

PROF. ING. FRANCESCO MINICIELLO

**DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE - SEZIONE ETEC
UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II**

CARICHI TERMICI INVERNALI

VALUTAZIONE DEL CARICO TERMICO INVERNALE DI UN LOCALE O DI UN EDIFICIO IN CONDIZIONI DI PROGETTO

1. Generalità sul carico termico (fabbisogno termico) degli edifici in condizioni di progetto

La vita dell'uomo (attività lavorativa, tempo libero, riposo) è per lo più svolta in ambienti confinati. Affinché l'uomo si trovi a proprio agio negli ambienti, è necessario che questi abbiano requisiti che permettano di garantire il benessere visivo, acustico e termico, nonché una buona qualità dell'aria interna (IAQ).

In questo paragrafo ci si limita ad esaminare come l'uomo si pone in rapporto all'ambiente confinato per quanto riguarda gli scambi che influenzano le sensazioni di caldo e di freddo; i parametri che influenzano il benessere termico globale delle persone¹ sono:

- t_a ($^{\circ}$ C): temperatura di bulbo asciutto dell'aria in ambiente;
- U.R._a (%): umidità relativa (o grado igrometrico) dell'aria in ambiente;
- w_a (m/s) : velocità dell'aria nella zona occupata dalle persone;
- t_r ($^{\circ}$ C): temperatura media radiante.

Va inoltre rilevato che non è possibile parlare di benessere in ambienti adibiti ad attività dell'uomo senza considerare la qualità dell'aria; strettamente collegata a questo problema è la realizzazione di un adeguato ricambio di aria esterna (m^3/s per persona o m^3/sm^2 di pavimento), in accordo con la UNI 10339.

Il controllo dei parametri sopra indicati, che caratterizzano il “microclima ambientale”, è affrontato in modo passivo, attraverso la realizzazione di adeguati elementi di confine dell'involucro edilizio, ed in modo attivo, mediante opportuni impianti di climatizzazione.

Nel seguito si esamina come l'ambiente interno interagisce con l'esterno scambiando energia termica; all'interno degli ambienti vi è anche apporto massico di vapore ceduto dalle persone o da altre possibili fonti.

Il fabbisogno termico, anche detto *carico termico*, in condizioni di progetto rappresenta la potenza termica che l'impianto deve scambiare con gli ambienti dell'edificio per assicurare le condizioni interne di progetto.

Le potenze termiche da valutare nel calcolo del fabbisogno termico estivo ed invernale riguardano:

- scambi termici tra ambiente interno ed esterno attraverso le superfici di confine opache e

¹ Si ritengono fissati il tipo di attività e l'abbigliamento.

- trasparenti (esclusi gli scambi con il terreno);
- scambi termici tra ambienti interni ed ambienti a temperatura diversa;
- scambi termici conduttori con il terreno;
- scambi termici connessi alle infiltrazioni di aria esterna attraverso l'involucro edilizio (ad esempio, attraverso componenti finestrati, cassonetti, ecc.);
- apporti energetici, in termini di sensibile e di latente, dovuti a persone, macchine, luci.

La valutazione del fabbisogno termico è effettuata calcolando, in condizioni di regime stazionario, le potenze termiche in ingresso ed in uscita dall'involucro, una volta fissate le condizioni di progetto. Fissate le condizioni di progetto interne di benessere termoigometrico e quelle esterne, in regime stazionario deve risultare:

$$\dot{Q}_{\text{entrante}} = \dot{Q}_{\text{uscente}}$$

Gli impianti di climatizzazione, una volta calcolato il fabbisogno termico dell'edificio, consentono di cedere o sottrarre ai vari ambienti la potenza termica necessaria affinché sia verificato il bilancio tra la potenza termica entrante e quella uscente.

Il fabbisogno termico calcolato per le condizioni di progetto non rimane costante, ma cambia al mutare delle condizioni esterne ed interne; gli impianti, di conseguenza, devono poter modulare la fornitura energetica secondo la richiesta.

Nel seguito viene indicata una tecnica abbastanza semplice per la valutazione del carico termico invernale di un edificio in condizioni di progetto. Per semplicità, viene quindi proposta la procedura di calcolo dei carichi termici invernali riportata nella norma UNI 7357, sebbene questa norma sia stata sostituita dalla UNI EN 12831.

