMBRE



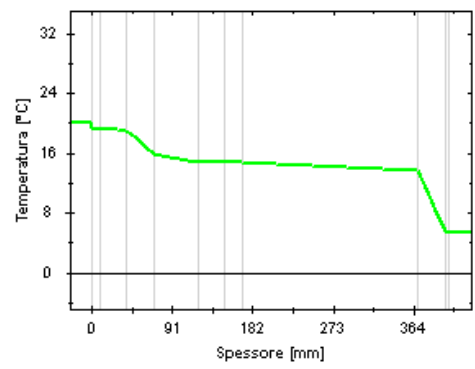
OTTOBRE



NOVEMBRE



DICEMBRE



Descrizione della struttura: Pavimento su locali riscaldati

Trasmittanza termica	0.368 W/m ² K
Spessore	400 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	16.0 °C
Permeanza	0.002 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	456 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	422 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.014 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.039
Sfasamento onda termica	- 14.5 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
2	Caldana additivata per pannelli	30,00	1,000	0,030	1800	0,88	30
3	Tube del pannello – H30	0,00	-	-	-	-	-
4	Polistirene espanso	30,00	0,034	0,882	25	1,30	70
5	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
6	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
7	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
8	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
9	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
10	Pannelli semirigido Aeropan	30,00	0,013	2,308	150	1,00	5
11	Intonaco plastico	5,00	0,300	0,017	1300	0,84	30
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ - 0.278
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.913
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Pavimento intermedio

Trasmittanza termica	0.516 W/m ² K
Spessore	385 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	20.0 °C
Permeanza	0.002 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	448 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	421 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.055 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.106 -
Sfasamento onda termica	- 13.1 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
2	Caldana additivata per pannelli	30,00	1,000	0,030	1800	0,88	30
3	Tubo del pannello – H30	0,00	-	-	-	-	-
4	Polistirene espanso	30,00	0,034	0,882	25	1,30	70
5	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
6	Sottofondo di cemento magro	30,00	0,900	0,033	1800	0,88	30
7	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
8	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
9	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,170	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

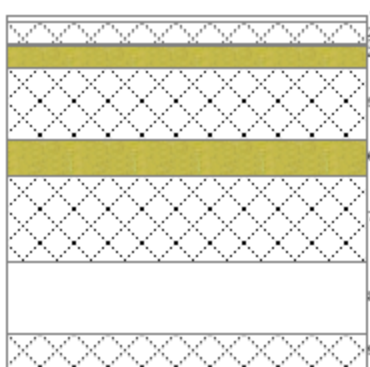
Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)		Positiva
Mese critico		Ottobre
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$	0.000
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI}	0.881
Umidità relativa superficiale accettabile		80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Pavimento su vespaio (igloo)

Trasmittanza termica	0.332 W/m ² K
Trasmittanza controterra	0.219 W/m ² K
Spessore	490 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	0.0 °C
Permeanza	0.002 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	579 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	579 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.007 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.031 -
Sfasamento onda termica	- 16.1 h



Stratigrafia

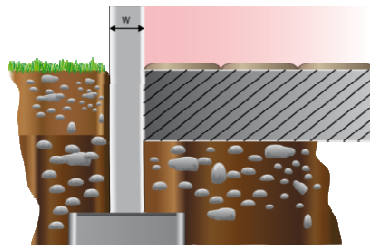
N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,170	-	-	-
1	Piastrelle in ceramica	10,00	1,300	0,008	2300	0,84	9999999
2	Caldana additivata per pannelli	30,00	1,000	0,030	1800	0,88	30
3	Tubo del pannello – H30	0,00	-	-	-	-	-
4	Polistirene espanso	30,00	0,034	0,882	25	1,30	70
5	Sottofondo di cemento magro	100,00	0,900	0,111	1800	0,88	30
6	Polistirene espanso, estruso con pelle	50,00	0,036	1,389	30	1,25	300
7	C.l.s. di sabbia e ghiaia pareti esterne	120,00	1,310	0,092	2000	0,88	100
8	Intercapedine non ventilata Av<500 mm ² /m	100,00	0,455	0,220	-	-	-
9	Sottofondo di cemento magro	50,00	0,700	0,071	1600	0,88	20
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,040	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

Pavimento appoggiato sul terreno

Area del pavimento	1530.00 m ²
Perimetro disperdente del pavimento	520.00 m
Spessore pareti perimetrali esterne	425 mm
Conduttività termica del terreno	2.00 W/mK



La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperatura esterna fissa, pari a	14.3 °C (media annuale)
Umidità relativa esterna fissa, pari a	100 %
Temperatura interna nel periodo di riscaldamento	20.0 °C
Umidità relativa interna costante, pari a	65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Ottobre
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.424
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.919
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Descrizione della struttura: Soffitto sotto tetto

Trasmittanza termica	0.299 W/m ² K
Spessore	385 mm
Temperatura esterna (calcolo potenza invernale)	5.0 °C
Permeanza	25.016 10 ⁻¹² kg/sm ² Pa
Massa superficiale (con intonaci)	319 kg/m ²
Massa superficiale (senza intonaci)	292 kg/m ²
Trasmittanza periodica	0.058 W/m ² K
Fattore attenuazione	0.193 -
Sfasamento onda termica	- 9.8 h



Stratigrafia

N.	Descrizione strato	s	Cond.	R	M.V.	C.T.	R.V.
-	Resistenza superficiale esterna	-	-	0,100	-	-	-
1	Polistirene espanso sinterizzato In lastre (UNI 7819)	100,00	0,040	2,500	25	1,25	45
1	C.l.s. di argilla espansa pareti interne a struttura aperta (um. 4%)	50,00	0,160	0,313	500	1,00	7
2	Massetto ripartitore in calcestruzzo con rete	20,00	1,490	0,013	2200	0,88	70
3	Soletta in laterizio spess. 18-20 - Inter. 50	200,00	0,660	0,303	1100	0,84	7
4	Malta di calce o di calce e cemento	15,00	0,900	0,017	1800	1,00	23
-	Resistenza superficiale interna	-	-	0,100	-	-	-

Legenda simboli

S	Spessore	mm
Cond.	Conduttività termica, comprensiva di eventuale maggiorazione	W/mK
R	Resistenza termica	m ² K/W
M.V.	Massa volumica	kg/m ³
C.T.	Capacità termica specifica	kJ/kgK
R.V.	Fattore di resistenza alla diffusione del vapore in capo asciutto	

La struttura non è soggetta a fenomeni di condensa né interstiziale, né superficiale.

Condizioni al contorno

Temperature e umidità relativa esterne variabili, medie mensili

Temperatura interna nel periodo di riscaldamento 20.0 °C

Umidità relativa interna costante, pari a 65 %

Verifica criticità di condensa superficiale

Verifica condensa superficiale ($f_{RSI,max} \leq f_{RSI}$)	Positiva
Mese critico	Gennaio
Fattore di temperatura del mese critico	$f_{RSI,max}$ 0.659
Fattore di temperatura del componente	f_{RSI} 0.931
Umidità relativa superficiale accettabile	80 %

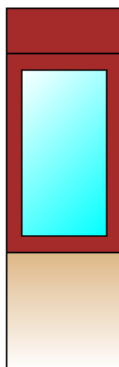
Verifica del rischio di condensa interstiziale

Non si verifica formazione di condensa interstiziale nella struttura durante tutto l'arco dell'anno.

Trasmittanza termica delle chiusure trasparenti

All'interno dell'edificio abbiamo tre tipologie di serramenti, due apribili di dimensioni 890 mm x 1525 mm e 1390 mm x 1525 mm, e una scorrevole di dimensioni 1890 mm x 2425 mm. Tutti i serramenti sono caratterizzati da un telaio in materiale metallico e vetri del tipo isolante costituiti da due cristalli planimetrici e possiedono persiane avvolgibili. Come per le strutture orizzontali e verticali opache, anche per quanto riguarda quelle trasparenti i valori di trasmittanza non sono verificati da normativa ($U = 2.2 \text{ W/m}^2\text{K}$ per le chiusure trasparenti comprensive degli infissi, $U = 1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per i vetri, allegato C al DLgs n. 311/06). Per migliorare le caratteristiche termiche dei componenti finestrati, siamo andati a sostituirli con serramenti in PVC dell'azienda Schulz Italia, modello 700 HQ, del tipo triplo vetro e doppia camera d'aria, che garantiscono un isolamento termico anta/telaio pari a $U_f 1.0 \text{ W/m}^2\text{K}$, cosa che consente di realizzare finestre con un isolamento pari a $U_w 0.80 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Descrizione della finestra: Finestra 890 x 1525



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	-
Classe di permeabilità	Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w 0.800 $\text{W/m}^2\text{K}$
Trasmittanza solo vetro	U_g 1.000 $\text{W/m}^2\text{K}$

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	ϵ	0.837 -
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\text{ inv}}$	1.00 -
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\text{ est}}$	1.00 -
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure	0.16 $\text{m}^2\text{K/W}$
Ore giornaliere di chiusura	8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza	89.0 cm
Altezza	152.5 cm

Caratteristiche del telaio

Area totale	A_w	1.357 m ²
Area vetro	A_g	0.835 m ²
Area telaio	A_f	0.522 m ²
Fattore di forma	F_f	0.62 -
Perimetro vetro	L_g	3.870 m
Perimetro telaio	L_f	4.830 m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	1.258 W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------------------

Cassonetto

Trasmittanza termica	U	0.257 W/m ² K
Altezza	H_{cass}	35.00 cm
Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.31 m ²

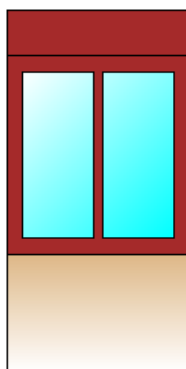
Muro sottofinestra

Trasmittanza termica	U	0.227 W/m ² K
Altezza	H_{sott}	90.00 cm
Area		0.80 m ²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica	Ψ	0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale		4.83 m

Descrizione della finestra: Finestra 1390 x 1525



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento	-
Classe di permeabilità	Senza classificazione
Trasmittanza termica	U_w 0.800 W/m ² K
Trasmittanza solo vetro	U_g 1.000 W/m ² K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività	ϵ	0.837 -
Fattore tendaggi (invernale)	$f_{c\text{ inv}}$	1.00 -
Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\text{ est}}$	1.00 -
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure	0.16 m ² K/W
Ore giornaliere di chiusura	8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza	139.0 cm
Altezza	152.5 cm

Caratteristiche del telaio

Area totale	A_w	2.120 m ²
Area vetro	A_g	1.375 m ²
Area telaio	A_f	0.745 m ²
Fattore di forma	F_f	0.65 -
Perimetro vetro	L_g	7.280 m
Perimetro telaio	L_f	5.830 m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo U 1.102 W/m²K

Cassonetto

Trasmittanza termica U 0.257 W/m²K

Altezza H_{cass} 35.00 cm

Profondità P_{cass} 30.00 cm

Area frontale 0.49 m²

Muro sottofinestra

Trasmittanza termica U 0.227 W/m²K

Altezza H_{sott} 90.00 cm

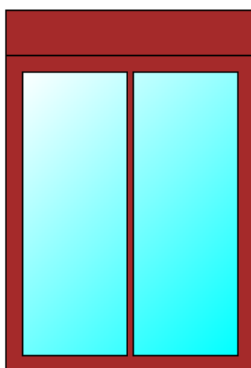
Area 1.25 m²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica Ψ 0.350 W/mK

Lunghezza perimetrale 5.83 m

Descrizione della finestra: Finestra 1890 x 2425



Caratteristiche del serramento

Tipologia di serramento -
Classe di permeabilità Senza classificazione
Trasmittanza termica U_w 0.800 W/m²K
Trasmittanza solo vetro U_g 1.000 W/m²K

Dati per il calcolo degli apporti solari

Emissività ε 0.837 -
Fattore tendaggi (invernale) f_{c inv} 1.00 -

Fattore tendaggi (estivo)	$f_{c\ est}$	1.00 -
Fattore di trasmittanza solare	$g_{gl,n}$	0.750 -

Caratteristiche delle chiusure oscuranti

Resistenza termica chiusure		0.16 m ² K/W
Ore giornaliere di chiusura		8.0 h

Dimensioni del serramento

Larghezza		189.0 cm
Altezza		242.5 cm

Caratteristiche del telaio

Area totale	A_w	4.583 m ²
Area vetro	A_g	3.518 m ²
Area telaio	A_f	1.065 m ²
Fattore di forma	F_f	0.77 -
Perimetro vetro	L_g	11.960 m
Perimetro telaio	L_f	8.630 m

Caratteristiche del modulo

Trasmittanza termica del modulo	U	1.335 W/m ² K
---------------------------------	-----	--------------------------

Cassonetto

Trasmittanza termica	U	0.257 W/m ² K
Altezza	H_{cass}	35.00 cm
Profondità	P_{cass}	30.00 cm
Area frontale		0.66 m ²

Ponte termico del serramento

Trasmittanza termica lineica	Ψ	0.350 W/mK
Lunghezza perimetrale		8.63 m

Correzione dei ponti termici

Nella struttura esistente si verificava la presenza di ponti termici in corrispondenza di discontinuità, questo significa che il flusso di calore, da monodirezionale, veniva deviato in diverse direzione. Attraverso le modifiche apportare nell'ipotesi di progetto, nella fattispecie attraverso la coibentazione dell'intero edificio tramite l'aggiunta di cappotto esterno, strato isolante sia nel solaio sottotetto che nel solaio al piano primo, prospiciente sulla zona porticato, e con la sostituzione dei serramenti esistenti con altri altamente performanti, i ponti termici sono stati eliminati e non si verificano più discontinuità nella struttura.

3.5.4 Calcolo della potenza dispersa

Per poter effettuare un confronto finale delle diverse soluzioni, affronteremo in questa sede esclusivamente i dati relativi alla porzione residenziale dell'edificio, escludendo quindi i dati relativi al piano terra che ha subito una trasformazione passando da box di pertinenza dei condomini a esercizi commerciali, e che presenteremo più avanti.

Dati climatici della località

Località	Treviglio
Provincia	Bergamo
Altitudine s.l.m.	125 m
Gradi Giorno	2237
Zona climatica	E
Temperatura esterna di progetto	- 5.0 °C

Dati geometrici della zona residenziale

Superficie in pianta netta	3956.76 m ²
Superficie esterna lorda	7718.53 m ²
Volume netto	10920.66 m ³
Volume lordo	15263.33 m ³
Rapporto S/V	0.51 m ⁻¹

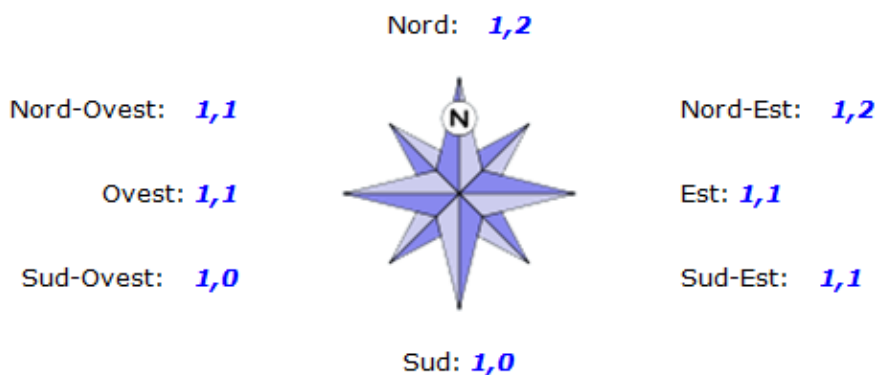
Dati geometrici dell'intero edificio

Superficie in pianta netta	4873.73 m ²
Superficie esterna lorda	10239.02 m ²
Volume netto	13554.75 m ³
Volume lordo	18837.86 m ³
Rapporto S/V	0.54 m ⁻¹

Opzioni di calcolo

Metodologia di calcolo	Vicini presenti
Coefficiente di sicurezza adottato	1.00 –

Coefficienti di esposizione solare



Avendo apportato modifiche all'involucro dell'edificio il calcolo delle dispersioni è cambiato: nello stato di fatto consideravamo l'intero edificio come una zona termica, come poc'anzi accennato, in questo caso le zone termiche diventano due, quella residenziale che comprende i tre piani fuori terra quindi i 54 alloggi, e quella del piano terra con funzioni miste, ma in ora prenderemo in considerazione la sola zona residenziale. Il calcolo delle dispersioni avverrà quindi per entrambe le zone in base ai loro componenti, e successivamente in base ai diversi locali che le compongono.

Dettaglio delle dispersioni per trasmissione dei componenti

Dispersioni attraverso le strutture opache

Tipo	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	Te [°C]	ΔT [°C]	S _{Tot} [m ²]	Φ _{tr} [W]	% Φ _{Tot} [%]
T	Muro perimetrale	0.204	14,3	5,7	2667.86	3491	5.4
T	Quinta perimetrale	0.240	-5,0	25,0	1227.27	8256	12.9
T	Muro sotto finestra	0.227	-5,0	25,0	221.72	1413	2.2
U	Muro su vano scala	0.811	8,0	12,0	822.22	8001	12.5
T	Cassonetto	0.257	-5,0	25,0	222.73	1613	2.5
U	Porta ingresso alloggio	1.648	8,0	12,0	62.37	1234	1.9
T	Pavimento su porticato	0.243	-5,0	25,0	442.48	2687	4.2
U	Soffitto sotto tetto	0.299	5,0	15,0	1545.45	6929	10.8

Totale 33624 52,5

Dispersioni attraverso le strutture trasparenti

Tipo	Descrizione elemento	U [W/m ² K]	T _e [°C]	ΔT [°C]	S _{Tot} [m ²]	Φ _{tr} [W]	% Φ _{Tot} [%]
T	Finestra 890 x 1525	0,800	-5,0	25,0	146,60	3298	5,1
T	Finestra 1390 x 1525	0,800	-5,0	25,0	229,10	5155	8,0
T	Porta Finestra 1890 x 2425	0,800	-5,0	25,0	233,53	5289	8,3
Totale						13742	21,5

Dispersioni attraverso i ponti termici

Tipo	Descrizione elemento	Ψ [W/mK]	T _e [°C]	ΔT [°C]	L _{Tot} [m]	Φ _{tr} [W]	% Φ _{Tot} [%]
-	R - Parete - Copertura	0,020	-5,0	25,0	1273,33	346	0,5
-	GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	-5,0	25,0	784,36	655	1,0
-	W - Parete - Telaio	0,350	-5,0	25,0	1591,51	15695	24,5
Totale						16696	26,1

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente [W/m ² K]
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico [W/m ² K]
T _e	Temperatura di esposizione dell'elemento [°C]
ΔT	Differenza tra la temperatura esterna di progetto e quella interna [°C]
S _{Tot}	Superficie totale su tutto l'edificio dell'elemento disperdente [m ²]
L _{Tot}	Lunghezza totale su tutto l'edificio del ponte termico [m]
Φ _{tr}	Potenza dispersa per trasmissione [W]
%Φ _{Tot}	Rapporto percentuale tra il Φ _{tr} dell'elemento e il totale dei Φ _{tr}

Nel caso del nostro edificio, i valori delle dispersioni per trasmissione, raggruppate per esposizione, sono le seguenti:

Prospetto Nord – Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0.204	14,3	5,7	692.34	968	1.5
Quinta perimetrale	0.240	-5,0	25,0	282.79	2036	3.2
Muro sotto finestra	0.227	-5,0	25,0	61.59	419	0.7
Cassonetto	0.257	-5,0	25,0	66.57	513	0.8
R - Parete - Copertura	0.020	-5,0	25,0	128.43	31	0.0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	-5,0	25,0	129.86	86	0.1
IF - Parete - Solaio interpiano	0.350	-5,0	25,0	475.14	4989	7.8
W - Parete - Telaio	0.800	-5,0	25,0	40.72	977	1.5
Finestra 890 x 1525	0.800	-5,0	25,0	63.64	1527	2.4
Finestra 1390 x 1525	0.800	-5,0	25,0	82.42	1978	3.1
Porta Finestra 1890 x 2425	0.204	-5,0	25,0	692.34	968	1.5

Totale 13525 21,1

Prospetto Sud – Est

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0.204	14,3	5,7	540.08	692	1.1
Quinta perimetrale	0.240	-5,0	25,0	382.93	2527	3.9
Muro sotto finestra	0.227	-5,0	25,0	49.27	307	0.5
Cassonetto	0.257	-5,0	25,0	50.31	356	0.6
R - Parete - Copertura	0.020	-5,0	25,0	115.83	31	0.0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	-5,0	25,0	117.24	87	0.1
IF - Parete - Solaio interpiano	0.350	-5,0	25,0	359.42	3459	5.4
W - Parete - Telaio	0.800	-5,0	25,0	32.58	717	1.1
Finestra 890 x 1525	0.800	-5,0	25,0	50.91	1120	1.7
Finestra 1390 x 1525	0.800	-5,0	25,0	54.95	1209	1.9
Porta Finestra 1890 x 2425	0.204	-5,0	25,0	540.08	692	1.1

Totale 10505 16,4

Prospetto Sud – Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0.204	14,3	5,7	748.63	916	1.4
Quinta perimetrale	0.240	-5,0	25,0	301.37	1898	3.0
Muro sotto finestra	0.227	-5,0	25,0	61.59	366	0.6
Cassonetto	0.257	-5,0	25,0	59.21	399	0.6
R - Parete - Copertura	0.020	-5,0	25,0	133.11	28	0.0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	-5,0	25,0	134.54	79	0.1
IF - Parete - Solaio interpiano	0.350	-5,0	25,0	423.41	3890	6.1
W - Parete - Telaio	0.800	-5,0	25,0	40.72	855	1.3
Finestra 890 x 1525	0.800	-5,0	25,0	63.64	1336	2.1
Finestra 1390 x 1525	0.800	-5,0	25,0	54.95	1154	1.8
Porta Finestra 1890 x 2425	0.204	-5,0	25,0	748.63	916	1.4

Totale 10923 17,1

Prospetto Nord – Ovest

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
Muro perimetrale	0.204	14,3	5,7	652.79	875	1.4
Quinta perimetrale	0.240	-5,0	25,0	260.18	1795	2.8
Muro sotto finestra	0.227	-5,0	25,0	49.27	321	0.5
Cassonetto	0.257	-5,0	25,0	46.63	345	0.5
R - Parete - Copertura	0.020	-5,0	25,0	113.17	27	0.0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	-5,0	25,0	114.57	74	0.1
IF - Parete - Solaio interpiano	0.350	-5,0	25,0	333.55	3356	5.2
W - Parete - Telaio	0.800	-5,0	25,0	32.58	749	1.2
Finestra 890 x 1525	0.800	-5,0	25,0	50.91	1171	1.8
Finestra 1390 x 1525	0.800	-5,0	25,0	41.21	948	1.5
Porta Finestra 1890 x 2425	0.204	-5,0	25,0	652.79	875	1.4

Totale 9661 15,1

Prospetto Orizzontale

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
<i>Pavimento su porticato</i>	0,243	-5,0	25,0	442,48	2687	4,2
<i>Soffitto sotto tetto</i>	0,299	5,0	15,0	1545,45	6929	10,8
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	-5,0	25,0	688,91	207	0,3
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	-5,0	25,0	193,67	266	0,43

Totale 10089 15,7

Prospetto non disperdente

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ[W/mK]	Te [°C]	ΔT [°C]	Sup.[m ²] Lungh.[m]	Φ _{tr} [W]	%Φ _{Tot} [%]
<i>Muro perimetrale</i>	0,204	14,3	5,7	34,02	40	0,1
<i>Muro su vano scala</i>	0,811	8,0	12,0	822,22	8001	12,5
<i>Porta ingresso alloggio</i>	1,648	8,0	12,0	62,37	1234	1,9
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	-5,0	25,0	93,88	23	0,0
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	-5,0	25,0	94,48	62	0,1

Totale 9359 14,6

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica di un elemento disperdente [W/m ² K]
Ψ	Trasmittanza termica lineica di un ponte termico [W/m ² K]
T _e	Temperatura di esposizione dell'elemento [°C]
ΔT	Differenza tra la temperatura esterna di progetto e quella interna [°C]
Sup.	Superficie di un elemento disperdente [m ²]
Lungh.	Lunghezza di un ponte termico [m]
Φ _{tr}	Potenza dispersa per trasmissione [W]
%Φ _{Tot}	Rapporto percentuale tra il Φ _{tr} dell'elemento e il totale dei Φ _{tr}

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni per ventilazione è il seguente:

Descrizione zona termica	V _{netto} [m ³]	Φ _{ve} [W]
<i>Edificio</i>	10920,7	4254

Totale 4254

Legenda simboli

V _{netto}	Volume netto della zona termica
Φ _{ve}	Potenza dispersa per ventilazione

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni per intermittenza è il seguente:

Descrizione zona termica	S_u [m ²]	f_{RH} [-]	Φ_{rh} [W]
<i>Edificio</i>	3956,76	0	0
Totale			0

Legenda simboli

S_u Superficie in pianta netta della zona termica
 f_{rh} Fattore di ripresa
 Φ_{ve} Potenza dispersa per intermittenza

Nel caso del nostro edificio, il valore delle dispersioni totali è il seguente:

Descrizione zona termica	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl,sic}$ [W]
<i>Edificio</i>	68316	68316
Totale		68316

Legenda simboli

Φ_{hl} Potenza totale dispersa
 $\Phi_{hl,sic}$ Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

3.5.5 Calcolo del fabbisogno energetico dell'involucro Q_H

Prima di procedere con il calcolo del fabbisogno energetico si precisa che il sistema impiantistico è cambiato ed è stato adeguato alla normativa secondo le indicazioni della D.G.R. IX/2601 del 30 Novembre 2011 e della successiva D.G.R. IX/3522 del 23 Maggio 2012.