2. Carico termico invernale in condizioni di progetto

Il carico termico invernale di un edificio (potenza termica in uscita da un edificio), anche chiamato fabbisogno termico invernale² in condizioni di progetto, viene calcolato effettuando un bilancio di energia termica nelle condizioni di progetto per i vari ambienti che costituiscono l'edificio. Il bilancio viene effettuato nell'unità di tempo, per cui i termini sono potenze termiche. Le condizioni di progetto rappresentano le condizioni per le quali viene effettuato il calcolo ed il conseguente progetto. Nelle condizioni di progetto sono fissate temperatura, umidità relativa, numero di ricambi d'aria, caratteristiche termiche e di permeabilità dell'involucro edilizio, eventuali apporti gratuiti, ecc. Condizioni di progetto fondamentali sono quelle relative ai valori delle

² La potenza termica in uscita da un locale viene indicata con il termine "fabbisogno termico invernale" dalla UNI 7357 ("Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento di edifici").

temperature interna ed esterna; questi sono fissati dalla normativa nel modo seguente:

- temperatura interna t_i ($^{\circ}\text{C}$): DPR 412 art.4 comma 1; risulta $t_i = 20\ ^{\circ}\text{C} + 2\ ^{\circ}\text{C}$ di tolleranza per tutti gli ambienti degli edifici, con esclusione di quelli adibiti ad attività industriali ed artigianali o ad utenze particolari, quali piscine, camere operatorie, ecc.;
- temperatura esterna t_e ($^{\circ}\text{C}$): DPR 1052/77, all.1.

Nella seguente tabella sono riportati i valori della temperatura esterna invernale di progetto per alcune città d'Italia, mentre i valori per tutte le città italiane sono riportati in tab. A (valori tratti dal DPR 1052/77):

LOCALITÀ	t_e ($^{\circ}\text{C}$)
Torino	-8
Milano	-5
Roma	0
Napoli	+2
Palermo	+5

Il carico termico (fabbisogno termico) invernale in condizioni di progetto rappresenta la potenza termica che l'impianto deve fornire agli ambienti dell'edificio per assicurare le condizioni interne di progetto. In condizioni di progetto vale la relazione:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_u$$

in cui:

Q_u rappresenta la potenza termica uscente dagli ambienti;

Q_e rappresenta la potenza termica entrante, ossia che l'impianto deve cedere agli ambienti per bilanciare la potenza termica uscente.

La potenza termica uscente Q_u risulta complessivamente costituita dai seguenti termini:

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_{tot} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3 + \dot{Q}_4 \quad (2.1)$$

in cui:

Q_1 (W; kcal/h) è la potenza termica in uscita per trasmissione attraverso le varie superfici che delimitano dall'esterno le aree riscaldate dell'involucro edilizio;

Q_2 (W; kcal/h) è la potenza termica in uscita per trasmissione attraverso le varie superfici che separano gli ambienti riscaldati dagli ambienti non riscaldati;

Q_3 (W; kcal/h) è la potenza termica in uscita per trasmissione attraverso i ponti termici;

Q_4 (W; kcal/h) è la potenza termica dispersa per ventilazione.

Tabella A: condizioni invernali di progetto (temp. da DPR 1052/77; GG da DPR 412/93)

CITTA'	GRADI GIORNO	ALTIT.	TEMP.	CITTA'	GRADI GIORNO	ALTIT.	TEMP.
TORINO	2617	239	-8	ANCONA	2188	16	-2
ALESSANDRIA	2559	95	-8	ASCOLI PICENO	1698	154	-2
ASTI	2617	123	-8	MACERATA	2005	315	-2
CUNEO, città	3012	534	-10	PESARO	2083	11	-2
CUNEO valle			-15	FIRENZE	1821	50	0
NOVARA	2463	159	-5	AREZZO	2104	296	0
VERCELLI	2751	130	-7	GROSSETO	1550	10	0
AOSTA	2850	583	-10	LIVORNO	1408	3	0
AOSTA, valle			-15	LUCCA	1715	19	0
GENOVA	1435	19	0	MASSA CARRARA	1601	100	0
IMPERIA	1201	10	0	PISA	1694	4	0
LA SPEZIA	1413	3	0	SIENA	1943	322	-2
SAVONA	1481	4	0	PERUGIA	2289	493	-2
MILANO	2404	122	-5	TERNI	1650	130	-2
BERGAMO	2533	249	-5	ROMA	1415	20	0
BRESCIA	2410	149	-7	FROSINONE	2196	291	0
COMO, città	2228	201	-5	LATINA	1220	21	2
COMO, prov.			-7	RIETI	2324	495	-3
CREMONA	2389	45	-5	VITERBO	1989	326	-2
MANTOVA	2388	19	-5	NAPOLI	1034	17	2
PAVIA	2623	77	-5	AVELLINO	1742	348	-2
SONDRIO	2755	307	-10	BENEVENTO	1316	135	-2
ALTA VALTELLINA			-15	CASERTA	1013	68	0
VARESE	2652	382	-5	SALERNO	994	4	2
TRENTO	2567	194	-12	L'AQUILA	2514	714	-5
BOLZANO	2791	262	-15	CHIETI	1556	330	0
VENEZIA	2345	1	-5	PESCARA	1718	4	2
BELLUNO	2938	383	-10	TERAMO	1834	255	0
PADOVA	2383	12	-5	CAMPOBASSO	2346	701	-4
ROVIGO	2466	7	-5	BARI	1185	5	0
TREVISO	2378	15	-5	BRINDISI	1083	15	0
VERONA, città	2008	59	-5	FOGGIA	1530	76	0
VERONA, lago			-3	LECCE	1153	49	0
VERONA, monti			-10	TARANTO	1071	15	0
VICENZA, città	2371	39	-5	POTENZA	2472	819	-3
VICENZA, monti			-10	MATERA	1418	200	-2
TRIESTE	1929	2	-5	REGGIO CALABRIA	772	15	3
GORIZIA	2333	84	-5	CATANZARO	1328	320	-2
PORDENONE	2459	24	-5	COSENZA	1317	238	-3
UDINE	2323	13	-5	PALERMO	751	14	5
ALTA CARNIA			-10	AGRIGENTO	729	230	3
TARVISIO	3959	732	-5	CALTANISSETTA	1550	568	0
BOLOGNA	2259	54	-5	CATANIA	833	7	5
FERRARA	2326	9	-5	ENNA	2248	931	-3
FORLI'	2087	34	-5	MESSINA	707	3	5
MODENA	2258	34	-5	RAGUSA	1324	502	0
PARMA	2502	57	-5	SIRACUSA	799	17	5
PIACENZA, città	2710	61	-5	TRAPANI	810	3	5
PIACENZA, prov.			-7	CAGLIARI	998	4	3
RAVENNA	2227	4	-5	NUORO	1602	546	0
REGGIO EMILIA	2560	58	-5	SASSARI	1185	225	2