In luogo della caldaia esistente funzionante a metano descritta nello stato di fatto, si propone l'installazione di una pompa di calore ad assorbimento Robur. In effetti trattasi di una caldaia-refrigeratore, kit denominato RTYR configurato con circolatori interni che, funzionando con un ciclo ad assorbimento reversibile aria-acqua, fornisce calore per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria e acqua refrigerata per il raffrescamento (Figura 3.40).

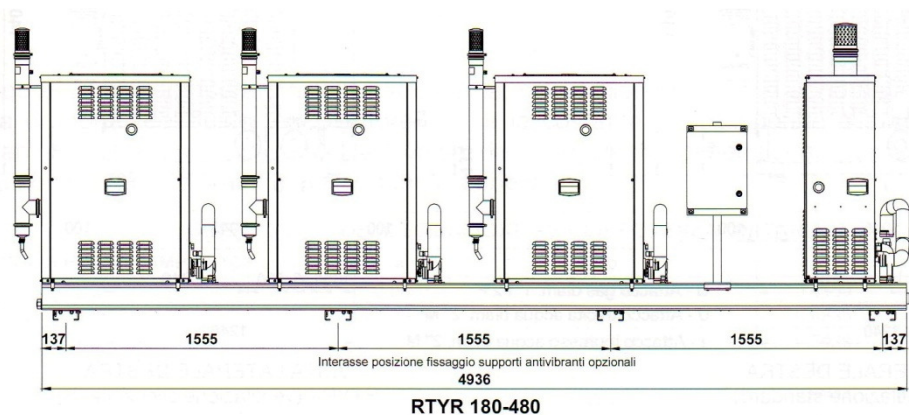


Figura 3.40 Unità preassemblata RTYR Robur, vista frontale

La combustione viene alimentata da gas metano e il kit è caratterizzato da un limitato fabbisogno di energia elettrica. L'inversione del ciclo sul circuito frigorifero aria/ammoniaca permette di utilizzare il kit RTYR a seconda delle esigenze per il riscaldamento o per il condizionamento, utilizzando il medesimo impianto a due tubi garantendo la produzione di acqua fredda fino a 3 °C o di acqua calda fino a 60 °C. Il kit funziona come un refrigeratore ad assorbimento ed il calore, sottratto all'ambiente condizionato, viene trasferito all'ambiente esterno tramite il condensatore assorbitore raffreddato ad aria. In funzionamento invernale il kit sfrutta il ciclo frigorifero ad assorbimento per recuperare calore dall'ambiente esterno che, sommato al calore prodotto dalla combustione del gas metano, viene trasferito nel condensatore e quindi all'ambiente da riscaldare, garantendo efficienze oltre il 150 %. Anche nel caso di installazione in climi particolarmente rigidi con temperature dell'aria esterna di - 20 °C, il kit garantisce efficienze sempre superiori al 110 %. In particolare, all'interno dell'unità Robur circola una soluzione di acqua e ammoniaca che viene riscaldata da un bruciatore a gas in un generatore. L'ammoniaca passa sotto forma di vapore e si separa dall'acqua; viene quindi convogliata in uno scambiatore di calore (condensatore) dove, raffreddata dall'aria a temperatura ambiente (aria esterna) passa allo stato liquido. L'ammoniaca liquida ottenuta viene espansa in un secondo condensatore di calore (evaporatore) dove raffredda l'acqua del circuito esterno (impianto), assorbendone il calore ed evaporando nuovamente. Il vapore di ammoniaca passa quindi nell'assorbitore dove incontra l'acqua rimasta dopo la separazione del vapore di ammoniaca nel generatore. Qui avviene l'assorbimento: il processo che dà il nome all'intero ciclo di funzionamento della macchina. Il vapore d'ammoniaca assorbito dall'acqua torna allo stato liquido iniziando e riprendendo il ciclo nel generatore (Figura 3.41).

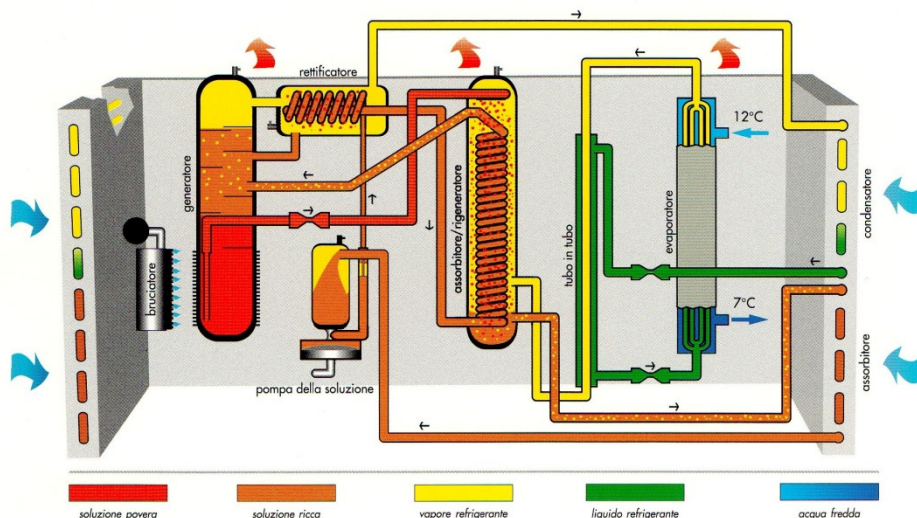


Figura 3.41 Sistema di funzionamento delle pompe di calore reversibili Robur

Con riferimento alle nuove potenze termiche calcolate, sia per il riscaldamento che per il condizionamento, si è scelto il kit RTYR 180-480, costituito da 3AR + 1AY, dove per AR si intende pompa reversibile caldaia refrigeratore, mentre per AY si intende caldaia a condensazione, per una potenza termica complessiva pari a 110 kW reali; la potenza termica al bruciatore in regime di condizionamento estivo è pari a 75.6 kW reali.

Il ricambio d'aria naturale previsto dalla norma e il relativo fabbisogno di energia necessario per sopperire alle perdite di calore durante la ventilazione degli ambienti (apertura delle finestre in pieno inverno), viene sostituito da quello più efficace costituito dall'impianto di ventilazione meccanica controllata.

In pratica la VMC permette di ottenere in modo continuo e controllato il ricambio d'aria necessario a far "respirare" la casa, agendo significativamente sulla riduzione dell'umidità relativa e sull'incremento del comfort abitativo.

Nel caso di specie, trattasi di un sistema di un sistema di ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero di calore statico o termodinamico avente grado di efficienza pari al 92,1% .

Il principio di ventilazione di un alloggio, illustrato nella figura sottostante (Figura 3.42), consiste nell'immissione di aria nuova nei cosiddetti locali "nobili", ossia a bassa produzione di inquinanti attraverso una rete di tubi e bocchette, quali soggiorni e camere da letto, e nella simultanea estrazione dell'aria viziata dai locali "sporchi" o "tecnici", ossia a più alta concentrazione di inquinanti, quali le cucine, i servizi igienici e, se esistenti, le lavanderie con un secondo circuito costituito da tubazione e altrettante bocchette.

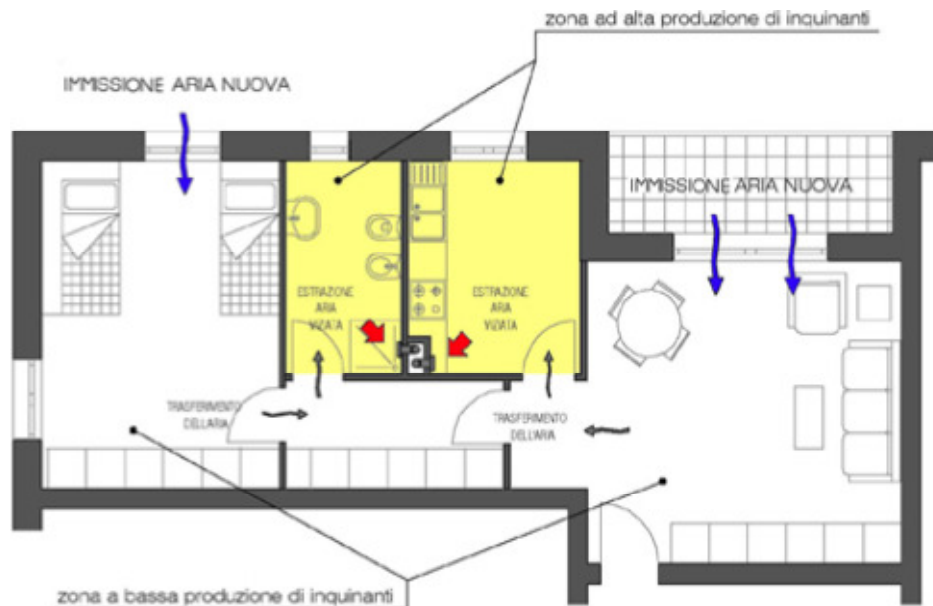


Figura 3.42 Principio della ventilazione nell'edilizia residenziale

L'utilizzo di sistemi meccanici per il ricambio dell'aria negli alloggi contribuisce al contenimento delle dispersioni termiche dovute ai processi di ventilazione. L'apertura delle finestre, contrariamente a quanto si crede, deve essere ritenuta la modalità di aerazione più dispendiosa di energia perché le quantità dei ricambi dell'aria non possono essere "controllate" e, durante i seppur brevi periodi di apertura dei serramenti nella stagione invernale, le dispersioni di calore sono molto elevate. Ecco perché semplici studi energetici fanno corrispondere ai sistemi di ventilazione per apertura delle finestre ricambi attorno a 1,2 vol/h contro valori standard dei sistemi meccanici di 0,5 vol/h, ritenuti ottimali.

Nei casi di impiego di sistemi meccanici occorre considerare che si utilizzano in norma ventilatori a basso consumo energetico (solitamente il consumo incide circa dai 25 W ai 40 W per alloggio), a curva piatta ed eventualmente dotati di inverter.

Il sistema a portata fissa previsto nel progetto di tesi è tarato per permettere una ventilazione continua di 0,58 vol/h ed è dotato di recuperatore di calore statico.

Il suddetto recupero di calore avviene in quanto, l'unità a soffitto dotata di doppio ventilatore (uno in mandata ed uno in estrazione), presenta uno scambiatore di calore in controcorrente, che trasferisce il calore dell'aria viziata in ripresa all'aria fresca di mandata. Questa trasmissione di calore avviene attraverso sottili piastre in plastica per principio di controcorrente. La % di recupero è più del 90% permettendo un risparmio nelle spese di riscaldamento fino al 50%.

In figura (3.43) si riporta uno schema esemplificativo di un recuperatore di calore a doppio flusso con scambiatore, come si nota il flusso blu di aria fredda, opportunamente filtrata e proveniente dall'esterno, incrocia quello rosso di aria calda in controcorrente e rappresentativo dell'aria viziata estratta dall'alloggio.

L'aria, prima di essere immessa in ambiente, viene dunque riscaldata dallo scambiatore di calore che ha trattenuto il 92,2% del calore dell'aria viziata in controcorrente. Quest'ultima sarà poi espulsa all'esterno, quasi completamente completamente fredda.

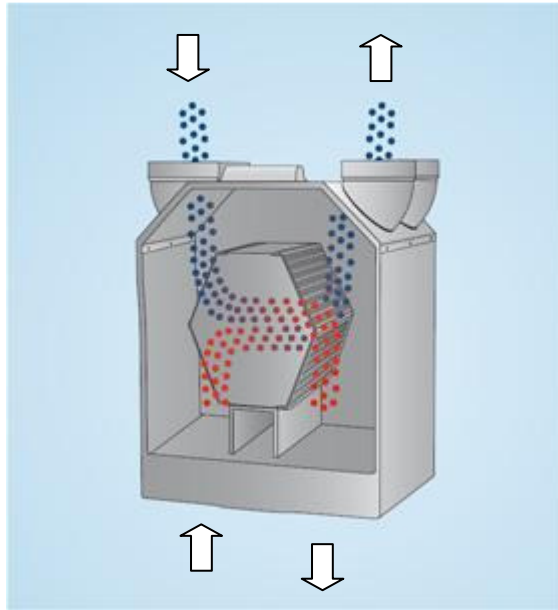


Figura 3.43 Schema recuperatore di calore a doppio flusso incrociato

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale invernale $Q_{H,nd}$

Superficie in pianta netta	3956.76 m ²
Superficie esterna lorda	7718.53 m ²
Volume netto	10920.66 m ³
Volume lordo	15263.33 m ³
Rapporto S/V	0.51 m ⁻¹

H_T : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso l'esterno

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	H _T [W/K]
Muro perimetrale	0.204	2667,86	543.2
Quinta perimetrale	0.239	1227,27	293.1
Muro sotto finestra	0.225	221,72	50.0
Cassonetto	0.256	222,73	57.0
Pavimento su porticato	0.242	442,48	106.9
R - Parete - Copertura	0.020	490,54	9.8
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	689,88	37.9
W - Parete - Telaio	0.350	1591,51	557.0
Finestra 890 x 1525	0.770	146,60	112.8
Finestra 1390 x 1525	0.770	229,10	176.3
Porta Finestra 1890 x 2425	0.770	233,53	179.8
Totale			2123,9

H_U: Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr,U} [-]	H _U [W/K]
Muro su vano scala	0,811	822,22	0,48	320,0
Porta ingresso alloggio	1,648	62,37	0,48	49,3
Soffitto sotto tetto	0,299	1545,45	0,60	277,2
R - Parete - Copertura	0,020	782,79	-	9,2
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	94,48	-	2,5
Totale				658,2

H_N: Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr,N} [-]	H _N [W/K]
Quinta con giunto divisorio alloggio	1,001	847,30	0,00	0,0
Quinta divisorio alloggio	1,268	182,89	0,00	0,0
Pavimento su locali riscaldati	0,368	1152,94	0,16	67,8
Pavimento intermedio	0,516	3090,90	0,00	0,0
Soffitto intermedio	1,125	3140,88	0,00	0,0
R - Parete - Copertura	0,020	18,48	-	0,0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	523,26	-	4,4
IW - Parete - Parete interna	-0,008	520,00	-	0,0
Totale				72,2

H_{ve}: Coefficiente di scambio termico per ventilazione

Con ventilazione meccanica, fattore di regolazione pari a 1.00, rendimento del recuperatore pari a 0.75 e 24 h di funzionamento

Nr.	Descrizione locale	V _{netto} [m ³]	n _{e,H} [1/h]	H _{ve} [W/K]
1	Alloggio 1A	201,48	0,58	1.9
2	Alloggio 2A	203,11	0,58	1.9
3	Alloggio 3A	201,29	0,58	1.9
4	Alloggio 1B	202,97	0,58	1.9
5	Alloggio 2B	202,97	0,58	1.9
6	Alloggio 3B	201,29	0,58	1.9
7	Alloggio 1C	201,37	0,58	1.9
8	Alloggio 2B	202,80	0,58	1.9
9	Alloggio 3C	201,37	0,58	1.9
10	Alloggio 1D	201,40	0,58	1.9
11	Alloggio 2D	202,53	0,58	1.9
12	Alloggio 3D	204,07	0,58	1.9
13	Alloggio 1 E	202,75	0,58	1.9

14	Alloggio 2 E	203,74	0,58	1.9
15	Alloggio 3E	201,34	0,58	1.9
16	Alloggio 1 F	201,42	0,58	1.9
17	Alloggio 2 F	201,67	0,58	1.9
18	Alloggio 3 F	202,64	0,58	1.9
19	Alloggio 4 A	201,29	0,58	1.9
20	Alloggio 5 A	203,11	0,58	1.9
21	Alloggio 6 A	201,48	0,58	1.9
22	Alloggio 1 B	201,29	0,58	1.9
23	Alloggio 2 B	202,97	0,58	1.9
24	Alloggio 3 B	202,97	0,58	1.9
25	Alloggio 4 C	201,37	0,58	1.9
26	Alloggio 5 C	202,80	0,58	1.9
27	Alloggio 6 C	201,37	0,58	1.9
28	Alloggio 4 D	201,40	0,58	1.9
29	Alloggio 5 D	202,53	0,58	1.9
30	Alloggio 6 D	204,07	0,58	1.9
31	Alloggio 4 E	202,75	0,58	1.9
32	Alloggio 5 E	203,74	0,58	1.9
33	Alloggio 6 E	201,34	0,58	1.9
34	Alloggio 4 F	201,42	0,58	1.9
35	Alloggio 5 F	201,67	0,58	1.9
36	Alloggio 6 F	202,64	0,58	1.9
37	Alloggio 7 A	201,29	0,58	1.9
38	Alloggio 8 A	203,11	0,58	1.9
39	Alloggio 9 A	201,48	0,58	1.9
40	Alloggio 7 B	201,29	0,58	1.9
41	Alloggio 8 B	202,97	0,58	1.9
42	Alloggio 9 B	202,97	0,58	1.9
43	Alloggio 7 C	201,37	0,58	1.9
44	Alloggio 8 C	202,80	0,58	1.9
45	Alloggio 9 C	201,37	0,58	1.9
46	Alloggio 7 D	201,40	0,58	1.9
47	Alloggio 8 D	202,53	0,58	1.9
48	Alloggio 9 D	204,07	0,58	1.9
49	Alloggio 7 E	202,75	0,58	1.9
50	Alloggio 8 E	203,74	0,58	1.9
51	Alloggio 9 E	201,34	0,58	1.9
52	Alloggio 7 F	201,42	0,58	1.9
53	Alloggio 8 F	201,67	0,58	1.9
54	Alloggio 9 F	202,64	0,58	1.9

Totale 102,1

Legenda simboli

U Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
 Ψ Trasmittanza termica lineica del ponte termico

Sup.	Superficie dell'elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza del ponte termico
$b_{tr, X}$	Fattore di correzione dello scambio termico
V_{netto}	Volume netto del locale
$n_{e, H}$	Ricambio orario

Dispersioni ordinate per componente per l'intera stagione invernale

Strutture opache

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	Sup. [m ²]	Q _{H,tr} [kWh]	%Q _{H,tr} [%]	Q _{H,r} [kWh]	%Q _{H,r} [%]	Q _{sol,k} [kWh]	%Q _{sol,k} [%]
Muro perimetrale	0.204	2667.86	28992	19.5	3605	44.4	5309	9.6
Quinta perimetrale	0.239	1227.27	15644	10.5	1970	24.3	3061	5.5
Muro sotto finestra	0.225	221.72	2668	1.8	253	3.1	335	0.6
Muro su vano scala	0.811	822.22	17081	11.5	-	-	-	-
Cassonetto	0.256	222.73	3040	2.0	270	3.3	359	0.6
Porta ingresso alloggio	1.648	62.37	2634	1.8	-	-	-	-
Pavimento su porticato	0.242	442.48	5706	3.8	0	0.0	0	0.0
Soffitto sotto tetto	0.299	1545.45	14792	10.0	-	-	-	-
Totale			90557	61,0	6097	75,2	9063	16,4

Strutture trasparenti

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	Sup. [m ²]	Q _{H,tr} [kWh]	%Q _{H,tr} [%]	Q _{H,r} [kWh]	%Q _{H,r} [%]	Q _{sol,k} [kWh]	%Q _{sol,k} [%]
Finestra 890 x 1525	0.770	146.60	6022	4.1	490	6.0	9485	17.1
Finestra 1390 x 1525	0.770	229.10	9412	6.3	869	10.7	19678	35.5
Porta Finestra 1890 x 2425	0.770	233.53	9594	6.5	656	8.1	17197	31.0
Totale			25028	16,9	2015	24,8	46359	83,6

Ponti termici

Descrizione elemento	Ψ [W/mK]	Lungh. [m]	Q _{H,tr} [kWh]	%Q _{H,tr} [%]
R - Parete - Copertura	0,020	1273,33	1013	0,7
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0,055	784,36	2158	1,5
W - Parete - Telaio	0,350	1591,51	29729	20,0
Totale			32900	22,2

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
Sup.	Superficie dell'elemento disperdente

Lungh.	Lunghezza del ponte termico
$Q_{H,tr}$	Energia dispersa per trasmissione
$\%Q_{H,tr}$	Rapporto percentuale tra il $Q_{H,tr}$ dell'elemento e il totale dei $Q_{H,tr}$
$Q_{H,r}$	Energia dispersa per extraflusso
$\%Q_{H,r}$	Rapporto percentuale tra il $Q_{H,r}$ dell'elemento e il totale dei $Q_{H,r}$
$Q_{sol,k}$	Apporto solare attraverso gli elementi opachi e finestrati
$\%Q_{sol,k}$	Rapporto percentuale tra il $Q_{sol,k}$ dell'elemento e il totale dei $Q_{sol,k}$

Dettaglio delle perdite e degli apporti gratuiti

Energia dispersa per trasmissione e ventilazione

Mese	$Q_{H,trT}$ [kWh]	$Q_{H,trG}$ [kWh]	$Q_{H,trA}$ [kWh]	$Q_{H,trU}$ [kWh]	$Q_{H,trN}$ [kWh]	$Q_{H,r}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh]
Ottobre	5672	0	0	1758	0	754	454	8638
Novembre	16363	0	0	5071	0	1330	1311	24075
Dicembre	23387	0	0	7248	0	1374	1874	33883
Gennaio	25599	0	0	7933	0	1374	2051	36958
Febbraio	20553	0	0	6369	0	1241	1647	29810
Marzo	16434	0	0	5093	0	1374	1317	24218
Aprile	5347	0	0	1657	0	665	428	8098
Totale	113356	0	0	35129	0	8112	9082	165679

Apporti termici solari e interni

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{sol,u,c}$ [kWh]	$Q_{sol,u,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]	$Q_{int,u}$ [kWh]	Q_{qn} [kWh]
Ottobre	1229	5310	0	0	6705	0	13244
Novembre	1270	5223	0	0	11832	0	18326
Dicembre	1107	4419	0	0	12226	0	17752
Gennaio	1193	4845	0	0	12226	0	18264
Febbraio	1613	7268	0	0	11043	0	19924
Marzo	2652	11814	0	0	12226	0	26692
Aprile	1623	7480	0	0	5916	0	15019
Totale	9063	46359	0	0	72174	0	127596

Legenda simboli

$Q_{H,trT}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
$Q_{H,trG}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
$Q_{H,trA}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
$Q_{H,trU}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
$Q_{H,trN}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
$Q_{H,r}$	Energia dispersa per extraflusso

$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa
$Q_{sol,k,c}$	Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
$Q_{sol,u,c}$	Apporti solari attraverso le strutture opache dei locali non climatizzati adiacenti
$Q_{sol,u,w}$	Apporti solari attraverso gli elementi finestrati dei locali non climatizzati adiacenti
$Q_{int,k}$	Apporti interni
$Q_{int,u}$	Apporti interni attraverso i locali non climatizzati adiacenti

Sommando le perdite per trasmissione con quelle per ventilazione e sottraendo la somma degli apporti interni e solari, il fabbisogno di energia utile stagionale invernale $Q_{H,nd}$ dell'edificio risulta essere:

Mese	$Q_{H,tr}$ [kWh]	$Q_{H,ve}$ [kWh]	$Q_{H,ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{H,nd}$ [kWh]
Ottobre	8183	454	8638	6353	6705	13057	282
Novembre	22764	1311	24075	6301	11832	18132	6952
Dicembre	32009	1874	33883	5358	12226	17584	16489
Gennaio	34907	2051	36958	5857	12226	18083	19022
Febbraio	28164	1647	29810	8636	11043	19679	10769
Marzo	22901	1317	24218	14063	12226	26289	2769
Aprile	7669	428	8098	8856	5916	14772	114
Totali	156597	9082	16567	55423	72174	127596	56397

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$
$Q_{H,nd}$	Energia Utile

Calcolo del fabbisogno di energia utile stagionale estivo $Q_{H,nd}$

H_T : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso l'esterno

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	H _T [W/K]
Muro perimetrale	0.204	2667.86	543.2
Quinta perimetrale	0.239	1227.27	293.1
Muro sotto finestra	0.225	221.72	50.0
Cassonetto	0.256	222.73	57.0
Pavimento su porticato	0.242	442.48	106.9
R - Parete - Copertura	0.020	490.54	9.8
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	689.88	37.9
W - Parete - Telaio	0.350	1591.51	557.0
Finestra 890 x 1525	0.770	146.60	112.8
Finestra 1390 x 1525	0.770	229.10	176.3
Porta Finestra 1890 x 2425	0.770	233.53	179.8

Totale 2123,9

H_U : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr,U} [-]	H _U [W/K]
Muro su vano scala	0.811	822.22	0.48	320.0
Porta ingresso alloggio	1.648	62.37	0.48	49.3
Soffitto sotto tetto	0.299	1545.45	0.60	277.2
R - Parete - Copertura	0.020	782.79	-	9.2
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	94.48	-	2.5

Totale 658,2

H_N : Coefficiente di scambio termico per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini

Descrizione elemento	U [W/m ² K] Ψ [W/mK]	Sup.[m ²] Lungh [m]	b _{tr,N} [-]	H _N [W/K]
Quinta con giunto divisorio alloggio	1.001	847.30	0.00	0.0
Quinta divisorio alloggio	1.268	182.89	0.00	0.0
Pavimento su locali riscaldati	0.368	1152.94	0.16	67.8
Pavimento intermedio	0.516	3090.90	0.00	0.0
Soffitto intermedio	1.125	3140.88	0.00	0.0
R - Parete - Copertura	0.020	18.48	-	0.0
GF - Parete - Solaio controterra o rialzato	0.055	523.26	-	4.4
IW - Parete - Parete interna	-0.008	520.00	-	0.0

Totale 72,2

H_{ve}: Coefficiente di scambio termico per ventilazione

Con ventilazione meccanica, fattore di regolazione pari a 1.00, rendimento del recuperatore pari a 0.75 e 24 h di funzionamento

Nr.	Descrizione locale	V _{netto} [m ³]	n _{e, H} [1/h]	H _{ve} [W/K]
1	Alloggio 1A	201,48	0,58	1.9
2	Alloggio 2A	203,11	0,58	1.9
3	Alloggio 3A	201,29	0,58	1.9
4	Alloggio 1B	202,97	0,58	1.9
5	Alloggio 2B	202,97	0,58	1.9
6	Alloggio 3B	201,29	0,58	1.9
7	Alloggio 1C	201,37	0,58	1.9
8	Alloggio 2B	202,80	0,58	1.9
9	Alloggio 3C	201,37	0,58	1.9
10	Alloggio 1D	201,40	0,58	1.9
11	Alloggio 2D	202,53	0,58	1.9
12	Alloggio 3D	204,07	0,58	1.9
13	Alloggio 1 E	202,75	0,58	1.9
14	Alloggio 2 E	203,74	0,58	1.9
15	Alloggio 3E	201,34	0,58	1.9
16	Alloggio 1 F	201,42	0,58	1.9
17	Alloggio 2 F	201,67	0,58	1.9
18	Alloggio 3 F	202,64	0,58	1.9
19	Alloggio 4 A	201,29	0,58	1.9
20	Alloggio 5 A	203,11	0,58	1.9
21	Alloggio 6 A	201,48	0,58	1.9
22	Alloggio 1 B	201,29	0,58	1.9
23	Alloggio 2 B	202,97	0,58	1.9
24	Alloggio 3 B	202,97	0,58	1.9
25	Alloggio 4 C	201,37	0,58	1.9
26	Alloggio 5 C	202,80	0,58	1.9
27	Alloggio 6 C	201,37	0,58	1.9
28	Alloggio 4 D	201,40	0,58	1.9
29	Alloggio 5 D	202,53	0,58	1.9
30	Alloggio 6 D	204,07	0,58	1.9
31	Alloggio 4 E	202,75	0,58	1.9
32	Alloggio 5 E	203,74	0,58	1.9
33	Alloggio 6 E	201,34	0,58	1.9
34	Alloggio 4 F	201,42	0,58	1.9
35	Alloggio 5 F	201,67	0,58	1.9
36	Alloggio 6 F	202,64	0,58	1.9
37	Alloggio 7 A	201,29	0,58	1.9
38	Alloggio 8 A	203,11	0,58	1.9
39	Alloggio 9 A	201,48	0,58	1.9
40	Alloggio 7 B	201,29	0,58	1.9

41	Alloggio 8 B	202,97	0,58	1.9
42	Alloggio 9 B	202,97	0,58	1.9
43	Alloggio 7 C	201,37	0,58	1.9
44	Alloggio 8 C	202,80	0,58	1.9
45	Alloggio 9 C	201,37	0,58	1.9
46	Alloggio 7 D	201,40	0,58	1.9
47	Alloggio 8 D	202,53	0,58	1.9
48	Alloggio 9 D	204,07	0,58	1.9
49	Alloggio 7 E	202,75	0,58	1.9
50	Alloggio 8 E	203,74	0,58	1.9
51	Alloggio 9 E	201,34	0,58	1.9
52	Alloggio 7 F	201,42	0,58	1.9
53	Alloggio 8 F	201,67	0,58	1.9
54	Alloggio 9 F	202,64	0,58	1.9

Totale 102,1

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
Sup.	Superficie dell'elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza del ponte termico
$b_{tr,x}$	Fattore di correzione dello scambio termico
V_{netto}	Volume netto del locale
$n_{e,H}$	Ricambio orario

Dispersioni ordinate per componente per l'intera stagione estiva

Strutture opache

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	Sup. [m ²]	Q _{H,tr} [kWh]	%Q _{H,tr} [%]	Q _{H,r} [kWh]	%Q _{H,r} [%]	Q _{sol,k} [kWh]	%Q _{sol,k} [%]
Muro perimetrale	0.204	2667.86	42290	19.5	6264	44.4	15338	9.2
Quinta perimetrale	0.239	1227.27	22819	10.5	3423	24.3	8607	5.2
Muro sotto finestra	0.225	221.72	3892	1.8	439	3.1	1033	0.6
Muro su vano scala	0.811	822.22	24915	11.5	-	-	-	-
Cassonetto	0.256	222.73	4434	2.0	469	3.3	1095	0.7
Porta ingresso alloggio	1.648	62.37	3841	1.8	-	-	-	-
Pavimento su porticato	0.242	442.48	8323	3.8	0	0.0	0	0.0
Soffitto sotto tetto	0.299	1545.45	21577	10.0	-	-	-	-

Totale 132092 61,0 10595 75,2 26073 15,6

Strutture trasparenti

Descrizione elemento	U [W/m ² K]	Sup. [m ²]	Q _{H,tr} [kWh]	%Q _{H,tr} [%]	Q _{H,r} [kWh]	%Q _{H,r} [%]	Q _{sol,k} [kWh]	%Q _{sol,k} [%]
<i>Finestra 890 x 1525</i>	0.770	146.60	8785	4.1	851	6.0	30641	18.4
<i>Finestra 1390 x 1525</i>	0.770	229.10	13728	6.3	1511	10.7	59327	35.6
<i>Porta Finestra 1890 x 2425</i>	0.770	233.53	13994	6.5	1140	8.1	50601	30.4
Totale			36507	16,9	3502	24,8	140569	84,4

Ponti termici

Descrizione elemento	Ψ [W/mK]	Lungh. [m]	Q _{H,tr} [kWh]	%Q _{H,tr} [%]
<i>R - Parete - Copertura</i>	0,020	1273,33	1478	0,7
<i>GF - Parete - Solaio controterra o rialzato</i>	0,055	784,36	3148	1,5
<i>W - Parete - Telaio</i>	0,350	1591,51	43365	20,0
Totale			47990	22,2

Legenda simboli

U	Trasmittanza termica dell'elemento disperdente
Ψ	Trasmittanza termica lineica del ponte termico
Sup.	Superficie dell'elemento disperdente
Lungh.	Lunghezza del ponte termico
Q _{H,tr}	Energia dispersa per trasmissione
%Q _{H,tr}	Rapporto percentuale tra il Q _{H,tr} dell'elemento e il totale dei Q _{H,tr}
Q _{H,r}	Energia dispersa per extraflusso
%Q _{H,r}	Rapporto percentuale tra il Q _{H,r} dell'elemento e il totale dei Q _{H,r}
Q _{sol,k}	Apporto solare attraverso gli elementi opachi e finestrati
%Q _{sol,k}	Rapporto percentuale tra il Q _{sol,k} dell'elemento e il totale dei Q _{sol,k}

Dettaglio delle perdite e degli apporti gratuiti

Energia dispersa per trasmissione e ventilazione

Mese	$Q_{C,trT}$ [kWh]	$Q_{C,trG}$ [kWh]	$Q_{C,trA}$ [kWh]	$Q_{C,trU}$ [kWh]	$Q_{C,trN}$ [kWh]	$Q_{C,r}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh]
Febbraio	7652	0	0	2371	0	310	368	10702
Marzo	29117	0	0	9023	0	1241	1400	40781
Aprile	25916	0	0	8031	0	1374	1246	36567
Maggio	18351	0	0	5687	0	1330	882	26250
Giugno	13116	0	0	4065	0	1374	631	19185
Luglio	6117	0	0	1896	0	1330	294	9637
Agosto	2528	0	0	784	0	1374	122	4808
Settembre	3318	0	0	1028	0	1374	160	5881
Ottobre	8258	0	0	2559	0	1330	397	12544
Novembre	17540	0	0	5436	0	1374	843	25194
Totale	165348	0	0	51241	0	14097	7949	238635

Apporti termici solari e interni

Mese	$Q_{sol,k,c}$ [kWh]	$Q_{sol,k,w}$ [kWh]	$Q_{sol,u,c}$ [kWh]	$Q_{sol,u,w}$ [kWh]	$Q_{int,k}$ [kWh]	$Q_{int,u}$ [kWh]	Q_{qn} [kWh]
Febbraio	228	1094	0	0	2761	0	4083
Marzo	1368	7268	0	0	11043	0	19679
Aprile	2249	11814	0	0	12226	0	26289
Maggio	2752	14960	0	0	11832	0	29544
Giugno	3231	17852	0	0	12226	0	33310
Luglio	3378	18834	0	0	11832	0	34044
Agosto	3764	20707	0	0	12226	0	36697
Settembre	3309	18106	0	0	12226	0	33641
Ottobre	2574	13886	0	0	11832	0	28291
Novembre	1900	9684	0	0	12226	0	23810
Totale	26073	140569	0	0	125416	0	292058

Legenda simboli

$Q_{H,trT}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso esterno
$Q_{H,trG}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso terreno
$Q_{H,trA}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali a temperatura fissa
$Q_{H,trU}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali non climatizzati
$Q_{H,trN}$	Energia dispersa per trasmissione da locale climatizzato verso locali vicini
$Q_{H,r}$	Energia dispersa per extraflusso
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa

$Q_{sol,k,c}$	Apporti solari diretti attraverso le strutture opache
$Q_{sol,k,w}$	Apporti solari diretti attraverso gli elementi finestrati
$Q_{sol,u,c}$	Apporti solari attraverso le strutture opache dei locali non climatizzati adiacenti
$Q_{sol,u,w}$	Apporti solari attraverso gli elementi finestrati dei locali non climatizzati adiacenti
$Q_{int,k}$	Apporti interni
$Q_{int,u}$	Apporti interni attraverso i locali non climatizzati adiacenti

Sommando le perdite per trasmissione con quelle per ventilazione e sottraendo la somma degli apporti interni e solari, il fabbisogno di energia utile stagionale estivo

$Q_{H,nd}$ dell'edificio risulta essere:

Mese	$Q_{C,tr}$ [kWh]	$Q_{C,ve}$ [kWh]	$Q_{C,ht}$ [kWh] _t	Q_{sol} [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{gn} [kWh]	$Q_{C,nd}$ [kWh]
Febbraio	10334	368	10702	1322	2761	4083	0
Marzo	39381	1400	40781	8636	11043	19679	3
Aprile	35321	1246	36567	14063	12226	26289	195
Maggio	25368	882	26250	17712	11832	29544	4335
Giugno	18555	631	19185	21084	12226	33310	14143
Luglio	9342	294	9637	22212	11832	34044	24407
Agosto	4686	122	4808	24471	12226	36697	31890
Settembre	5721	160	5881	21415	12226	33641	27760
Ottobre	12147	397	12544	16460	11832	28291	15748
Novembre	24350	843	25194	11584	12226	23810	1416
Totali	230686	7949	238635	166642	125416	292058	119903

Legenda simboli

$Q_{H,tr}$	Energia dispersa per trasmissione e per extraflusso
$Q_{H,ve}$	Energia dispersa per ventilazione
$Q_{H,ht}$	Totale energia dispersa = $Q_{H,tr} + Q_{H,ve}$
Q_{sol}	Apporti solari
Q_{int}	Apporti interni
Q_{gn}	Totale apporti gratuiti = $Q_{sol} + Q_{int}$
$Q_{H,nd}$	Energia Utile

Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

Modalità di funzionamento dell'impianto di riscaldamento

Funzionamento con attenuazione

Giorni a settimana di funzionamento	7 giorni
Ore giornaliere di attenuazione	10.0 ore
Temperatura interna minima regolata	19.0 °C

Fattore correttivo dell'energia utile

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9

Rendimenti stagionali dell'impianto

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{H,e}$	99,0	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{H,rg}$	98,0	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{H,d}$	94,7	%
Rendimento di produzione	$\eta_{H,gn}$	131,9	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	121,2	%

Secondo il comma 1, Allegato I del DLgs 311, bisogna verificare che il rendimento globale medio stagionale (η_g) sia $\geq (65 + 3\log P_n)\%$ se $P_n < 1000$ kW, e $\eta_g \geq 74\%$ se $P_n \geq 1000$ kW. Per quanto riguarda il nostro edificio, abbiamo che:

$$121.2 \% > 81.1 \%$$

Questo significa che il rendimento globale medio stagionale risulta essere maggiore al valore del rendimento globale medio stagionale limite, quindi la relazione, dopo le modifiche apportate, viene verificata.

Caratteristiche sottosistema di emissione

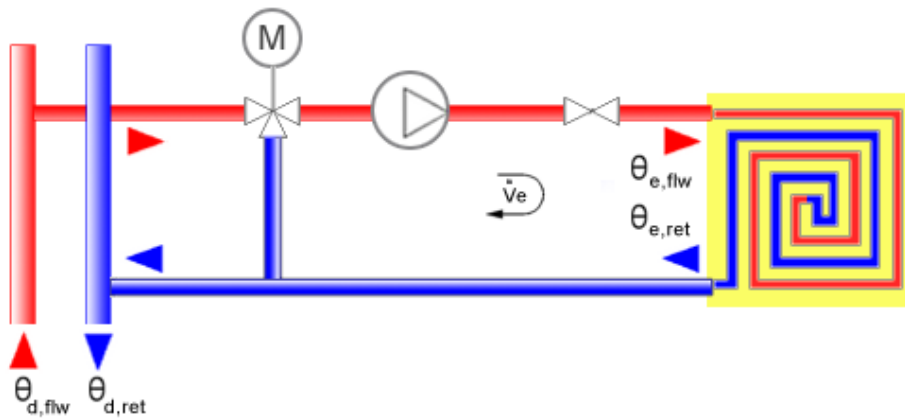
Tipo di terminale di erogazione	Pannelli isolati annegati a pavimento
Potenza nominale dei corpi scaldanti	68316 W
Fabbisogni elettrici	0 W

Caratteristiche sottosistema di regolazione

Tipo	Climatica + zona con regolatore
Caratteristiche	PI o PID

Caratteristiche sottosistema di distribuzione

Descrizione rete	Rete di distribuzione riscaldamento
Coefficiente di perdita	0.08
Fabbisogni elettrici	5000 W
Fattore di recupero termico	0.85
Tipo di circuito	Termostato modulante, valvola a 2 vie



Maggiorazione potenza corpi scaldanti	10.0 %
ΔT nominale lato aria	15.0 °C
Esponente n del corpo scaldante	1.10 -
ΔT di progetto lato acqua	10.0 °C
Portata nominale	6467.09 kg/h
Temperatura di mandata massima	40.0 °C
Temperatura di ritorno obiettivo	25.0 °C
ΔT mandata/ritorno massimo	15.0 °C
Sovratemperatura della valvola miscelatrice	5.0 °C

Temperatura dell'acqua del circuito

Mese	giorni	EMETTITORI			DISTRIBUZIONE		
		$\theta_{e,avg}$ [°C]	$\theta_{e,flw}$ [°C]	$\theta_{e,ret}$ [°C]	$\theta_{d,avg}$ [°C]	$\theta_{d,flw}$ [°C]	$\theta_{d,ret}$ [°C]
ottobre	17	20.0	15.0	25.0	10.0	20.0	0.0
novembre	30	22.1	19.1	25.0	12.1	24.1	0.0
dicembre	31	24.7	24.4	25.0	27.2	29.4	25.0
gennaio	31	25.3	25.6	25.0	27.8	30.6	25.0
febbraio	28	23.3	21.6	25.0	25.8	26.6	25.0
marzo	31	20.6	16.2	25.0	10.6	21.2	0.0
aprile	15	20.0	15.0	25.0	10.0	20.0	0.0

Legenda simboli

$\theta_{e,avg}$	Temperatura media degli emettitori
$\theta_{e,flw}$	Temperatura di mandata degli emettitori
$\theta_{e,ret}$	Temperatura di ritorno degli emettitori
$\theta_{d,avg}$	Temperatura media della rete di distribuzione

$\Theta_{d,flw}$ Temperatura di mandata della rete di distribuzione
 $\Theta_{d,ret}$ Temperatura di ritorno della rete di distribuzione

Fabbisogno di energia primaria per acqua calda sanitaria

Rendimenti stagionali dell'impianto

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di erogazione	$\eta_{W,er}$	95,0	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{W,d}$	92,6	%
Rendimenti della rete di ricircolo	$\eta_{W,ric}$	33,7	%
Rendimento di distribuzione primaria	$\eta_{W,dp}$	78,4	%
Rendimento di generazione	$\eta_{W,gn}$	87,3	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	67,4	%

Fabbisogno giornaliero di acqua sanitaria [l/g]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2500	2500	2500	2500	2500	3000	3000	3000	3000	2500	2500	2500

Categoria DPR 412/93 E.1 (1)
 Temperatura di erogazione 40.0 °C
 Temperatura di alimentazione [°C]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	10,0	10,0

Superficie utile 3956.76 m²

Caratteristiche sottosistema di erogazione

Rendimento di erogazione 95.0 %

Caratteristiche sottosistema di distribuzione

Il sistema non è antecedente all'entrata in vigore della legge 373/76

Altri dati

Caratteristiche tubazione di ricircolo

Descrizione rete Ricircolo acc.
 Coefficiente di perdita 0.20 –
 Temperatura media del ricircolo 48.0 °C
 Fabbisogni elettrici 200 W
 Ore giornaliere di funzionamento 24.0 ore/giorno

Caratteristiche sottosistema di distribuzione primaria

Descrizione rete	Rete acs
Fattore di recupero	0.50 -
Temperatura media della tubazione	50.0 °C
Potenza dello scambiatore	34.86 kW
Fabbisogni elettrici	500 W
Fattore di recupero termico	0.85 -

Sottosistema di generazione

Dati generali

Servizio	Riscaldamento ed acqua sanitaria	
Tipo di generatore	Pompa di calore	
Metodo di calcolo	Secondo UNI/TS 11300-4	
Marca/Serie/Modello	Pompa di calore Robur Modello RTYR 180-480	
Tipo di pompa di calore	Ad assorbimento a fuoco diretto	
Temperatura di disattivazione	$\Theta_{H,off}$	20.0 °C (per riscaldamento)
Sorgente fredda	Aria esterna	
Temperatura di funzionamento (cut-off) minima	- 25.0 °C	
Temperatura di funzionamento (cut-off) massima	45.0 °C	
Sorgente calda	Acqua di impianto	
Temperatura di funzionamento (cut-off) minima	15.0 °C	
Temperatura di funzionamento (cut-off) massima	60.0 °C	
Temperatura della sorgente calda (acqua sanitaria)	55.0 °C	

Prestazioni dichiarate

Coefficiente di prestazione	GUE	1.5
Potenza utile	P_u	110.00 kW
Potenza elettrica assorbita	P_{ass}	73.83 kW
Temperatura della sorgente fredda	T_f	7 °C
Temperatura della sorgente calda	T_c	35 °C
Temperatura del generatore	$T_{gen,in}$	60.0 °C

Coefficienti correttivi della pompa di calore

CR	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Cd	0,72	0,81	0,88	0,93	0,97	0,99	1,00	1,00	1,00	1,00

Legenda simboli

CR Fattore di carico macchina della pompa di calore
Cd Coefficiente correttivo della pompa di calore

Fabbisogni elettrici

Potenza elettrica degli ausiliari indipendenti 3400 W

Temperatura dell'acqua del generatore di calore

Generatore di calore a temperatura scorrevole

Tipo di circuito Circuito finale con portata indipendente

Potenza utile del generatore 121.28 kW

Salto termico nominale in caldaia 10.0 °C

		GENERAZIONE		
Mese	giorni	$\theta_{gn,avg}$ [°C]	$\theta_{gn,flw}$ [°C]	$\theta_{gn,ret}$ [°C]
ottobre	17	0,0	0,0	0,0
novembre	30	0,0	0,0	0,0
dicembre	31	28,5	29,4	27,6
gennaio	31	29,6	30,6	28,6
febbraio	28	26,0	26,6	25,4
marzo	31	0,0	0,0	0,0
aprile	15	0,0	0,0	0,0

Legenda simboli

$\theta_{gn,avg}$ Temperatura media del generatore di calore
 $\theta_{gn,flw}$ Temperatura di mandata del generatore di calore
 $\theta_{gn,ret}$ Temperatura di ritorno del generatore di calore

Combustibile

Tipo Metano
Potere calorifico inferiore H_i 9.940 kWh/Nm³
Fattore di conversione f_p 1.000 -

Risultati dei calcoli mensili del servizio di riscaldamento

Fabbisogni termici ed elettrici

Mese	gg	FABBISOGNI TERMICI					FABBISOGNI ELETTRICI			
		$Q_{h,nd}$ [kWh]	Q'_h [kWh]	$Q_{H,solare}$ [kWh]	$Q_{processo}$ [kWh]	$Q_{H,qn,out}$ [kWh]	$Q_{H,e,aux}$ [kWh]	$Q_{H,d,aux}$ [kWh]	$Q_{H,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{H,qn,aux}$ [kWh]
gennaio	31	19022	13995	0	0	16340	0	633	0	537
febbraio	28	10769	7253	0	0	8908	0	328	0	284
marzo	31	2769	1085	0	0	2110	0	49	0	58
aprile	15	114	0	0	0	0	0	0	0	0
maggio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	282	0	0	0	0	0	0	0	0
novembre	30	6952	4199	0	0	5442	0	190	0	152
dicembre	31	16489	11896	0	0	14004	0	538	0	451
TOTALI	183	56397	38427	0	0	46803	0	1739	0	1482

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{h,nd}$	Energia termica utile per riscaldamento
Q_h	Energia utile al netto di eventuali perdite recuperate e per funzionamento non continuo dell'impianto
$Q_{H,solare}$	Energia termica da produzione solare per riscaldamento
$Q_{processo}$	Energia termica fornita dal sottosistema di generazione per usi di processo
$Q_{H,qn,out}$	Energia termica fornita dalla generazione per riscaldamento (comprensiva di $Q_{H,solare}$)
$Q_{H,e,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di emissione
$Q_{H,d,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione
$Q_{H,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{H,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di generazione

Dettagli impianto termico

Mese	gg	$\eta_{H,rg}$ [%]	$\eta_{H,d}$ [%]	$\eta_{H,s}$ [%]	$\eta_{H,dp}$ [%]	$\eta_{H,gn}$ [%]	$\eta_{H,q}$ [%]
gennaio	31	98,0	88,3	-	-	125,7	97,3
febbraio	28	98,0	83,9	-	-	126,4	93,5
marzo	31	98,0	53,0	-	-	149,6	71,5
aprile	15	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0
maggio	-	-	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-	-	-
ottobre	17	0,0	0,0	-	-	0,0	0,0
novembre	30	98,0	79,5	-	-	159,7	109,9
dicembre	31	98,0	87,6	-	-	131,9	100,9

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$\eta_{H,rg}$	Rendimento mensile di regolazione
$\eta_{H,d}$	Rendimento mensile di distribuzione
$\eta_{H,s}$	Rendimento mensile di accumulo
$\eta_{H,dp}$	Rendimento mensile di distribuzione primaria
$\eta_{H,gn}$	Rendimento mensile di generazione
$\eta_{H,g}$	Rendimento globale medio mensile

Dettagli generatore: 1 – Pompa di calore

Mese	gg	$Q_{H,qn,out}$ [kWh]	$Q_{H,qn,in}$ [kWh]	$\eta_{H,qn}$ [%]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	31	16340	11832	125.7	1190
febbraio	28	8908	6429	126.4	647
marzo	31	2110	1284	149.6	129
aprile	15	0	0	0.0	0
maggio	-	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-	-
ottobre	17	0	0	0.0	0
novembre	30	5442	3077	159.7	310
dicembre	31	16340	11832	125.7	1190

Mese	gg	GUE [-]	P_{u_m} [kW]
gennaio	31	1,38	0,00
febbraio	28	1,39	0,00
marzo	31	1,64	0,00
aprile	15	0,00	0,00
maggio	-	-	-
giugno	-	-	-
luglio	-	-	-
agosto	-	-	-
settembre	-	-	-
ottobre	17	0,00	0,00
novembre	30	1,77	0,00
dicembre	31	1,45	0,00

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	$Q_{H,gn,in}$ [kWh]	$Q_{H,aux}$ [kWh]	Q_{pH} [kWh]
gennaio	31	11832	1170	14376
febbraio	28	6429	612	7760
marzo	31	1284	107	1517
aprile	15	0	0	0
maggio	-	-	-	-
giugno	-	-	-	-
luglio	-	-	-	-
agosto	-	-	-	-
settembre	-	-	-	-
ottobre	17	0	0	0
novembre	30	3077	342	3820
dicembre	31	9637	989	11788
TOTALI	183	32259	3221	39262

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$Q_{H,gn,in}$	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per riscaldamento
$Q_{H,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per riscaldamento
Q_{pH}	Fabbisogno di energia primaria per riscaldamento

$$\frac{Q_{H,gn,in}}{H_i} = \frac{32259}{9.940} = 3245 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano per riscaldamento}$$

Pannelli solari fotovoltaici

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
448	629	1054	1303	1546	1610	1813	1579	1215	876	486	423

Fabbisogno di energia primaria effettivo	Q'_{pH}	32259 kWh/anno
Rendimento globale medio stagionale effettivo	$\eta'_{H,g}$	119.12 %
Consumo di energia elettrica effettivo		0 kWh/anno

Risultati dei calcoli mensili del servizio di acqua calda sanitaria

Fabbisogni termici ed elettrici

Mese	gg	FABBISOGNI TERMICI				FABBISOGNI ELETTRICI		
		$Q_{h,w}$ [kWh]	$Q_{W,solare}$ [kWh]	$Q_{processo}$ [kWh]	$Q_{W,qn,out}$ [kWh]	$Q_{W,ric,aux}$ [kWh]	$Q_{W,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{W,qn,aux}$ [kWh]
gennaio	31	5848	2883	0	10861	149	64	118
febbraio	28	5282	4293	0	7906	134	46	86
marzo	31	5848	7081	0	6129	149	36	67
aprile	30	5660	8338	0	4257	144	25	46
maggio	31	5848	9536	0	3362	149	20	36
giugno	30	5660	9795	0	2616	144	15	28
luglio	31	5848	10907	0	1817	149	11	20
agosto	31	5848	9997	0	2843	149	17	31
settembre	30	5660	8200	0	4413	144	26	48
ottobre	31	5848	6224	0	7096	149	42	77
novembre	30	5660	3325	0	9908	144	58	108
dicembre	31	5848	2756	0	11004	149	65	120
TOTALI	365	68859	83334	0	72212	1752	425	784

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{h,w}$	Fabbisogno di energia per acqua calda sanitaria
$Q_{W,solare}$	Energia termica da produzione solare per acqua calda sanitaria
$Q_{processo}$	Energia termica fornita dal sistema di generazione per usi di processo
$Q_{W,qn,out}$	Energia termica fornita dalla generazione per acqua calda sanitaria (comprensiva di $Q_{W,solare}$)
$Q_{W,ric,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari della rete di ricircolo
$Q_{W,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{W,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico degli ausiliari del sottosistema di generazione

Dettagli impianto termico

Mese	gg	$\eta_{w,rq}$ [%]	$\eta_{w,d}$ [%]	$\eta_{w,s}$ [%]	$\eta_{H,dp}$ [%]	$\eta_{H,qn}$ [%]	$\eta_{H,q}$ [%]
gennaio	31	92,6	-	34,7	78,4	86,7	29,4
febbraio	28	92,6	-	34,7	78,4	86,9	41,8
marzo	31	92,6	-	34,7	78,4	87,6	80,9
aprile	15	92,6	-	30,7	78,4	88,6	217,0
maggio	-	92,6	-	30,7	0,0	0,0	282,9
giugno	-	92,6	-	34,7	0,0	0,0	327,2
luglio	-	92,6	-	34,7	0,0	0,0	309,3
agosto	-	92,6	-	34,7	0,0	0,0	331,7
settembre	-	92,6	-	34,7	78,4	90,5	177,2
ottobre	17	92,6	-	30,7	78,4	88,8	60,2
novembre	30	92,6	-	34,7	78,4	87,6	32,7
dicembre	31	92,6	-	34,7	78,4	86,9	28,9

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per riscaldamento
$\eta_{H,rg}$	Rendimento mensile di regolazione
$\eta_{H,d}$	Rendimento mensile di distribuzione
$\eta_{H,s}$	Rendimento mensile di accumulo
$\eta_{H,dp}$	Rendimento mensile di distribuzione primaria
$\eta_{H,qn}$	Rendimento mensile di generazione
$\eta_{H,g}$	Rendimento globale medio mensile

Dettagli generatore: 1 – Pompa di calore

Mese	gg	$Q_{W,gn,out}$ [kWh]	$Q_{W,gn,in}$ [kWh]	$\eta_{W,gn}$ [%]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	31	7387	8025	86.7	807
febbraio	28	4535	4912	86.9	494
marzo	31	2292	2462	87.6	248
aprile	30	244	259	88.6	26
maggio	31	0	0	0.0	0
giugno	30	0	0	0.0	0
luglio	31	0	0	0.0	0
agosto	31	0	0	0.0	0
settembre	30	682	709	90.5	71
ottobre	31	2714	2877	88.8	289
novembre	30	6441	6925	87.6	697
dicembre	31	7549	8182	86.9	823

Mese	gg	GUE [-]	Pu_m [kW]
gennaio	31	0.92	0.00
febbraio	28	0.92	0.00
marzo	31	0.93	0.00
aprile	30	0.94	0.00
maggio	31	0.00	0.00
giugno	30	0.00	0.00
luglio	31	0.00	0.00
agosto	31	0.00	0.00
settembre	30	0.96	0.00
ottobre	31	0.94	0.00
novembre	30	0.93	0.00
dicembre	31	0.92	0.00

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,out}$	Energia termica fornita dal generatore per acqua sanitaria
$Q_{W,gn,in}$	Energia termica in ingresso al generatore per acqua sanitaria
$\eta_{W,gn}$	Rendimento mensile del generatore

Combustibile Consumo mensile di combustibile
 GUE Coefficiente di effetto utile medio mensile
 P_{Um} Potenza utile mensile

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	Q _{W,gn,in} [kWh]	Q _{W,aux} [kWh]	Q _{pW} [kWh]
gennaio	31	8025	461	9185
febbraio	28	4912	326	5834
marzo	31	2462	245	3340
aprile	30	259	154	1004
maggio	31	0	149	796
giugno	30	0	144	799
luglio	31	0	149	873
agosto	31	0	149	815
settembre	30	709	172	1475
ottobre	31	2877	262	3741
novembre	30	6925	415	7995
dicembre	31	8182	468	9349
TOTALI	365	34351	3093	45206

Legenda simboli

gg Giorni compresi nel periodo di calcolo per acqua sanitaria
 Q_{W,gn,in} Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per acqua sanitaria
 Q_{W,aux} Fabbisogno elettrico totale per acqua sanitaria
 Q_{pW} Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria

$$\frac{Q_{W,gn,in}}{H_i} = \frac{34351}{9.940} = 3456 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano}$$

Pannelli solari fotovoltaici

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
448	629	1054	1303	1546	1610	1813	1579	1215	876	486	423

Fabbisogno di energia primaria effettivo Q'p_w 38482 kWh/anno
 Rendimento globale medio stagionale effettivo η'w,g 79.19 %
 Consumo di energia elettrica effettivo 0 kWh/anno

Fabbisogno di energia primaria per raffrescamento

Rendimenti stagionali dell'impianto

Descrizione	Simbolo	Valore	u.m.
Rendimento di emissione	$\eta_{C,e}$	97,0	%
Rendimento di regolazione	$\eta_{C,rg}$	97,0	%
Rendimento di distribuzione	$\eta_{C,d}$	98,0	%
Rendimenti di accumulo	$\eta_{C,s}$	100,0	%
Rendimento di generazione	$\eta_{C,gn}$	186,6	%
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{C,g}$	167,8	%

Caratteristiche sottosistema di emissione

Tipo di terminale di erogazione Pannelli isolati annegati a pavimento
Fabbisogni elettrici o W

Caratteristiche sottosistema di regolazione

Tipo Controllori di zona
Caratteristiche Regolazione modulante (banda 1 °C)

Caratteristiche sottosistema di distribuzione (acqua refrigerata)

Numero di piani 3
Tipo di rete Rete a distribuzione orizzontale di piano
Fabbisogni elettrici 758 W

Caratteristiche sottosistema di accumulo

Dispersione termica 0.256 W/K
Temperatura media dell'accumulo 10.0 °C
Ambiente di installazione Centrale termica
Temperatura ambiente di installazione 15.0 °C

Sottosistema di generazione

Dati generali

Servizio Raffrescamento
Tipo di generatore Pompa di calore
Marca/Serie/Modello Robur modello RTYR 180-480
Tipo di pompa di calore Azionata da motore endotermico
Potenza frigorifera nominale al focolare $\phi_{gn,nom}$ 75.60 kW

Sorgente unità esterna Aria

Temperatura bulbo secco aria esterna 31.0 °C

Sorgente unità interna Acqua

Temperatura acqua in uscita dal condensatore 7.0 °C

Prestazioni dichiarate

Fk [%]	100%	75%	50%	25%	20%	15%	10%	5%	2%	1%
EER [-]	4,00	3,80	3,50	3,00	2,85	2,82	2,61	2,13	1,38	0,87

Legenda simboli

Fk Fattore di carico della pompa di calore

EER Prestazione della pompa di calore

Dati unità esterna

Percentuale portata d'aria dei canali 80.0 % (Valore rispetto alla portata nominale)

Assenza di setti insonorizzati

Lunghezza tubazione di mandata 10.00 m

Dati unità interna

Salto termico all'evaporatore 5.0 °C

Fattore di sporcamento 0.04403 m²K/kW

Percentuale di glicole 20.0 %

Fabbisogni elettrici

Potenza elettrica degli ausiliari 500 W

Combustibile

Tipo Metano

Potere calorifico inferiore H_i 9.940 kWh/Nm³

Fattore di conversione f_p 1.000 -

Risultati dei calcoli mensili del servizio di raffrescamento

Fabbisogni termici

Mese	gg	$Q_{c,nd}$ [kWh]	Q'_c [kWh]	Q_{cr} [kWh]	Q_v [kWh]	$Q_{C,gn,out}$ [kWh]	$Q_{C,gn,in}$ [kWh]
gennaio	7	0	0	0	0	0	0
febbraio	28	4	3	4	0	4	8
marzo	31	251	201	219	0	219	385
aprile	30	4943	3955	4290	0	4290	2730
maggio	31	14767	11813	12813	0	12813	6689
giugno	30	24701	19761	21432	541	21973	9263
luglio	31	32011	25609	27774	1264	29038	10787
agosto	31	27920	22336	24224	1154	25378	10120
settembre	30	16145	12916	14008	277	14285	7175
ottobre	31	1712	1369	1486	0	1486	1477
novembre	30	6	5	6	0	6	10
dicembre	8	0	0	0	0	0	1
TOTALI	318	122460	97968	106256	3236	109492	48645

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per raffrescamento
$Q_{c,nd}$	Energia termica utile per raffrescamento
Q'_c	Energia termica per funzionamento non continuo dell'impianto
Q_{cr}	Fabbisogno effettivo di energia termica per raffrescamento
Q_v	Fabbisogno di energia termica dell'edificio per i trattamenti d'aria
$Q_{C,gn,out}$	Energia termica in uscita dal sottosistema di generazione per raffrescamento
$Q_{C,gn,in}$	Energia termica in ingresso al sottosistema di generazione per raffrescamento

Fabbisogni elettrici

Mese	gg	$Q_{C,e,aux}$ [kWh]	$Q_{C,d,aux}$ [kWh]	$Q_{C,dp,aux}$ [kWh]	$Q_{C,qn,aux}$ [kWh]	$Q_{C,aux}$ [kWh]
gennaio	7	0	0	0	84	84
febbraio	28	0	0	0	336	336
marzo	31	0	1	0	372	373
aprile	30	0	26	0	360	386
maggio	31	0	77	0	372	449
giugno	30	0	132	0	360	492
luglio	31	0	175	0	372	547
agosto	31	0	153	0	372	525
settembre	30	0	86	0	360	446
ottobre	31	0	9	0	372	381
novembre	30	0	0	0	360	360
dicembre	8	0	0	0	96	96
TOTALI	318	0	659	0	3816	4475

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per raffrescamento
$Q_{C,e,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di emissione
$Q_{C,d,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione
$Q_{C,dp,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di distribuzione primaria
$Q_{C,qn,aux}$	Fabbisogno elettrico del sottosistema di produzione
$Q_{C,aux}$	Fabbisogno elettrico totale per raffrescamento

Dettagli impianto termico

Mese	gg	Fk [-]	$\eta_{C,ra}$ [%]	$\eta_{C,d}$ [%]	$\eta_{C,s}$ [%]	$\eta_{C,dp}$ [%]	$\eta_{C,qn}$ [%]	$\eta_{C,q}$ [%]
gennaio	7	0.00	97.0	98.0	22.8	-	0.2	0.0
febbraio	28	0.00	97.0	98.0	80.5	-	0.6	0.4
marzo	31	0.00	97.0	98.0	99.6	-	18.3	16.8
aprile	30	0.08	97.0	98.0	100.0	-	122.1	110.8
maggio	31	0.23	97.0	98.0	100.0	-	170.9	154.1
giugno	30	0.40	97.0	98.0	100.0	-	213.3	191.2
luglio	31	0.52	97.0	98.0	100.0	-	239.5	213.8
agosto	31	0.45	97.0	98.0	100.0	-	221.7	198.4
settembre	30	0.26	97.0	98.0	100.0	-	176.0	158.6
ottobre	31	0.03	97.0	98.0	99.9	-	65.0	59.4
novembre	30	0.00	97.0	98.0	84.5	-	0.7	0.6
dicembre	8	0.00	97.0	98.0	37.8	-	0.2	0.1

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per raffrescamento
Fk	Fattore di carico della pompa di calore
$\eta_{C,rg}$	Rendimento mensile di regolazione
$\eta_{C,d}$	Rendimento mensile di distribuzione
$\eta_{C,s}$	Rendimento mensile di accumulo
$\eta_{C,dp}$	Rendimento mensile di distribuzione primaria
$\eta_{C,qn}$	Rendimento mensile di generazione
$\eta_{C,g}$	Rendimento globale medio mensile per raffrescamento

Fabbisogno di energia primaria

Mese	gg	Q _{C,qn,in} [kWh]	Q _{C,aux} [kWh]	Q _{pC} [kWh]	Combustibile [Nm ³]
gennaio	7	0	84	183	0
febbraio	28	8	336	738	1
marzo	31	385	373	1197	39
aprile	30	2730	386	3569	275
maggio	31	6689	449	7665	673
giugno	30	9263	492	10333	932
luglio	31	10787	547	11975	1085
agosto	31	10120	525	11260	1018
settembre	30	7175	446	8145	722
ottobre	31	1477	381	2305	149
novembre	30	10	360	793	1
dicembre	8	1	96	209	0
TOTALI	318	48645	4475	58373	4894

Legenda simboli

gg	Giorni compresi nel periodo di calcolo per raffrescamento
Q _{C,qn,in}	Energia termica totale in ingresso al sottosistema di generazione per raffrescamento
Q _{C,aux}	Fabbisogno elettrico totale per raffrescamento
Q _{pC}	Fabbisogno di energia primaria per raffrescamento

$$\frac{Q_{C,qn,in}}{H_i} = \frac{48645}{9.940} = 4894 \text{ Nm}^3 \text{ di Metano}$$

Pannelli solari fotovoltaici

Energia elettrica da produzione fotovoltaica [kWh]

Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Sett	Ott	Nov	Dic
448	629	1054	1303	1546	1610	1813	1579	1215	876	486	423

Fabbisogno di energia primaria effettivo	Q'p _C	48645 kWh/anno
Rendimento globale medio stagionale effettivo	η'c,g	201.39 %
Consumo di energia elettrica effettivo		0 kWh/anno

Risultati di calcolo stagionale per l'edificio residenziale

Servizio riscaldamento

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pH}	39262 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{H,gn}$	131.9 %
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{H,g}$	97.9 %
Consumo annuo di Metano		3245 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		0 kWh

Servizio acqua calda sanitaria

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pW}	45206 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{W,gn}$	87.27 %
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	67.41 %
Consumo annuo di Metano		3456 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		0 kWh

Servizio raffrescamento

Fabbisogno di energia primaria annuale	Q_{pC}	58373 kWh/anno
Rendimento di produzione medio annuale	$\eta_{W,gn}$	186.61 %
Rendimento globale medio stagionale	$\eta_{W,g}$	167.83 %
Consumo annuo di Metano		4894 Nm ³
Consumo annuo di Energia elettrica		0 kWh

Solare termico

Producibilità dei pannelli solari (acqua sanitaria)	77703 kWh/anno
Percentuale di copertura (acqua sanitaria)	70.7 %

Solare fotovoltaico

Energia elettrica da produzione fotovoltaica	10983 kWh/anno
Fabbisogno elettrico totale dell'impianto	10789 kWh/anno
Energia elettrica da rete	0 kWh/anno
Energia elettrica prodotta e non consumata	194 kWh/anno

Calcolo dei carichi termici estivi

Caratteristiche geografiche

Località	Treviglio
Provincia	Bergamo
Altitudine s.l.m.	125 m
Latitudine nord	45° 31'
Longitudine est	9° 35'

Gradi Giorno	2237
Zona climatica	E

Località di riferimento

Per la temperatura		Bergamo
Per l'irradiazione	I località	Bergamo
Per l'irradiazione	II località	Lodi
Per il vento		Bergamo

Caratteristiche del vento

Regione di vento	A
Direzione prevalente	Nord-Est
Distanza dal mare	> 40 km
Velocità media del vento	1.9 m/s
Velocità massima del vento	3.8 m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto	- 5.0 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 15 Ottobre al 15 Aprile

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto	31.0 °C
Temperatura esterna bulbo umido	22.7 °C
Umidità relativa	50.0 %
Escursione termica giornaliera	13 °C

Sommario dei carichi termici nell'ora di massimo carico dell'intero edificio

Mese	Luglio
Ora di massimo carico dell'edificio	18

Carichi termici nell'ora di massimo carico

N.	Descrizione	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
1	Alloggio 1A	623	654	438	1781	3062	435	3497
2	Alloggio 2A	344	753	442	1796	2896	438	3334
3	Alloggio 3A	1020	672	438	1779	3475	434	3910
4	Alloggio 1B	530	673	442	1794	3001	438	3439
5	Alloggio 2B	344	755	442	1794	2897	438	3335
6	Alloggio 3B	623	654	438	1779	3060	434	3495
7	Alloggio 1C	344	628	438	1780	2756	435	3190
8	Alloggio 2C	530	751	441	1793	3078	438	3515
9	Alloggio 3C	1020	668	438	1780	3472	435	3907
10	Alloggio 1D	1020	587	438	1780	3391	435	3826
11	Alloggio 2D	344	758	441	1790	2896	437	3333
12	Alloggio 3D	623	728	444	1804	3159	440	3600
13	Alloggio 1E	530	630	441	1792	2957	438	3394
14	Alloggio 2E	623	746	443	1801	3174	440	3614
15	Alloggio 3E	344	552	438	1780	2679	435	3114
16	Alloggio 1F	344	669	438	1781	2797	435	3232
17	Alloggio 2F	530	723	439	1783	3040	435	3475
18	Alloggio 3F	481	742	441	1791	3018	437	3456
19	Alloggio 4A	1020	684	438	1779	3487	434	3922
20	Alloggio 5A	344	770	442	1796	2913	438	3351
21	Alloggio 6A	623	666	438	1781	3074	435	3509
22	Alloggio 1B	623	665	438	1779	3072	434	3506
23	Alloggio 2B	344	772	442	1794	2914	438	3352
24	Alloggio 3B	530	779	442	1794	3107	438	3545
25	Alloggio 4C	344	736	438	1780	2863	435	3298
26	Alloggio 5C	530	766	441	1793	3093	438	3531
27	Alloggio 6C	1020	680	438	1780	3484	435	3919
28	Alloggio 4D	1020	694	438	1780	3498	435	3933
29	Alloggio 5D	344	995	441	1790	3173	398	3570
30	Alloggio 6D	623	744	444	1804	3175	440	3616
31	Alloggio 4E	530	738	441	1792	3064	438	3502
32	Alloggio 5E	623	763	443	1801	3191	440	3631
33	Alloggio 6E	344	661	438	1780	2789	435	3223
34	Alloggio 4F	344	682	438	1781	2810	435	3244
35	Alloggio 5F	530	734	439	1783	3050	435	3486

36	Alloggio 6 F	481	758	441	1791	3034	437	3472
37	Alloggio 7 A	1020	470	438	1779	3273	434	3708
38	Alloggio 8 A	344	561	442	1796	2704	438	3142
39	Alloggio 9 A	623	451	438	1781	2859	435	3294
40	Alloggio 7 B	623	451	438	1836	2890	458	3348
41	Alloggio 8 B	344	563	442	1794	2705	438	3143
42	Alloggio 9 B	530	569	442	1794	2897	438	3335
43	Alloggio 7 C	344	527	438	1780	2654	435	3089
44	Alloggio 8 C	530	557	441	1793	2883	438	3321
45	Alloggio 9 C	1020	465	438	1780	3269	435	3704
46	Alloggio 7 D	1020	480	438	1780	3284	435	3719
47	Alloggio 8 D	344	567	441	1790	2705	437	3142
48	Alloggio 9 D	623	533	444	1804	2964	440	3405
49	Alloggio 7 E	530	527	441	1792	2853	438	3291
50	Alloggio 8 E	623	553	443	1801	2981	440	3421
51	Alloggio 9 E	344	446	438	1780	2573	435	3007
52	Alloggio 7 F	344	467	438	1781	2595	435	3030
53	Alloggio 8 F	530	521	439	1783	2837	435	3273
54	Alloggio 9 F	481	548	441	1791	2825	437	3262

Totali 30647 34890 23766 96601 162351 23554 185904

Legenda simboli

Q_{irr}	Carico dovuto all'irraggiamento
Q_{Tr}	Carico dovuto alla trasmissione
Q_v	Carico dovuto alla ventilazione
Q_c	Carichi interni
$Q_{gl,sen}$	Carico sensibile globale
$Q_{gl,lat}$	Carico latente globale
Q_{gl}	Carico globale

Carichi termici nell'ora di massimo carico di ciascun locale

N.	Descrizione	Ora	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
1	Alloggio 1A	18	623	654	438	1781	3062	435	3497
2	Alloggio 2A	18	344	753	442	1796	2896	438	3334
3	Alloggio 3A	18	1020	672	438	1779	3475	434	3910
4	Alloggio 1B	18	530	673	442	1794	3001	438	3439
5	Alloggio 2B	18	344	755	442	1794	2897	438	3335
6	Alloggio 3B	18	623	654	438	1779	3060	434	3495
7	Alloggio 1C	18	344	628	438	1780	2756	435	3190
8	Alloggio 2C	18	530	751	441	1793	3078	438	3515
9	Alloggio 3C	18	1020	668	438	1780	3472	435	3907
10	Alloggio 1D	18	1020	587	438	1780	3391	435	3826
11	Alloggio 2D	18	344	758	441	1790	2896	437	3333
12	Alloggio 3D	18	623	728	444	1804	3159	440	3600
13	Alloggio 1E	18	530	630	441	1792	2957	438	3394
14	Alloggio 2E	18	623	746	443	1801	3174	440	3614
15	Alloggio 3E	18	344	552	438	1780	2679	435	3114
16	Alloggio 1F	18	344	669	438	1781	2797	435	3232
17	Alloggio 2F	18	530	723	439	1783	3040	435	3475
18	Alloggio 3F	18	481	742	441	1791	3018	437	3456
19	Alloggio 4A	18	1020	684	438	1779	3487	434	3922
20	Alloggio 5A	18	344	770	442	1796	2913	438	3351
21	Alloggio 6A	18	623	666	438	1781	3074	435	3509
22	Alloggio 1B	18	623	665	438	1779	3072	434	3506
23	Alloggio 2B	18	344	772	442	1794	2914	438	3352
24	Alloggio 3B	18	530	779	442	1794	3107	438	3545
25	Alloggio 4C	18	344	736	438	1780	2863	435	3298
26	Alloggio 5C	18	530	766	441	1793	3093	438	3531
27	Alloggio 6C	18	1020	680	438	1780	3484	435	3919
28	Alloggio 4D	18	1020	694	438	1780	3498	435	3933
29	Alloggio 5D	18	344	995	441	1790	3173	398	3570
30	Alloggio 6D	18	623	744	444	1804	3175	440	3616
31	Alloggio 4E	18	530	738	441	1792	3064	438	3502
32	Alloggio 5E	18	623	763	443	1801	3191	440	3631
33	Alloggio 6E	18	344	661	438	1780	2789	435	3223
34	Alloggio 4F	18	344	682	438	1781	2810	435	3244
35	Alloggio 5F	18	530	734	439	1783	3050	435	3486

36	Alloggio 6 F	18	481	758	441	1791	3034	437	3472
37	Alloggio 7 A	18	1020	470	438	1779	3273	434	3708
38	Alloggio 8 A	18	344	561	442	1796	2704	438	3142
39	Alloggio 9 A	18	623	451	438	1781	2859	435	3294
40	Alloggio 7 B	18	623	451	438	1836	2890	458	3348
41	Alloggio 8 B	18	344	563	442	1794	2705	438	3143
42	Alloggio 9 B	18	530	569	442	1794	2897	438	3335
43	Alloggio 7 C	18	344	527	438	1780	2654	435	3089
44	Alloggio 8 C	18	530	557	441	1793	2883	438	3321
45	Alloggio 9 C	18	1020	465	438	1780	3269	435	3704
46	Alloggio 7 D	18	1020	480	438	1780	3284	435	3719
47	Alloggio 8 D	18	344	567	441	1790	2705	437	3142
48	Alloggio 9 D	18	623	533	444	1804	2964	440	3405
49	Alloggio 7 E	12	1094	337	441	1434	2852	454	3306
50	Alloggio 8 E	18	623	553	443	1801	2981	440	3421
51	Alloggio 9 E	18	344	446	438	1780	2573	435	3007
52	Alloggio 7 F	18	344	467	438	1781	2595	435	3030
53	Alloggio 8 F	18	530	521	439	1783	2837	435	3273
54	Alloggio 9 F	18	481	548	441	1791	2825	437	3262
Totali			31211	34701	23766	96243	162349	23570	185920

Legenda simboli

Q_{irr}	Carico dovuto all'irraggiamento
Q_{Tr}	Carico dovuto alla trasmissione
Q_v	Carico dovuto alla ventilazione
Q_c	Carichi interni
$Q_{gl,sen}$	Carico sensibile globale
$Q_{gl,lat}$	Carico latente globale
Q_{gl}	Carico globale

Carichi termici dell'intero edificio

Mese	Luglio
Ore di massimo carico dell'edificio	18
Volume netto totale climatizzato	10920.66 m ³
Superficie netta totale climatizzata	3956.76 m ²
Coefficiente di contemporaneità per persone	0.50 –
Coefficiente di contemporaneità per carichi elettrici	0.50 –
Numero totale di persone	158.78 –
Numero totale di persone con coeff. di contemporaneità	79.39 –
Potenza elettrica totale	79135.20 W

Potenza elettrica totale con coeff. di contemporaneità 39567.60 W
 Totale altro calore sensibile 0 W
 Totale altro calore latente 0 W

Carichi termici senza riduzione per contemporaneità

Ora	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
8	41590	49	10432	96601	123427	25246	148673
10	37748	1884	15244	29205	65381	18701	84082
12	36920	20712	23751	77345	134259	24469	158728
14	37231	41474	27753	48461	133713	21206	154919
16	39621	43904	27753	29205	120711	19772	140484
18	30647	34890	23766	96601	162351	23554	185904

Carichi termici con riduzione per contemporaneità

Ora	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
8	41590	49	10432	48301	78778	21594	100373
10	37748	1884	15244	14603	51921	17559	69479
12	36920	20712	23751	38673	98521	21534	120055
14	37231	41474	27753	24231	111342	19346	130688
16	39621	43904	27753	14603	107251	18630	125881
18	30647	34890	23766	48301	117702	19902	137604

Legenda simboli

- Q_{Irr} Carico dovuto all'irraggiamento
- Q_{Tr} Carico dovuto alla trasmissione
- Q_v Carico dovuto alla ventilazione
- Q_c Carichi interni
- Q_{gl,sen} Carico sensibile globale
- Q_{gl,lat} Carico latente globale
- Q_{gl} Carico globale

Il nuovo impianto di generazione costituito da pompe di calore ad assorbimento del tipo reversibili, garantisce per il periodo estivo una potenza termica pari a 75.6 kW. L'impianto di raffrescamento è lo stesso di quello progettato per il riscaldamento degli ambienti, in altre parole il fluido termovettore refrigerato circola nelle stesse tubazione realizzate per quello riscaldato. Nel caso di raffrescamento a pavimento, come già descritto, è necessario ridurre il grado di umidità relativa in ambiente e quindi attivare il recuperatore di calore in modalità di deumidificatore in modo da mantenere il valore ottimale igrometrico attestato al 50 % dell'umidità relativa. In merito alle potenze il valore totale di calcolo che tiene conto delle rientranze estive attraverso le pareti e i vetri dei serramenti e alla ventilazione e ai carichi interni (illuminazione, presenza di persone, ecc.), avendo migliorato le caratteristiche termodinamiche

dell'involucro del complesso edilizio, è pari a 48.3 kW. Tuttavia, la metodologia di calcolo adottata per il regime estivo, tiene conto anche dei carichi termici per calore sensibile e latente degli occupanti dei locali. Il totale di tali carichi ammonta a 137.6 kW di potenza termica estiva. Dato che le attività motorie svolte all'interno di un alloggio residenziale si possono ritenere pressoché nulle, e vista la presenza anche della ventilazione meccanica controllata, si può asserire con buona approssimazione che detti carichi latenti e sensibili siano già parzialmente neutralizzati da codesto impianto. Pur tuttavia, per non incorrere in problematiche relative al sottodimensionamento del generatore termico funzionante nel periodo estivo, si è ritenuto un giusto compromesso aggiungere alla potenza di calcolo ulteriori circa 27 kW; quindi le pompe reversibili garantiscono in totale una potenza pari a 75.6 kW

3.5.6 Utilizzo di fonti rinnovabili di energia

3.5.6.1 Collettori solari termici

In riferimento alla vigente normativa D.Lgs 28/2011, assorbita in toto dalla normativa della regione Lombardia, il progetto di riqualificazione del complesso edilizio prevede l'utilizzo in copertura con esposizione a sud di 40 pannelli solari del tipo sottovuoto Solar, adatti per la produzione di acqua calda sanitaria e per l'integrazione al riscaldamento, prodotti dall'azienda Paradigma Italia S.r.l..

Il calcolo dell'energia termica prodotta tiene conto del parametro introdotto dalla suddetta normativa e pari alla percentuale di copertura dei fabbisogni con riferimento al periodo che va dal 31/05/2012 al 31/12/2013 di cui si è trattato nell'introduzione al capitolo 3.

Nello specifico, si è ritenuto opportuno utilizzare collettori sottovuoto CPC Inox che soddisfano qualsiasi fabbisogno energetico e, nel nostro caso, coprono il 70.7 % del fabbisogno di energia termica utile per la produzione di acqua calda sanitaria. Rispetto ai collettori tradizionali ad assorbimento, quelli sottovuoto sono in grado di fornire rendimenti più elevati, soprattutto nei mesi più freddi e nelle stagioni intermedie. Il campo solare viene collegato ad un set costituito da 4 bollitori collegati in parallelo tra loro, ciascuno dotato di doppia serpentina e di ulteriore scambiatore a piastra esterno per la produzione rapida; una stazione solare e una regolazione termica per attivare o disattivare il circuito carica del bollitore a seconda della temperatura dell'acqua all'interno del bollitore stesso. Detto sistema in abbinamento al kit RTYR della Robur, in precedenza descritto (sul quale viene montata anche una caldaia a condensazione) costituisce un impianto ecologico, economico e ad alte prestazioni termiche con un rendimento di produzione pari a circa 110 %, come media aritmetica tra i rendimenti di produzione in fase di riscaldamento e di produzione acs.

A titolo esemplificativo si riporta di seguito lo schematico tipico del sistema di impianto dei pannelli solari sottovuoto CPC 45 Inox, i quali hanno una superficie d'apertura pari a 4.5 m², un peso comprensivo dei vetri pari a 75 kg e sono composti da 21 tubi, combinati con 4 bollitori Solar Aqua Sun dotati di doppia serpentina, dalla capacità di 1000 litri ciascuno per un totale di 4000 litri. I tubi sottovuoto CPC presenti sono formati da un doppio vetro come in un thermos; il

vuoto fra i due vetri trattiene il calore anche quando le temperature esterne sono molto basse. Lo specchio riflettente, posto sotto i tubi sottovuoto, permette di sfruttare la radiazione solare in modo ottimale; questo significa che una piccola superficie del collettore determina un grande rendimento, per un'ottima sensazione di benessere. Sfruttando tale tecnologia il numero dei collettori calcolati, cioè 40, risulta essere la metà rispetto a quello in caso di utilizzo di collettori solari modulari costituiti da vasca in alluminio, serpentina in rame e vetro assorbitore.

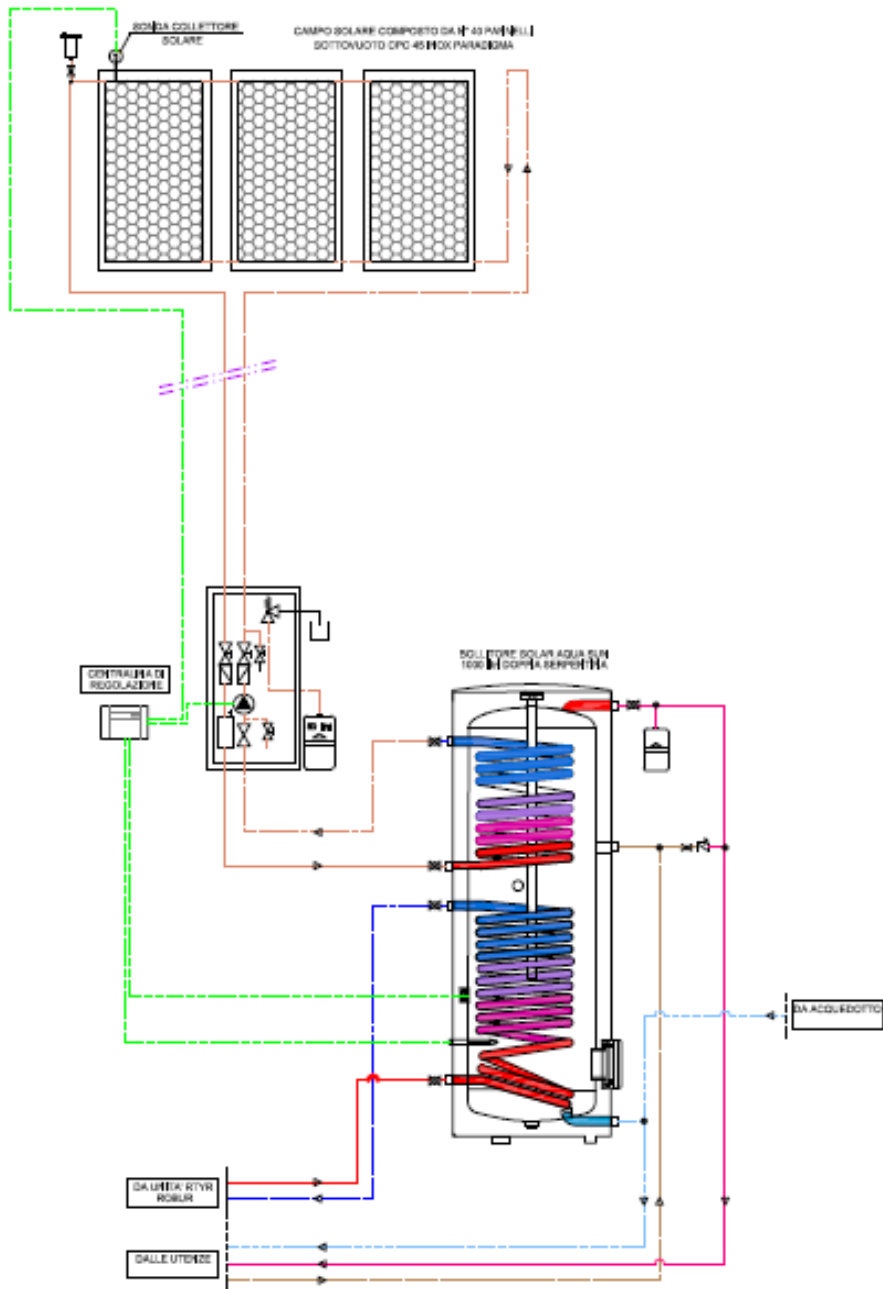


Figura 3.44 Pacchetto Aqua CPC INOX/Aqua Sun per sistemi combinati

Collettore solare utilizzato

PARADIGMA ITALIA SRL/CPC Star Azzurro (inox)/CPC 45 Star Azzurro (inox)

Numero di collettori solari

36

Superficie totale di apertura dei collettori

157.50 m²

Percentuale di copertura per acqua sanitaria

53.4 %

Servizio acqua calda sanitaria

Mese	I_r [kWh/m ²]	$Q_{W,solare}$ [kWh]	Q_{pW} con solare [kWh]	Q_{pW} senza solare [kWh]	$\%_{cop,W}$ [%]
Gennaio	54,8	2883	12167	15540	21,7
Febbraio	74,7	4293	8997	14036	35,9
Marzo	120,7	7081	7224	15540	53,5
Aprile	143,2	8338	5253	15039	65,1
Maggio	165,2	9536	4354	15540	72,0
Giugno	169,9	9795	3552	15039	76,4
Luglio	192,3	10907	2759	15540	82,2
Agosto	171,7	9997	3811	15540	75,5
Settembre	137,2	8200	5406	15039	64,1
Ottobre	103,2	6224	8223	15540	47,1
Novembre	59,0	3325	11138	15039	25,9
Dicembre	52,5	2756	12315	15540	20,8
TOTALI	1444,6	83334	85201	182973	53,4

Legenda simboli

I_r Irradiazione solare captata dai collettori solari

$Q_{W,solare}$ Energia termica da produzione solare per acqua sanitaria

Q_{pW} con solare Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, con il contributo termico solare

Q_{pW} senza solare Fabbisogno di energia primaria per acqua sanitaria, senza il contributo termico solare

$\%_{cop,W}$ Percentuale di copertura del fabbisogno per acqua calda sanitaria

Coefficiente di riflettanza (albedo) 0.26 –

Ombreggiamento Nessuno

Dati collettore solare

Superficie di apertura del singolo collettore 4.50 m²

Rendimento del collettore a perdite nulle η_0 0.64 –

Coefficiente di perdita lineare	a_1	0.749 W/m ² K
Coefficiente di perdita quadratico	a_2	0.005 W/m ² K
Coefficiente di modifica angolo di incidenza	IAM	0.98 –
Efficienza del circuito	η_{loop}	0.80 –

Dati distribuzione

Coefficiente di perdita delle tubazioni	83.75 W/K
---	-----------

Dati accumulo doppio

Accumulo 1

Servizio	Acqua sanitaria
Volume nominale	2000.00 litri

Accumulo 2

Servizio	Acqua sanitaria
Volume nominale	2000.00 litri

Fabbisogni elettrici

Potenza assorbita dagli ausiliari	837.50 W
Ore di funzionamento annue	2000 h

3.5.6.1 Pannelli fotovoltaici

In riferimento alla vigente normativa costituita dal D.Lgs 28/2011, si sono progettati due campi fotovoltaici, aventi potenzialità di picco installata totale superiore al valore minimo richiesto dalla predetta normativa, come indicata al paragrafo 2.1, che nella fattispecie richiede l'installazione di un impianto fotovoltaico avente potenzialità di picco pari a 58.6 kW, limite valido fino al 31/12/2013.

Infatti, il campo fotovoltaico 1, costituito da 53 pannelli fotovoltaici policristallini posati in copertura con esposizione a sud, per una potenzialità di picco pari a 12.2 kW, garantisce una produzione di energia elettrica di circa 10800 kWh/anno a copertura totale dei fabbisogni elettrici richiesti dalle apparecchiature installate e a corredo degli impianti di riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento.

Il secondo campo fotovoltaico, in applicazione alla direttiva Europea 31/2010/Ue del 19 Maggio 2010 e del relativo Regolamento n. 244 di attuazione della stessa, al fine di contribuire alla realizzazione di un complesso residenziale ad energia "quasi zero", è costituito da 667 pannelli fotovoltaici policristallini, per una potenzialità di picco pari a 153.4 kW, ubicati nelle vicinanze e collegati tra loro in serie in più moduli in modo da costituire una stringa, a sua volta collegata in parallelo ad altre stringhe al fine di costituire un sottocampo (Figura 2.29). La potenzialità richiesta in relazione ai consumi storici e alle nuove apparecchiature installate (nuovi ascensori in

classe A di potenza elettrica installata 4 kW, o nuove piastre ad induzione di potenzialità pari a 2 kW, in luogo delle esistenti cucine a gas) è così distinta:

- Fabbisogno elettrico alloggi: 2300 kWh/anno · 54 alloggi = 124.200 kWh/anno;
- Fabbisogni elettrici per usi condominiali: 35000 kWh/anno.

Per un totale di 159200 kWh/anno. Detto campo copre al 100 % i fabbisogni elettrici richiesti per l'utilizzo delle apparecchiature dei singoli appartamenti (autoconsumo) e per l'energia elettrica necessaria al funzionamento di quelle installate nelle parti comuni del complesso edilizio (impianto ascensore, impianto di illuminazione, impianto citofonico, ecc.).

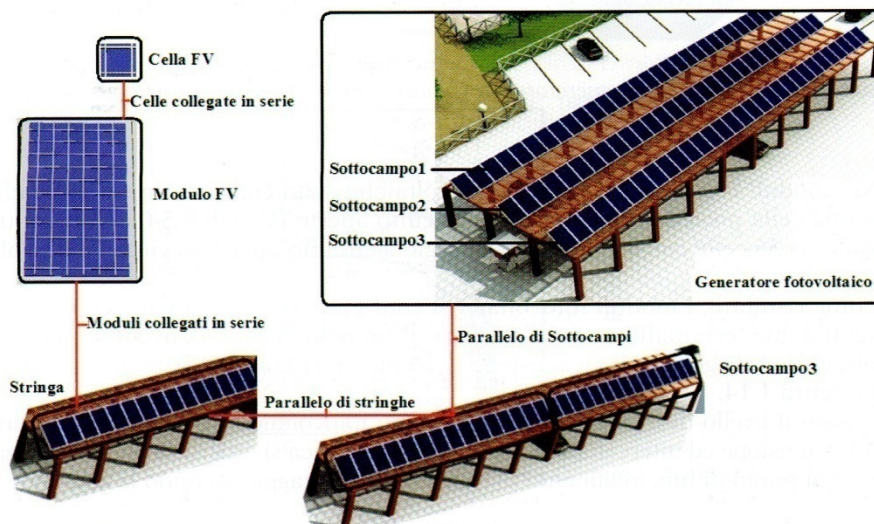


Figura 3.45 Dalla cella al generatore fotovoltaico – Sistemi fissi

Nello specifico, vengono utilizzati pannelli fotovoltaici prodotti dall'azienda italiana Eurener, in particolare il modello Perfect 25 PEPV policristallino da 230 W di potenza nominale e tolleranza positiva 0/+3%. Si tratta di moduli fabbricati in serie con la migliore tecnologia germano-svizzera, macchinari automatizzati di ultima generazione che proporzionano massima affidabilità ed elevate prestazioni. Sono costituiti da un'intelaiatura in alluminio anodizzato argentato, robusta e resistente alla corrosione; da una scatola di connessione sigillata, robusta e ampia per favorire la perdita di calore, con i diodi di by-pass incorporati come protezione dalla parziale zona d'ombra; da vetro temprato dello spessore di 4.2 mm, testurizzato, extra chiaro e a basso contenuto di ferro. Ogni pannello, le cui misure sono di 1676 x 998 x 41 mm, per un peso di 22 Kg, è composto da 60 celle solari in silicio policristallino da 156 x 156 mm, incapsulate con etilene-vinil-acetato (EVA).

Per quanto concerne il campo 1, relativo ai fabbisogni elettrici delle apparecchiature degli impianti di riscaldamento, acqua calda sanitaria e raffrescamento, si riporta i risultati di calcolo estrapolati dal programma Edilclima.

Energia elettrica da produzione fotovoltaica 10983 kWh/anno
 Fabbisogno elettrico totale dell'impianto 10789 kWh/anno
 Percentuale di copertura del fabbisogno annuo 100.0 %

Energia elettrica da rete 0 kWh/anno
 Energia elettrica prodotta e non consumata 194 kWh/anno

Energia elettrica mensile dell'impianto fotovoltaico ($E_{el,pv,out}$)

Mese	$E_{el,pv,out}$ [kWh]
Gennaio	448
Febbraio	629
Marzo	1054
Aprile	1303
Maggio	1546
Giugno	1610
Luglio	1813
Agosto	1579
Settembre	1215
Ottobre	876
Novembre	486
Dicembre	423
TOTALI	12983

Fabbisogni elettrici dell'impianto fotovoltaico 2000 kWh/anno

Descrizione sottocampo

Modulo utilizzato EURENER ITALIA S.r.l./Moduli Perfect 25/PEPV 230
 Numero di moduli 53
 Potenza di picco totale 12190 Wp
 Superficie utile totale 77.38 m²

Dati del singolo modulo

Potenza di picco Wpv 230 Wp
 Superficie utile Apv 1.46 m²
 Fattore di efficienza fpv 0.75 –
 Efficienza nominale 0.16 –

Dati posizionamento pannelli

Orientamento rispetto al sud	γ	0.0°
Inclinazione rispetto al piano orizzontale	β	20.0°
Coefficiente di riflettanza (albedo)		0.26
Ombreggiamento		Nessuno

Energia elettrica mensile prodotta dal sottocampo

Mese	E_{pv} [kWh/m ²]	$E_{el,pv,out}$ [kWh]
gennaio	49,0	448
febbraio	68,8	629
marzo	115,3	1054
aprile	142,5	1303
maggio	169,1	1546
giugno	176,1	1610
luglio	198,3	1813
agosto	172,7	1579
settembre	132,9	1215
ottobre	95,8	876
novembre	53,2	486
dicembre	46,3	423
TOTALI	1420,0	12983

Legenda simboli

E_{pv}	Irradiazione solare mensile incidente sull'impianto fotovoltaico
$E_{el,pv,out}$	Energia elettrica mensile prodotta dal sottocampo

3.5.7 Verifica dell'indice di prestazione energetica EP_H

Per un edificio con S/V pari a 0.51 localizzato a Treviglio (Zona E con 2237 GG), il valore di EP_H limite con il quale confrontare il valore di EP_H di progetto, vale:

$$EP_H \text{ limite} = 60.93 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

Il valore di EP di progetto è dato dalla seguente formula:

$$EP_H = \frac{Q}{S_{utile}} = \frac{32259}{3956.76} = 8.15 \text{ [kWh/m}^2\text{anno]}$$

$$EP_H = 8.15 \text{ kWh/m}^2\text{anno}$$

La verifica della prestazione energetica prevista dal decreto stabilisce che:

$$EP_H < Ep_{Hlim}$$

Noi abbiamo:

$$8.15 < 60.93$$

La relazione è verificata, il fabbisogno di energia primaria rientra nei limiti stabiliti.

3.5.8 Certificazione energetica

Esportando i dati del file di calcolo eseguito con il programma Edilclima in formato .xml, gli stessi vengono rielaborati con il programma ufficiale CENED⁺ versione 1.2.0 per la determinazione della classe energetica a seguito degli interventi sopra descritti.

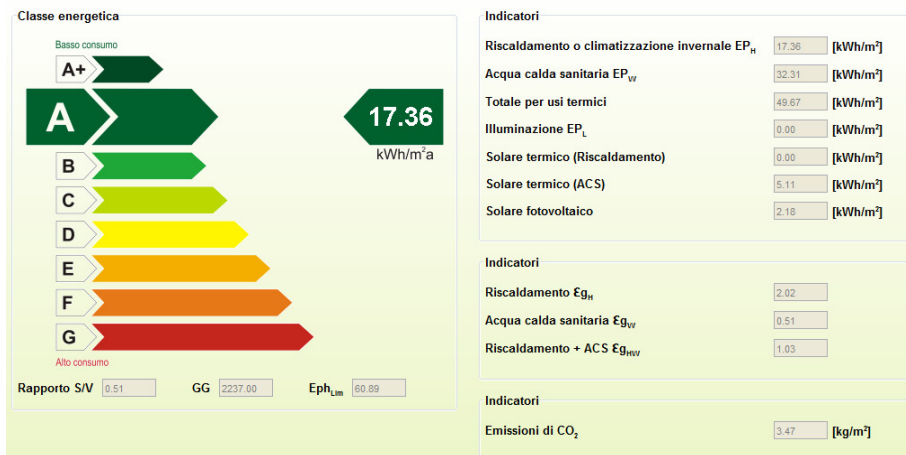


Figura 3.46 Classificazione energetica CENED dell'edificio A.L.E.R.

Esportando gli stessi dati e rielaborandoli con il programma di certificazione riconosciuto a livello nazionale, si ottiene una classificazione A+.

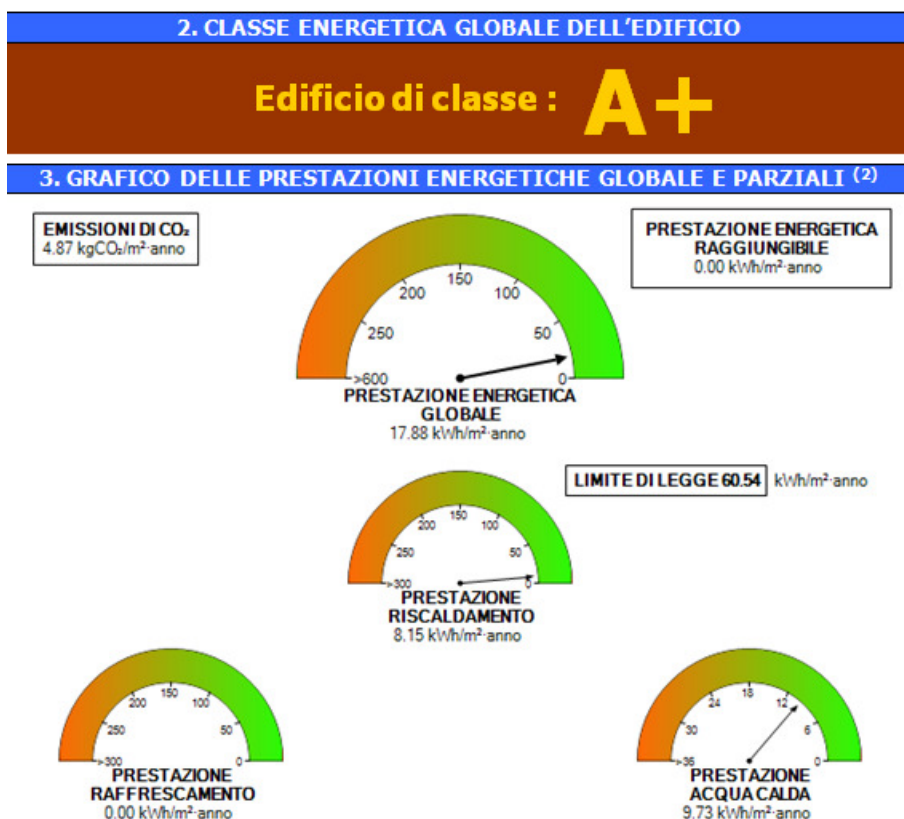


Figura 3.47 Classificazione energetica secondo il programma di certificazione riconosciuto a livello nazionale dell'edificio A.L.E.R.

3.5.9 Piano finanziario

Come detto in precedenza, l'analisi costi/benefici mette in evidenza due aspetti importanti, che non possono prescindere la progettazione: l'analisi dei costi dell'intervento in relazione ai benefici che gli stessi interventi comportano, in modo da valutare se il tipo di interventi sia conveniente, non solo in termini di benefici monetizzati, ma anche, e soprattutto, in termini di risparmio energetico.

Dati geometrici del complesso edilizio

Superficie in pianta netta	3956.76 m ²
Superficie in pianta lorda	4686.33 m ²
Volume netto	10920.66 m ³
Volume lordo	15263.33 m ³
Superficie lorda esterna	7718.53 m ²
S/V	0.51 m ⁻¹

Prima di procedere con l'analisi dettagliata dei costi relativi agli interventi che si è progettato di realizzare, è bene presentare le condizioni iniziali di partenza del complesso edilizio oggetto di studio, in modo da poter fare un confronto chiaro e immediato, sia in termini economici, che in termini di consumi e quindi di risparmio energetico.

Edificio esistente

Attraverso i dati forniti dall'ufficio contabilità dell'A.L.E.R. si è risaliti ai consumi di gas metano e ai consumi elettrici dell'impiantistica legata alle parti comuni (centrale termica per riscaldamento, impianti di illuminazione esterna, vani scale, ecc.) e procedendo all'audit in loco, si sono analizzati quelli di alcuni condomini, che hanno messo a disposizione le bollette in loro possesso (consumo metano per acqua calda e cucina relativi ad un anno e consumi elettrici dell'alloggio, sempre relativi ad un anno).

Consumi storici di gas metano

Consumo gas per riscaldamento	67.174 Nm ³ /anno
Consumo gas per produzione acs	17.501 Nm ³ /anno
Consumo gas per cucina (cottura cibi)	6.340 Nm ³ /anno

Totale consumi gas **91.015 m³**

Totale costi gas **91.015 · 0.88 = 80.093,20 €**

Consumi storici di energia elettrica

Centrale termica	5.036 kWh/anno
Alloggio (2300 kWh/anno x 54 Alloggi) =	124.200 kWh/anno
Parti comuni	35.000 kWh/anno

Totale consumi energia elettrica **164.236 kWh/anno**

Totale costi energia elettrica **164.236 · 0.24 = 39.416,64 €**

Totale Costi (Metano + energia elettrica)

Metano	91.015 · 0.88 = 80.093,20 €
Energia elettrica	164.236 · 0.24 = 39.416,64 €

Totale costi **119.509,84 €**

Incidente di **2.213,15 €** per alloggio all'anno

Edificio riqualificato

A seguito degli interventi di miglioramento delle prestazioni energetiche ampiamente descritte, che hanno interessato sia l'involucro edilizio che l'impiantistica, i nuovi consumi di gas metano e di energia elettrica, sono quelli di seguito riportati.

Consumi di gas metano

Consumo metano per riscaldamento	3.245 Nm ³ /anno
Consumo metano per produzione acs	3.456 Nm ³ /anno
Consumo metano per raffrescamento	4.894 Nm ³ /anno

Totale consumi gas **11.595 Nm³/anno**

Costi consumo gas per riscaldamento	$3.245 \cdot 0,88 = 2.855,60 \text{ €}$
Costi consumo gas per acs	$3.456 \cdot 0,88 = 3.041,28 \text{ €}$
Costi consumo gas per raffrescamento *	$4.894 \cdot 0,88 = 4.306,72 \text{ €}$

Totale costi gas **10.203,60 €**

* Trattandosi di generatore reversibile nella riqualificazione si è tenuto conto anche del condizionamento estivo, ma volendo confrontare i consumi di gas metano esclusivamente per il riscaldamento e la produzione di acqua calda sanitaria, gli stessi diventano:

Costi consumo gas per riscaldamento	$3.245 \cdot 0,88 = 2.855,60 \text{ €}$
Costi consumo gas per acs	$3.456 \cdot 0,88 = 3.041,28 \text{ €}$

Totale costi gas **$6.701 \cdot 0,88 = 5.896,88 \text{ €}$**

Consumi di energia elettrica

Attraverso la progettazione di un campo costituito da 53 pannelli fotovoltaici, posizionati in copertura con esposizione a sud, in grado di produrre 10983 kWh/anno di energia elettrica, valore superiore al fabbisogno di energia elettrica richiesta dal sistema impiantistico per riscaldamento, produzione acqua calda sanitaria e raffrescamento, pari a 10789 kWh/anno, la richiesta di energia elettrica da rete risulta essere pari a zero, di conseguenza anche i costi relativi alla stessa si azzerano.

Attraverso l'inserimento del secondo campo fotovoltaico, costituito da 667 pannelli fotovoltaici dislocati nell'area di progetto, si è in grado di coprire anche il fabbisogno di energia elettrica dei singoli alloggi, calcolata pari a 124.200 kWh/anno (2300 kWh/anno · 54 alloggi), e delle parti comuni stimata pari a 35.000 kWh/anno. In questo modo i costi di energia elettrica si azzerano per l'intero complesso edilizio.

Impianto riscaldamento	$0 \text{ kWh/anno} \cdot 0,24 = 0,00 \text{ €}$
Impianto acs	$0 \text{ kWh/anno} \cdot 0,24 = 0,00 \text{ €}$
Impianto raffrescamento	$0 \text{ kWh/anno} \cdot 0,24 = 0,00 \text{ €}$

Totale costi energia elettrica **0,00 €**

Totale Costi (Metano + energia elettrica)

Metano	$6.701 \cdot 0.88 = 5.896,88 \text{ €}$
Energia elettrica	$0 \cdot 0.24 = 0,00 \text{ €}$

Totale costi 5.896,88 €

Incidente di **109,20 €** per alloggio all'anno

Il nuovo costo di energia a carico degli assegnatari delle abitazioni A.L.E.R., per questo edificio, è, rispetto a quello storico, pari al 4.93 % dello stesso, verificandosi in concreto la riduzione dei consumi, e quindi dell'energia, a "quasi zero".

Di seguito, per il raggiungimento dei risultati illustrati in termini di consumi e relativi costi di energia, si è reso necessario progettare i lavori (come ampiamente illustrato nei paragrafi precedenti) che di seguito vengono sinteticamente descritti e quantificati.

Costi interventi (Impianti)

1. Riqualficazione centrale termica con l'inserimento delle seguenti apparecchiature d'impianto:

- pompe di calore ad assorbimento di potenza termica 110 kW a metano;
- circolatori elettronici;
- centralina termoregolazione circuiti;
- modifica tubazioni e isolamenti;
- demolizioni e smaltimento componenti esistenti;
- serbatoio inerziale da 1000 litri.

Costo in opera a corpo 75.000,00 €

2. Nuovo sistema di regolazione e centralizzazione dei consumi di energia per uso riscaldamento/raffrescamento, acs e a.f compreso il cronotermostato ambiente.

Costo in opera a corpo 35.000,00 €

3. Demolizione di 54 caldaiette esistenti per la produzione di acqua calda sanitaria, nuovo impianto centrale di produzione acs con caldaia a condensazione (abbinata a kit di pompa di calore), nuova rete di distribuzione acs e ricircolo a mezzo tubazione isolata in cunicolo e sotto traccia, valvole e accessori vari.

Costo in opera a corpo 60.000,00 €

4. Impianto di captazione energia solare con 40 collettori solari sottovuoto, collegati a stazione satellitare e a 4 serbatoi di accumulo da 1000 litri ciascuno a doppia serpentina, tubazioni, valvole, isolamenti, ecc.

Costo in opera a corpo 70.000,00 €

5. Fornitura e posa in opera di impianto di ventilazione meccanica controllata, costituito da recuperatore di calore a doppio flusso con percentuale di recupero del calore del 92.1%, sistema di regolazione e controllo velocità, portata e temperatura, tubazioni di mandata e ritorno, presa aria esterna e di espulsione, controsoffittatura e canalizzazioni isolate a soffitto.

Costo in opera a corpo 270.000,00 €

6. Fornitura e posa in opera di impianti di riscaldamento a pavimento a bassa temperatura, del tipo a pannelli preformati per ristrutturazioni, compreso collettori, cassetto e valvole di regolazione e bilanciamento, collegamento alle tubazioni esistenti di mandata e ritorno e quant'altro occorre.

Costo in opera a corpo 240.000,00 €

7. Fornitura e posa in opera di impianto fotovoltaico policristallino, costituito da sottocampo di 53 pannelli EURENER, avente potenza di picco 230 W ciascuno, per complessivi 12.19 kW, compreso inverter, impianti di collegamento, kit di ancoraggio al tetto e quant'altro; produzione di 10.983 kWh/anno di energia elettrica.

Costo in opera a corpo 60.000,00 €

8. Fornitura e posa in opera di impianto fotovoltaico policristallino, costituito da campo da 667 pannelli, tra quelli EURENER e quelli integrati nella struttura delle pensiline, per complessivi 150 kW, compreso inverter, impianti di collegamento e quant'altro; produzione di 159.200 kWh/anno di energia elettrica.

Costo in opera a corpo 610.000,00 €

9. Fornitura e installazione di piastre a induzione in luogo delle cucine esistenti, compreso i costi relativi alla modifica dell'impianto elettrico

Costo in opera a corpo 32.400,00 €

Totale costo impianti

1.452.400,00 €

Costi interventi (Involucro)

1. Sostituzione dei serramenti esistenti in ferro, costituiti da finestre e porte finestre, compreso il cassonetto, rullo, copri rullo, cinghia e tapparella, smaltimento dei telai e dei vetri esistenti e posa, senza opera muraria, di nuovi serramenti in alluminio, con nodo a taglio termico, monoblocco, con cassonetto isolato, vetri doppi a camera d'aria con argon e basso emissivi, compreso tapparella in PVC e quant'altro

Costo in opera a corpo 330.000,00 €

2. Fornitura e posa in opera di pannello isolante in polistirene espanso con pelle, per coibentazione estradosso solaio di sottotetto, dello spessore di 10 cm e quant'altro necessario

Costo in opera a corpo 35.000,00 €

3. Fornitura e posa in opera di pannello isolante in fibra di vetro trattata e aerata con protezione in polipropilene, marca AEROPAN, spessore 1 cm, conducibilità 0.0131 W/m²K, per isolamento estradosso solaio su piano terra riscaldato e 3 cm su porticato.

Costo in opera a corpo 140.000,00 €

4. Demolizione di pavimenti esistenti compreso le piastrelle e il massetto per allettamento per pavimento, compreso il trasporto e lo smaltimento in discarica del materiale di risulta, successivo massetto per alloggiamento riscaldamento a pavimento e piastrelle in gres ceramico incollate dello spessore di 1 cm e quant'altro occorrente

Costo in opera a corpo 230.000,00 €

5. Fornitura e posa in opera di isolamento a cappotto esterno, previo montaggio ponteggio, demolizione dei contorni finestre in marmo, scrostamento a caldo dell'intonaco plastico esistente, finitura e rettifica parete in mattoni, incollaggio e fissaggio di lastre in polistirene espanso, estruso con pelle dallo spessore di 12 cm, compreso intonaco e rete per finitura

Costo in opera a corpo 450.000,00 €

Totale costo involucro

1.185.000,00 €

Dall'analisi dei costi si evince che la spesa complessiva degli interventi di riqualificazione impiantistica e sull'involucro del complesso edilizio ammonta a:

Lavori	2.637.400,00 €
IVA 10 %	263.740,00 €
Totale	2.901.140,00 €

L'impianto fotovoltaico in toto ha un costo di fornitura in opera pari a 670.000,00 € per una potenza complessiva di picco di 172.19 kW di potenza installata e una producibilità di 170.183 kWh/anno commisurata ai fabbisogni elettrici. In realtà, il costo di detto impianto può non rientrare nel bilancio economico dell'analisi costi benefici, in quanto trattasi di impiantistica che può essere realizzata senza anticipi e senza costi aggiuntivi, ma che nell'arco di vita di un pannello (circa 25 anni) può essere ripagato grazie a incentivi derivanti dal Conto Energia previsti per l'investimento fotovoltaico. Nello specifico, la forma incentivante di cui trattasi è il GSE (Gestione Servizi Energia), con il quale viene riconosciuto un contributo a favore dell'utente, che si configura come ristoro di una parte degli oneri sostenuti per il prelievo di energia elettrica dalla rete; in pratica avviene uno scambio sul posto, e cioè, non tutta l'energia prodotta dai pannelli

fotovoltaici va a contribuire al fabbisogno familiare e l'aliquota di energia necessaria viene prelevata dalla rete ENEL, inviando nella rete nazionale l'altra aliquota prodotta dall'impianto fotovoltaico e non utilizzata. Dato che, il controvalore in euro dell'energia elettrica prodotta da fotovoltaico e immessa in rete, è maggiore del valore in euro dell'onere di prelievo dalla rete di approvvigionamento, ne deriva che, come detto sopra, l'impianto risulti a costo zero.

Quindi, si ritiene corretto nell'analisi dei costi benefici non esporre i suddetti costi in quanto assorbiti da fonti incentivanti statali a cui sia l'A.L.E.R. con azienda proprietaria, che i singoli assegnatari possono accedere.

Ai fini della verifica del vantaggio economico dell'investimento si è ipotizzato di sottoscrivere un finanziamento con determinate caratteristiche: il tasso di inflazione viene trascurato, si suppone che i risparmi complessivi annuali siano costanti e si presume la durata di vita dell'impianto rivalificato pari a 30 anni. Tenendo presente che:

- il tasso d'interesse è pari al 5%;
- la durata del finanziamento è di 30 anni;
- la quota annuale di ammortamento è pari a € 140.780,41.

La stima dell'intervento risulta la seguente:

- spesa annua totale per consumi e quote d'ammortamento
 $5.896,88 \text{ €} + 140.780,41 \text{ €} = 146.677,29 \text{ €}$
- risparmio annuo per la durata dell'ammortamento
 $119.317,72 \text{ €} - 146.677,29 \text{ €} = - 27.359,57 \text{ €}$

Sommando la quota annuale di ammortamento con il risparmio annuo per la durata dell'ammortamento

$$140.780,41 \text{ €} - 27.359,57 \text{ €} = 113.420,84 \text{ €}$$

Solo dopo l'estinzione del finanziamento è possibile ottenere il risparmio sopra calcolato. Infatti, pur riducendosi a quasi zero i consumi di energia, con il solo risparmio energetico, rispetto ai consumi storici, non è possibile, in termini economici, ottenerne un vantaggio, e cioè la somma risparmiata annua pari a 113.420,84 € non copre in 30 anni il finanziamento di cui la rata comprensiva della quota di ammortamento risulta essere pari a 146.677,29 €.

Si ottiene il risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento, che risulta maggiore rispetto al valore annuale netto VAN pari a € - 420.583,69.

Il valore annuale netto è la differenza tra la somma dei benefici ed il valore dell'investimento al momento attuale. Sapendo che il risparmio economico dato dal consumo di combustibile Metano e di energia elettrica è pari a € 113.420,84, tenendo nuovamente conto che l'inflazione sia trascurabile e i risparmi complessivi rimangano costanti ogni anno, dalla tabella 4.18 (paragrafo 2.3.8.1) si ricava che, per un tasso d'interesse pari al 5% e per una durata del finanziamento di 30 anni, il fattore di annualità è 15,3725, da cui il calcolo del VAN è il seguente:

$$(113.420,84 \cdot 0,02 \text{ €} \cdot 15,3725) - 2.164.140,00 \text{ €} = - 420.583,69 \text{ €}$$

Dal valore e dal segno ottenuti per il VAN, e dal calcolo reale del risparmio annuo, è possibile concludere che l'investimento non è remunerativo per il capitale impegnato e quindi sarebbe consigliabile, anche in relazione al risparmio energetico che ne deriva che, nella fattispecie, si attesta al 92.1 %.

Pertanto, se dal punto di vista economico, la riqualificazione non dà alcun vantaggio, dal punto di vista del risparmio energetico e dell'efficienza del sistema edificio-impianto riqualificato, l'investimento sarebbe vivamente consigliato, in quanto non solo aumenterebbe il comfort e il benessere degli occupanti gli alloggi, ma ridurrebbe fortemente il tasso di inquinamento in ambiente. Quest'ultimo aspetto non secondario, visti i parametri sottoscritti dall'Italia secondo il Protocollo di Kyoto.

Altro aspetto importante, è che il consumo di energia primaria calcolato è pari a 6701 Nm³/anno, soddisfa pienamente la definizione e le indicazioni date dalla Direttiva 31/2010/Ue, trattandosi di un sistema edificio-impianto ad altissima prestazione e a consumi quasi zero; questa riduzione si traduce in termini economici ad un costo pro capite minimo.

In sintesi, si riporta il quadro dei costi con i relativi benefici.

PIANO FINANZIARIO

SITUAZIONE PRIMA DELL'INTERVENTO			
<input type="text" value="Gas naturale"/>	Stagione	Combustibile	Energia elettrica
		<i>Stm³</i>	<i>kWh</i>
Consumi di combustibile ed energia elettrica negli anni precedenti	<i>2007/2008</i>	70.410	5.000
	<i>2008/2009</i>	65.600	5.000
	<i>2009/2010</i>	67.407	5.000
	<i>2010/2011</i>	64.445	5.000
	<i>cons. elettrici all.</i>		124.200
	<i>cons. elettrici p.c.</i>		35.000
	<i>cucina</i>	6.340	
	<i>acs</i>	17.501	
	MEDIA	90.807	164.200
Costo combustibile	€/Stm ³	0,88	
Costo energia elettrica	€/kWh	0,24	
Costo annuo medio energia prima dell'intervento			€ 119.317,72
COSTO DELL'INTERVENTO			
Importo totale interventi IVA esclusa		€ 1.967.400,00	
IVA	10%	€ 196.740,00	
Importo totale interventi compresa IVA			€ 2.164.140,00
SITUAZIONE DOPO L'INTERVENTO			
<input type="text" value="Gas naturale"/>	Consumo annuo	Prezzo unitario	
	<i>Stm³</i>	<i>€/Stm³</i>	
	6.701	0,88	
Energia elettrica	kWh	€/kWh	
	0	0,24	
Spesa energetica annua successiva all'intervento			€ 5.896,88
CARATTERISTICHE DEL FINANZIAMENTO			
Tasso di interesse		5%	
Durata del finanziamento	(anni)	30	
Quota annuale ammortamento			€ 140.780,41
CALCOLO DEL VALORE DELL'INTERVENTO			
Spesa annua totale per consumi e quota di ammortamento		€ 146.677,29	
Risparmio annuo per la durata dell'ammortamento		-€ 27.359,57	
Risparmio totale attualizzato al termine dell'ammortamento			-€ 420.583,69
Risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento		€ 113.420,84	
Durata di vita dell'intervento	(anni)	30	
Risparmio totale attualizzato dell'intervento			-€ 420.583,69
Legenda:	<div style="background-color: #ffcc80; width: 50px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: #ffff00; width: 50px; height: 15px;"></div>	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> Dati di Input	<div style="border: 1px solid black; width: 150px; height: 15px;"></div> Risultati di calcolo

Figura 3.48 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici

Nell'eventualità che l'A.L.E.R. avesse la possibilità di accedere agli incentivi fiscali del 55 % di cui possono godere sia i privati che le imprese esercenti, l'investimento sarebbe ripagato anche in termini economici e i tempi di ammortamento si ridurrebbero a 12 anni. A dimostrazione di quanto detto, si riporta di seguito la scheda riassuntiva relativa all'analisi costi/benefici.

PIANO FINANZIARIO			
SITUAZIONE PRIMA DELL'INTERVENTO			
<input type="text" value="Gas naturale"/>	Stagione	Combustibile	Energia elettrica
		<i>Stm³</i>	<i>kWh</i>
	2007/2008	70.410	5.000
	2008/2009	65.600	5.000
	2009/2010	67.407	5.000
	2010/2011	64.445	5.000
	cons. elettrici all.		124.200
	cons. elettrici p.c.		35.000
	cucina	6.340	
	acs	17.501	
	MEDIA	90.807	164.200
Costo combustibile	€/Stm ³	0,88	
Costo energia elettrica	€/kWh	0,24	
Costo annuo medio energia prima dell'intervento			€ 119.317,72
COSTO DELL'INTERVENTO			
Importo totale interventi IVA esclusa		€ 885.330,00	
IVA	10%	€ 88.533,00	
Importo totale interventi compresa IVA			€ 973.863,00
SITUAZIONE DOPO L'INTERVENTO			
<input type="text" value="Gas naturale"/>	Consumo annuo	Prezzo unitario	
	<i>Stm³</i>	<i>€/Stm³</i>	
	6.701	0,88	
Energia elettrica	kWh	€/kWh	
	0	0,24	
Spesa energetica annua successiva all'intervento			€ 5.896,88
CARATTERISTICHE DEL FINANZIAMENTO			
Tasso di interesse		5%	
Durata del finanziamento	(anni)	12	
Quota annuale ammortamento			€ 109.876,49
CALCOLO DEL VALORE DELL'INTERVENTO			
Spesa annua totale per consumi e quota di ammortamento		€ 115.773,37	
Risparmio annuo per la durata dell'ammortamento		€ 3.544,35	
Risparmio totale attualizzato al termine dell'ammortamento			€ 31.414,45
Risparmio annuo dopo l'estinzione del finanziamento		€ 113.420,84	
Durata di vita dell'intervento	(anni)	30	
Risparmio totale attualizzato dell'intervento			€ 747.846,96
Legenda:			Dati di Input
			Risultati di calcolo

Figura 3.49 Scheda riassuntiva dell'analisi costi/benefici

3.6 Conclusioni riqualificazione energetica

Sostenibilità ed efficienza energetica sono i due fattori che maggiormente condizionano e condizioneranno il modo di costruire. Il quadro legislativo e normativo è in evoluzione. Le direttive europee hanno indicato le modalità e i tempi con cui si deve procedere a ridurre i consumi energetici. Garantire livelli *quasi zero* di consumi energetici non è un'utopia, ma un'esigenza. Per questo diventa essenziale da un lato disporre con certezza delle regole oggi esistenti sia a livello nazionale e regionale che sul piano locale, dall'altro conoscere le soluzioni tecnologiche offerte dal mercato. Mettere insieme questi due piani in una logica di confronto tra gli operatori e i "regolatori" è oggi una necessità.

Le crisi energetiche prima e quelle finanziarie più recenti hanno sensibilizzato gli stati e l'Unione Europea ad una politica energetica che può essenzialmente riassumersi in tre direttrici:

- *Riduzione dei consumi energetici sia nel settore industriale che in quello terziario;*
- *Miglioramento delle efficienze energetiche dei componenti e degli edifici;*
- *Utilizzo di fonti di energia rinnovabili (FER).*

Quanto detto è esplicitamente indicato nella direttiva 2007/28/UE, nota anche come *direttiva clima-energia 20-20-20*.

Nel settore terziario una percentuale di circa il 40% del consumo totale di energia si ha nell'edilizia (pubblica e privata) e ciò giustifica l'interesse dell'UE ad azioni politiche e tecniche atte a ridurre i consumi energetici in questo settore.

La direttiva 2002/91/UE (non più in vigore dal gennaio 2012) introduce per prima il pacchetto di norme EPBD sul miglioramento dell'efficienza energetica e sulla certificazione energetica degli edifici e sostituisce, a partire dal 2012, la precedente direttiva EPBD (*Efficiency Performance Building Directive*).

In Italia tale norma è stata recepita con il D.Lgs. 192/95 e successive modificazioni.

La direttiva 2007/28/UE introduce indicazioni sull'utilizzo delle fonti di energia rinnovabili negli edifici, in attuazione della direttiva clima-energia. In Italia tale direttiva è stata recepita con il D.Lgs. 28/2011 che introduce norme sull'utilizzo delle FER con una percentuale di integrazione del 50% a partire dal 2017, sempre sui nuovi edifici. Inoltre la direttiva 2010/31/UE ridefinisce gli standard di efficienza energetica negli edifici (nuova EPBD) introducendo l'obiettivo di avere edifici di nuova costruzione a *Quasi Zero Energia (QZE)* a partire dal 2020.

In figura 2.30 è schematizzato il sistema edificio-impianto, quantomeno l'interazione che l'edificio (soggetto architettonico) ha con il sistema impianto necessario alla sua funzionalità. Partendo da destra verso sinistra si osserva come il sistema edificio richieda alcuni servizi essenziali quali l'illuminazione, la produzione di acqua calda sanitaria, il riscaldamento, il raffrescamento e i servizi di cucina.

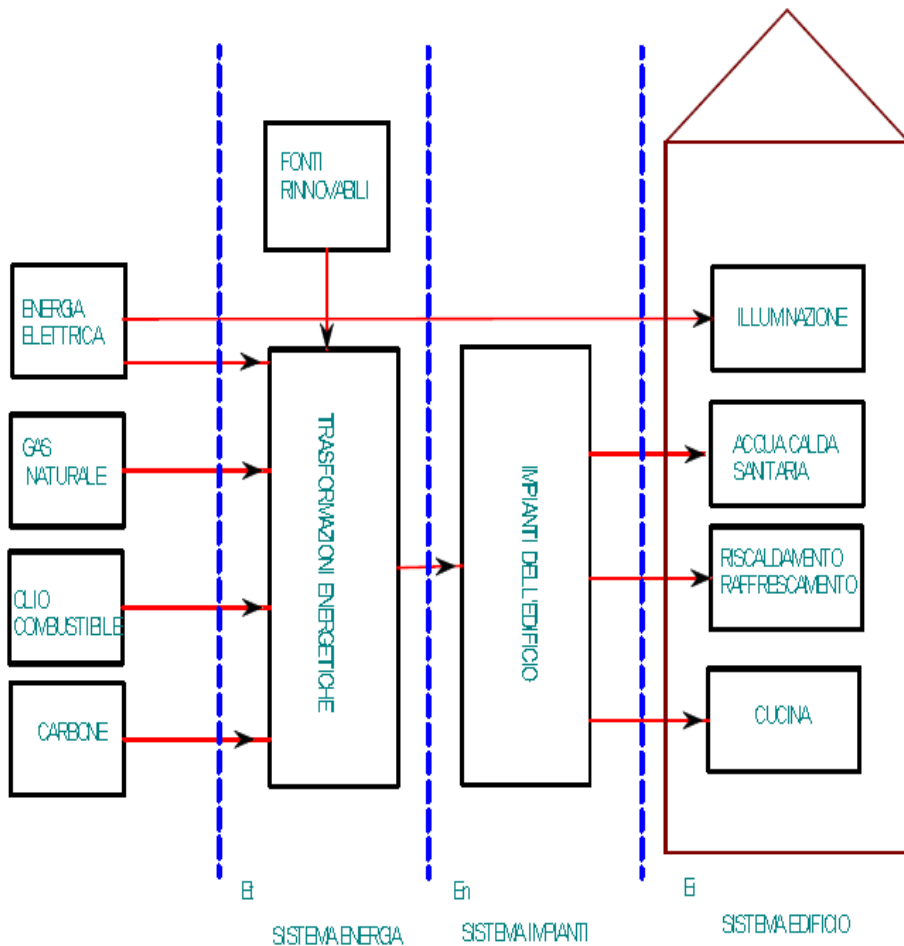


Figura 3.50 Schema edificio-impianto e servizi essenziali

La direttiva prende spunto anche dalla direttiva 2007/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia rinnovabile per promuoverne l'utilizzo in modo da raggiungere il 20 % dell'energia globale consumata entro il 2020.

Entrambi gli interventi, riduzione dei consumi energetici e utilizzo di fonti rinnovabili, prevedono la promozione dell'efficienza energetica nell'edilizia fino al punto da introdurre il concetto di "edifici a energia quasi zero" a partire dal 2020. L'edificio a *energia quasi zero* è un edificio ad altissima prestazione energetica, determinata conformemente all'allegato I della direttiva stessa.

Il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compresa l'energia da fonti rinnovabili prodotta in loco o nelle vicinanze.

Seguendo gli indirizzi normativi comunitari, si è progettata la trasformazione dell'edificio esistente A.L.E.R., "energivoro", in un sistema efficiente dal punto di vista energetico, procedendo su almeno due direttive fondamentali, sinergicamente correlate:

- Rendere l'edificio architettonicamente quanto più passivo possibile, intervenendo sulle componenti architettoniche e sul comportamento energetico dell'edificio, massimizzandone le prestazioni, diventando cioè un collettore naturale di energia solare che, opportunamente canalizzata, può quasi del tutto riscaldare l'edificio;
- Utilizzare il più possibile le FER (fonti di Energia Rinnovabili) con un'impiantistica integrata nell'edificio e rispettosa dell'ambiente.

Infatti, si sono integrati gli impianti con i collettori solari termici e solari fotovoltaici, riqualificato il sistema di produzione di calore con pompe di calore ad alta efficienza, sfruttando quindi ogni possibilità di utilizzo delle fonti di energia rinnovabili.

In sintesi, le azioni progettuali adottate per l'ottenimento del risultato di edificio a energia quasi zero possono così essere elencate:



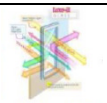






	Isolamento	Miglioramento delle strutture opache disperdenti con l'inserimento del sistema "a cappotto"
	Inerzia termica	Miglioramento della capacità termica dell'edificio a seguito della realizzazione del cappotto e delle caratteristiche termo-dinamiche delle strutture (Sfasamento dell'onda termica contenuto tra 12/14 h, riduzione del fattore di attenuazione e riduzione della trasmittanza periodica)
	Vetri selettivi	Sostituzione dei vetri stratificati doppi con vetri tripli con doppia camera d'aria ad argon e protezione dai raggi solari con filtro esterno basso emissivo
	Controllo solare	Abbinamento di elementi oscuranti fissi ai nuovi serramenti e nuove schermature esterne posizionate al filo esterno della facciata dell'edificio
	HVAC	Installazione di pompe di calore ad assorbimento aria-acqua in luogo della caldaia esistente
	Elettrodomestici	Sostituzione delle vecchie cucine con nuovi piani di cottura a induzione
	Illuminazione	Riqualificazione dell'impianto di illuminazione esterna con l'introduzione di lampade a basso consumo energetico
	Fotovoltaico	Implementazione di due campi fotovoltaici per l'autoconsumo al 100 % dei fabbisogni elettrici del nuovo sistema edificio-impianto
	Solare termico	Installazione in copertura di un impianto solare per la copertura del 70.0 % di fabbisogno energetico per la produzione di acqua calda sanitaria

Tabella 3.22 Azioni progettuali adottate

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei risultati ottenuti dopo la riqualificazione e comparata ai dati storici in precedenza elaborati.

DESCRIZIONE	SIMBOLO	STATO DI FATTO	QUASI ZERO ENERGY	PERCENTUALE RISMARMIO
Fabbisogno termico per riscaldamento	ϕ_{hl}	330 kW	68 kW	94 %
Fabbisogno termico per acs	ϕ_{wl}	810 kW (15 kW · 54 alloggi)		
Fabbisogno di energia utile per riscaldamento	$Q_{H,nd}$	431 kWh/anno	56 kWh/anno	87,7 %
Rendimento globale medio stagionale per riscaldamento	$\eta_{H,g}$	63,3 %	97,9 %	34,6
Fabbisogno di energia primaria per risc.	Q_{pH}	679 kWh/anno	39 kWh/anno	94,3 %
Fabbisogno di energia utile per acs	$Q_{W,nd}$	69 kWh/anno	30 kWh/anno	56,5 %
Rendimento globale medio stagionale per acs	$\eta_{W,g}$	39,6 %	67,4 %	27,8
Fabbisogno di energia primaria per acs	Q_{pW}	174 kWh/anno	45 kWh/anno	74,1 %
Indice di prestazione energetica (Q_{utile}/S)	EP_H	171,53 kWh/m ² anno	17,36 kWh/m ² anno	89,9 %
Classificazione energetica	Classe	F	A	-
Consumo di metano per riscaldamento	-	67.174 Nm ³	3.245 Nm ³	95,2 %
Consumo di metano per acs	-	17.501 Nm ³	3.456 Nm ³	80,3 %
Consumo di energia elettrica	-	5.036 kWh/anno	0 kWh/anno	100 %
Consumi totali di metano	-	91.015 m ³	6.701 m ³	92,6 %
Costo per metano	-	80.093,2 €	5.896,88 €	92,6 %
Consumi totali di energia elettrica	-	164.236 kWh/anno	0 kWh/anno	100 %
Costo per energia elettrica	-	39.416,64 €	0,00 €	100 %
Incidenza per alloggio	-	2.213,15 €	109,20 €	95,1 %

Tabella 3.23 Confronto tra i risultati ottenuti dopo la riqualificazione e quelli storici

La Direttiva 31/2010/Ue nell'accezione più ampia del termine di edificio a consumo quasi zero, riporta che la quantità di energia minima derivante dal calcolo dei consumi deve essere coperta da fonti rinnovabili presenti nelle vicinanze.

Nella fattispecie, vista anche la definizione aleatoria e soggetta a interpretazioni varie, si è ritenuto comunque soddisfatto l'obiettivo della tesi per il raggiungimento di una elevatissima efficienza che si traduce in un consumo di metano che è stato calcolato in 6.701 m³ l'anno, quantità irrisoria rispetto ai fabbisogni e che sfrutta la rete già presente a servizio dell'edificio.

Diversamente, il raggiungimento dell'obiettivo di considerare l'edificio a consumi zero, comporterebbe il ricalcolo dell'impianto fotovoltaico (unica fonte alternativa presente all'interno dell'area di progetto) con l'aggiunta di un considerevole numero di pannelli di cui sarebbe diffoltosa la collocazione.

Il lavoro progettuale svolto ha mostrato in concreto che oggi, con gli strumenti in possesso, e cioè, software di calcolo e di simulazione (Edilclima), apparecchiature di rilevazione dei parametri ambientali (termocamera a raggi infrarossi, termoigrometro, termoflussimetro), materiali isolanti (Pannelli Aeropan) e componenti impiantistici altamente performanti (Pompe di calore reversibili Robur), è possibile ottenere valori di energia primaria prossimi allo zero per il riscaldamento e il raffrescamento degli edifici. Ha anche mostrato però, soprattutto per gli edifici esistenti, che gli importi degli interventi risultano rilevanti e tali da non essere giustificati neppure in presenza di finanziamenti (GSE per l'energia prodotta dai pannelli fotovoltaici). Pertanto si ritiene che, come peraltro richiesto agli Stati membri dalla Direttiva 31/2010/Ue, debbano essere proposti validi strumenti di valutazione dei costi e dei benefici, oltre che dei requisiti minimi per la definizione degli edifici ad energia quasi zero.

Il punto nodale resta dunque la capacità di predisporre forme di finanziamento accessibili a tutti e che abbiano effetto immediato sul contenimento dei costi di realizzazione, sui tempi di ammortamento e, di conseguenza, sulla fattibilità degli interventi di riqualificazione. È impossibile pensare, come nel caso dell'edificio A.L.E.R. preso in esame, che l'azienda, per poter trasformare l'edificio di sua proprietà ad energia quasi zero, debba programmare e sostenere una spesa superiore o pari al 50 % del valore dell'immobile escluso quello dell'area di sedime.

4. Conclusioni

Per ottenere un edificio a energia quasi zero, definito nZEB, occorre far convergere tre strategie: risparmio energetico (edificio e involucro), efficienza energetica (impianti) e produzione di energia da fonti rinnovabili.

Un nZEB (nearly Zero Energy Buildings) deve essere innanzitutto un edificio a bassissimo consumo energetico, possibilmente che rientri nello standard *passivhaus*, di cui si è fatto cenno nell'introduzione del capitolo 3. Ciò significa mettere in atto una serie molto articolata di studi progettuali, che vanno dal controllo degli aspetti relativi alla forma dell'edificio esistente in esame fino al controllo delle scelte tecniche, dei materiali impiegati e degli impianti installati. È necessario procedere a una vera e propria diagnosi per l'individuazione delle patologie di cui è afflitto il sistema edificio-impianto preso in esame, condotta con il buon senso che deve caratterizzare ogni azione progettuale. L'attenzione del tecnico deve riguardare innanzitutto il recupero dell'esistente e agire con l'intento di non stravolge i luoghi trattandosi molte volte di edifici abitati. Altro aspetto, non secondario, riguarda i costi degli interventi che vanno inizialmente a incidere sui condomini a discapito del risparmio energetico che ne deriva a seguito degli interventi di miglioramento.

È possibile osservare che, se da un lato la produzione di energia solare e l'uso di impianti a elevata efficienza (pompe di calore, caldaie ad alta condensazione, impianti di cogenerazione) comporta elevati risparmi energetici in termini di riduzione di energia primaria, da un altro lato l'utilizzo di dette tecnologie non è sufficiente a contrastare gli sprechi imputabili a costruzioni di edifici energivori. Infatti il problema non riguarda la sola efficienza energetica degli impianti, ma un ripensamento complessivo del sistema edificio-impianto. Solo una progettazione rinnovata, che sappia, pur all'interno di un linguaggio e di modalità tecnico-costruttive contemporanee, integrare scelte di ottimizzazione delle risorse locali (climatiche e materiche) può aprire nuovi scenari di eco-efficienza. Per esempio, la bioclimatica, disciplina che ha delineato le strategie relative alla concezione dell'edificio capaci di contenere il fabbisogno di energia e di garantire oltre al risparmio energetico anche elevati livelli di comfort, potrebbe essere uno dei principi informativi di un'attenta progettazione, e ciò anche conseguendo importanti obiettivi di contenimento dei consumi energetici tramite strategie passive, riducendosi drasticamente il ruolo degli impianti (sistemi attivi).

Ritornando al progetto di tesi, il riqualificato sistema edificio-impianto può essere catalogato come *passivhaus* in quanto caratterizzato da un rapporto superficie/volume ottimizzato ($S/V = 0.51 \text{ m}^{-3}$); un iperisolamento dell'involucro opaco; vetrate ad alte prestazioni opportunamente dimensionate e orientate per la captazione solare; assenza di ponti termici; tenuta all'aria dell'involucro; ventilazione meccanica con recuperatore di calore ad alta efficienza. Nonostante l'edificio A.L.E.R. riqualificato possa essere considerato "*passivhaus*", in realtà non si è potuto utilizzare appieno i criteri che sono alla base di questo modello di costruzione, in quanto agendo sull'esistente, si è dovuto approfondire gli aspetti impiantistici a partire dalle apparecchiature della produzione del calore fino al sistema di emissione. In questo caso, non potendo modificare per esempio l'orientamento dell'edificio oppure rivedere in modo sostanziale la disposizione interna delle cellule abitative, in quanto si è operato come dei professionisti che dovevano eseguire un progetto tenendo conto dei vincoli sia logistici (ricollocazione in altri luoghi di 54

famiglie) che economici (costi e tempi di ammortamento), si è studiata l'efficienza e ottimizzati i consumi energetici fondando le scelte e le strategie in gran parte sugli impianti, questi ultimi integrati anche da energia derivante da fonti rinnovabili (collettori solari e pannelli fotovoltaici).

Le tre strategie di cui si parlava poc'anzi, risparmio energetico, efficienza energetica e produzione di energia da fonti rinnovabili, sono state ampiamente rispettate: si è intervenuti sull'involucro edilizio, attraverso il miglioramento delle caratteristiche termoisolometriche, l'eliminazione dei ponti termici, la sostituzione dei serramenti, con l'aggiunta di sistemi di ombreggiamento che riducessero l'incidenza della radiazione solare e quindi il surriscaldamento all'interno degli ambienti, migliorando così il comfort degli spazi confinati; gli impianti esistenti sono stati sostituiti in toto, preferendo sistemi ad alta efficienza energetica, quali pompe di calore reversibili ad assorbimento aria-acqua, caldaie a condensazione, apparecchiature per la ventilazione meccanica controllata, sostituendo i vecchi erogatori di calore con un sistema di riscaldamento e raffrescamento a pavimento; sono state sfruttate, per quanto possibile, le fonti rinnovabili di energia, quella solare, attraverso l'installazione di collettori solari per la produzione di energia per acqua calda sanitaria e di pannelli fotovoltaici per la produzione di energia elettrica.

Grazie a questi interventi, si è riusciti a portare un edificio la cui data di costruzione risale al 1975, ad un consumo di energia quasi zero, con un risparmio energetico pari al 92.1 % rispetto ai consumi storici attuali. Con l'intento di utilizzare il locale tecnico esistente, oggi adibito a centrale termica, e nella progettazione considerato locale tecnologico, vista anche la presenza della rete di adduzione del gas metano, si è optato di sfruttare il solaio di copertura piano per allocarvi il kit di pompe di calore da esterno, e lo spazio interno per posarvi il serbatoio inerziale e i bollitori di stoccaggio di acqua calda sanitaria, collegati ai collettori solari posizionati in copertura tramite l'alveolo tecnico costituito dal cavedio oggi utilizzato per la canna fumaria.

Il risultato conseguito in termini di energia primaria calcolato pari a 6701 m³ di gas metano è rappresentato da un'esigua quantità di energia fornita da fonti fossili; ottemperando in toto le indicazioni della Direttiva 31/2010/UE laddove precisano che "Gli Stati membri incoraggiano, in relazione agli edifici destinati ad una ristrutturazione importante, a valutare e tener presenti i sistemi ad alto rendimento per quanto tecnicamente, funzionalmente ed economicamente fattibile" e definiscono un "edificio a energia quasi zero" come "edificio ad altissima prestazione energetica" in cui "il fabbisogno energetico molto basso o quasi nullo dovrebbe essere coperto in misura molto significativa da energia da fonti rinnovabili, compreso quella prodotta in loco o nelle vicinanze".

Fintanto che non vengono specificati criteri e procedure di calcolo più precisi, si ritiene aver rispettato la locuzione "in misura molto significativa", presente nella sopra citata Direttiva, avendo ridotto i consumi energetici fino al 7.9 % rispetto a quelli attuali, potendo in tal modo considerare il complesso residenziale ad alta efficienza, e quindi ad "energia quasi zero".

Il principio informatore che ha caratterizzato il miglioramento dell'aspetto energetico del complesso residenziale A.L.E.R., e cioè ridurre l'energia primaria a quasi zero per gli usi, quali servizi essenziali, di riscaldamento degli ambienti, di produzione di acqua calda sanitaria e di

raffrescamento degli stessi, viene esteso anche alla progettazione degli spazi pertinenziali e limitrofi all'interno dell'area, non solamente quelli privati, ma anche di contaminazione e pubblici. L'obiettivo zero non è stato raggiunto solo riducendo il fabbisogno energetico del 92.1 %, ma anche creando degli spazi ove le attività fossero gratuite in termini di approvvigionamento, produzione e commercio. Nello specifico, la presenza di orti urbani riduce a zero il costo del trasporto e permette l'immediata fruizione dei residenti e non solo dei prodotti coltivati e raccolti in loco. Il progetto di sistemazione esterna ha avuto anche l'intento di rendere gli spazi vivibili e confortevoli, come la creazione di uno spazio comunitario, quale è la piazza che si crea nell'area prospiciente l'edificio, e la presenza di attività artigianali localizzate al piano terra dello stesso. Aspetti questi ultimi che non rientrano nelle previsioni delle Direttive europee e nelle certificazioni di efficienza energetica, ma che sicuramente non vanno trascurati, qualora il fine ultimo sia, non solo la salvaguardia dell'ambiente e delle risorse ambientali, ma anche la qualità di vita di coloro che vivono i luoghi.

L'obiettivo raggiunto è quello di aver scelto un approccio progettuale concreto e realizzabile che, oltre ad aver finalizzato l'ottenimento di un risparmio energetico tale da considerare il sistema edificio-impianto a energia quasi zero, è capace di interagire con l'ambiente nonostante la presenza di notevoli vincoli dello stato di fatto preso in esame. Il risanamento energetico globale e la riqualificazione architettonica dei luoghi, aspetti trattati in due capitoli distinti, rappresentano in effetti due elementi progettuali che interagiscono strettamente tra di loro creando un continuum sinergico tra ambiente interno ed esterno. Le soluzioni a disposizione erano molteplici, ma quelle scelte restano frutto di ragionamenti improntati sulla semplicità, sulla fattibilità e sulla economicità, intesa come attenzione prestata costantemente sia agli aspetti economici veri e propri che alla realizzazione di opere che ponessero attenzione alle presistenze architettoniche e impiantistiche e alle risorse naturali del luogo.

Normative

D.P.R., Decreto del Presidente della Repubblica 26 agosto 1993, n. 412, Regolamento recante norme per la progettazione, l'installazione, l'esercizio e la manutenzione degli impianti termici degli edifici dei consumi di energia, in attuazione dell'art. 4, comma 4, della L. 9 gennaio 1991, n. 10, Articoli 4 – 9, Allegato A.

Il Protocollo di Kyoto della Convenzione sui Cambiamenti Climatici, 1997.

Direttiva 2002/91/CE, EPBD (Energy Performance Building Directive) del Parlamento europeo e del Consiglio, del 16 dicembre 2002 sul rendimento energetico nell'edilizia.

D.G.R., Deliberazione di Giunta Regionale, n. 322, del 28 febbraio 2005, Linee guida per la valutazione della qualità energetica ed ambientale degli edifici in Toscana, Protocollo ITACA, Regione Toscana.

Decreto Legislativo 19 agosto 2005, n. 192, "Attuazione della direttiva 2002/91/CE relativa al rendimento energetico nell'edilizia".

Direttiva 2006/32/CE, del Parlamento europeo e del Consiglio, del 5 aprile 2006 concernente l'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e recante abrogazione della direttiva 93/76/CEE del Consiglio.

Decreto Legislativo 29 dicembre 2006, n. 311, Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia, Allegato A, Allegato C, Allegato I.

D.G.R., Deliberazione di Giunta Regionale, VIII/5018 del 26 giugno 2007, Determinazioni inerenti la certificazione energetica degli edifici, in attuazione del D Lgs 192/2005 e degli art. 9 e 25 della l.r. 24/2006, Regione Lombardia.

Decreto Legislativo 30 maggio 2008, n. 115, Attuazione della direttiva 2006/32/Ce relativa all'efficienza degli usi finali dell'energia e i servizi energetici e abrogazione della direttiva 93/76/CEE.

D.G.R., Deliberazione di Giunta Regionale, VIII/8745 del 22 dicembre 2008, Determinazioni in merito alle disposizioni per l'efficienza energetica in edilizia e per la certificazione energetica degli edifici, Regione Lombardia.

D.P.R., Decreto del Presidente della Repubblica 2 aprile 2009, n. 59, Regolamento di attuazione dell'articolo 4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia, Articolo 4 comma 4.

Direttiva 2009/28/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 23 aprile 2009 so dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Decreto Ministeriale 26 giugno 2009 – Ministero dello Sviluppo Economico, Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.

Direttiva 2010/31/UE, del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 maggio 2010 sulla prestazione energetica nell'edilizia.

Decreto Legislativo 3 marzo 2011, n. 28, Attuazione della direttiva 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

D.G.R., Deliberazione di Giunta Regionale, IX/2601 del 30 novembre 2011, Disposizioni per l'esercizio, il controllo, la manutenzione e l'ispezione degli impianti termici nel territorio regionale, Regione Lombardia.

D.G.R., Deliberazione di Giunta Regionale, IX/3522 del 23 maggio 2012, Termoregolazione e contabilizzazione autonoma del calore: modifiche ed integrazioni alle disposizioni approvate con DGR 2601/2011, Regione Lombardia.

Norme UNI

UNI/TS 11300-1 (maggio 2008) del 22 luglio 2010, sulle Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.

UNI/TS 11300-2 (maggio 2008) del 25 novembre 2010, sulle Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 2: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione invernale e per la produzione di acqua calda sanitaria.

UNI/TS 11300-3 sulle Prestazioni energetiche degli edifici – Parte 3: Determinazione del fabbisogno di energia primaria e dei rendimenti per la climatizzazione estiva.

UNI/TS 11300-4, 2012 sulle 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.

UNI EN ISO 13790, 2008, Calcolo dei fabbisogni invernali per il settore residenziale e terziario.

UNI EN ISO 6946 del 15 luglio 2008, Linee guida per il calcolo della trasmittanza termica di pannelli prefabbricati di calcestruzzo.

UNI EN ISO 10077-1, febbraio 2002, Prestazione termica di finestre, porte e chiusure oscuranti. Calcolo della trasmittanza termica – Parte 1: Generalità.

UNI 10349, aprile 1994, Riscaldamento e raffrescamento degli edifici. Dati climatici.

UNI EN ISO 13786: 2008, Prestazione termica dei componenti per l'edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo.

UNI 10375, Metodo di calcolo della temperatura interna estiva degli ambienti.

UNI EN ISO 14683, maggio 2008, Ponti termici in edilizia. Coefficiente di trasmissione termica lineica. Metodi semplificati e valori di riferimento.

UNI EN ISO 12831: 2006, Impianti di riscaldamento negli edifici. Metodi di calcolo del carico termico di progetto.

UNI EN ISO 13789: 2008, Prestazione termica degli edifici. Coefficiente di perdita di calore per trasmissione. Metodo di calcolo.

UNI EN ISO 13370: 2001, Prestazione termica degli edifici. Trasferimento di calore attraverso il terreno. Metodo di calcolo.

Bibliografia

Testi

AA.VV., *Abaco dei ponti termici*, Prima revisione del 4 Novembre 2011, CENED.

AA.VV., Guida Regione Lombardia, *Regole per l'efficienza energetica degli edifici*, Guida d'approfondimento tecnico, ANIT, Versione 3, Maggio 2012.

Caffarelli A., de Simone G., *Sistemi fotovoltaici: progettazione e valutazione economica in Conto Energia*, Maggioli Editore, 2008.

Cammarata G., *Impianti termotecnici*, Vol I, Vol II, Università di Catania, Dipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica, sezione di Ingegneria Industriale e ambientale, 2009.

Esposti R., Raisa V., a cura di, *Igrotermia e ponti termici*, ANIT, Vol. 4, TEP srl, Milano, 2009.

Grassi W., Scatizzi G., Venturelli F., *La certificazione energetica degli edifici e degli impianti, Guida tecnica all'applicazione del d.lgs. 192/2005 in materia di rendimento energetico nell'edilizia*, Maggioli Editore, 2006.

Lattanzi V., Soragnese A.R., *Certificazione energetica di edifici e impianti tecnici, Guida all'applicazione della legislazione*, Legislazione Tecnica Editrici, Roma, 2007.

Lavagna M., Bonanomi M., de Flumeri C., *Edifici a consumo energetico zero, Orientamenti normativi, criteri progettuali ed esempi di Zero Energy e Zero Emission Buildings*, Maggioli Editore, 2012.

Lucchi E., *Diagnosi energetica strumentale degli edifici: termografia e analisi non distruttive, normativa e procedure operative*, Dario Flaccovio Editore, Palermo, 2012.

Mammi S., Galbusera G., a cura di, *Il DLgs 311, guida alla nuova legge 10*, ANIT, Vol. 2, TEP srl, Milano, 2007.

Mazzarella L., *Ponti termici ed efficienza energetica: abaco dei ponti termici*, Politecnico di Milano, Dipartimento di Energia, Ottobre 2011.

Olgyay V., *Progettare con il clima, Un approccio bioclimatico al regionalismo architettonico*, Franco Muzzio & C. Editore, 1990.

Sala M., a cura di, Ceccherini Nelli L., D'Audino E., Trombadore A., *Schermature solari*, ALINEA, 2007.

Bollettino dei prezzi informativi delle opere edili, Camera di Commercio Bergamo, n. 2/2011.

Articoli da riviste

AA.VV., Neo-Eubios, n. 18, Gennaio 2007, n. 20, Giugno 2007, n. 21, Settembre 2007, n. 24, Giugno 2008, n. 26, Dicembre 2008, n. 28, Giugno 2009, n. 29, Settembre 2009, n. 33, Settembre 2010, n. 34, Dicembre 2010, n. 36, Giugno 2011.

Boeri S., La Varra S., Palmesino J., Gli spazi pubblici sono delle fiamme, Paesaggio urbano: dossier di cultura e progetto della città, n. 3, 1997, pp. 59-65.

Brandolini S., Esterni e trascurati: Cultura, Costruire, n. 161, pp. 216-219.

Calzolaretti M., Gli interventi di edilizia residenziale in Italia dal secondo dopo guerra a oggi, L'industria delle costruzioni, n. 421, 2011, pp. 4-19.

Capasso A., Commercio e città, Paesaggio urbano, n. 5, Settembre-Ottobre 1994, pp. 14-25.

Cioli S., D'eusebio L., Tutti a zappare!, Bioarchitettura: organo ufficiale dell'Istituto nazionale bioarchitettura, n. 70, 2011, pp. 14-15.

Prestinzenza Puglisi L., Anziani e contesto abitativo: riflessioni sul dimensionamento e la progettazione dei servizi residenziali, Edilizia Popolare, Luglio Ottobre 1993, pp. 228-229.

Santoro M., Assalto all'asfalto: uno zoom sugli orti urbani, Bioarchitettura: organo ufficiale dell'Istituto nazionale bioarchitettura, n. 70, 2011, pp. 10-13.

Manuali e Cataloghi

Manuale programma CENED⁺ versione 1.2.0.

Manuale programma Edilclima, prestazione energetica, versione 4.1.0, moduli ec700, calcolo prestazioni termiche dell'edificio, versione 4.1.0, ec712, solare termico, versione 4.1.0, ec713, solare fotovoltaico, versione 2.3.0.

Catalogo Robur, coscienza ecologica, Soluzioni integrate per il riscaldamento e la climatizzazione con pompe di calore ad assorbimento a metano + energie rinnovabili, Moduli autonomi per il riscaldamento ad aria.

Documentazione A.L.E.R.

Capitolato speciale d'appalto, 1973.

Capitolato speciale d'appalto per la fornitura di serramenti metallici monoblocco, 1976.

Capitolato speciale d'appalto impianti di riscaldamento, 1976.

Elenco dei prezzi unitari, Dicembre 1973.

Elaborati grafici: tavole progettuali, strutturali e impiantistiche.

Serramenti in PVC, Schulz Italia, <http://www.schulzitalia.com/>

Pannelli Fotovoltaici, Eurener, <http://www.eurener.it/>

Collettori Solari, Paradigma Italia, <http://www.paradigmaitalia.it/homepage>

Pompe di calore, Robur, <http://www.robur.it/>

Riscaldamento e raffrescamento a pavimento, RDZ, <http://www.rdz.it/index.php?lang=1>

Pannelli isolanti Aeropan, <http://www.nanotecnologiaitalia.it/1776/aeropan-isolamento-nanotecnologico-semplce/>

Comune di Treviglio, http://www.comune.treviglio.bg.it/?q=content/citta_il_mercato

P.G.T. comune di Treviglio, http://pgt.comune.treviglio.bg.it/?q=content/studio_studio-geologico&t=title

Orti urbani, <http://www.ecoblog.it/>; <http://www.ortiurbani.it/shop/index.php>

Schermature solari, <http://www.marcomenichelli.it/sole.asp>;
<http://europaconcorsi.com/albums/61127-Involucri-edilizi>