Si noti che la norma UNI 7357 non considera, nel calcolo del fabbisogno termico degli ambienti, termini sottrattivi dovuti ad apporti energetici gratuiti, in quanto tali apporti non sono costantemente presenti (radiazione solare, luci, occupanti, macchine, ecc.). Potrebbe essere conveniente, per ridurre la potenzialità del generatore di energia termica, considerare gli apporti gratuiti solo nei casi in cui essi sono sempre presenti e costanti nel tempo (esempio: impianto di riscaldamento ad aria per ambienti in cui si svolge un processo con cessione di energia termica, nel caso in cui l'impianto sia funzionante solo durante lo svolgimento del processo stesso); comunque la UNI 7357 non prevede il contributo degli apporti gratuiti nel calcolo del carico termico (fabbisogno termico) invernale.

Prima di esaminare le procedure di calcolo dei vari termini della (2.1), è importante evidenziare che la potenza termica dispersa, corrispondente alla potenza termica che l'impianto deve fornire, è automaticamente limitata se si seguono le attuali prescrizioni legislative riguardanti il sistema edificio-impianti e finalizzate al contenimento dei consumi energetici (limitazione dei valori della trasmittanza termica unitaria dei componenti opachi e trasparenti disperdenti nel caso di ristrutturazioni, limitazione del valore del parametro EPi nel caso di edificio di nuova costruzione).

1) Potenza termica Q_1 dispersa per trasmissione verso l'esterno

La Q_1 è qui calcolata utilizzando i dati e le relazioni indicati nelle norme UNI 7357, UNI 10077-1 (riguardo alla trasmittanza dei componenti finestrati), UNI 10351 (riguardo alle caratteristiche termo-fisiche dei materiali da costruzione) e UNI 10355 (riguardo alla resistenza termica della zona latero-cementizia dei solai).

In particolare, in funzione delle caratteristiche dell'involucro, la potenza Q_1 può essere costituita dalle seguenti aliquote:

Q_{1-1} : potenza termica dispersa attraverso le superfici opache e trasparenti che delimitano la zona riscaldata;

Q_{1-2} : potenza termica dispersa attraverso superfici a contatto con il terreno.

Calcolo di Q_{1-1}

In base alla UNI 7357, la potenza termica Q_{1-1} dispersa per trasmissione attraverso tutti i componenti opachi e trasparenti rivolti verso l'ambiente esterno, è pari a:

$$\dot{Q}_{1-1} = \sum_{i=1}^n \dot{Q}_{1-1,i} \quad (2.2)$$

in cui:

n è il numero di superfici opache e trasparenti che delimitano dall'esterno la zona riscaldata;
 $Q_{1-1,i}$ è la potenza termica dispersa per trasmissione attraverso la generica superficie opaca o trasparente di area A_i .

A sua volta la $Q_{1-1,i}$, in condizioni di regime stazionario ed in base alla UNI 7357, è pari a:

$$\dot{Q}_{1-1,i} = U_i \cdot A_i \cdot (t_i - t_e) \cdot f_i = \frac{A_i \cdot (t_i - t_e) \cdot f_i}{R_i} \quad (2.3)$$

in cui:

t_i = temperatura interna di progetto della zona riscaldata, °C (DPR 412/93, art.4 comma1);

t_e = temperatura esterna di progetto, °C (tab. A, valori tratti dal DPR 1052/77, all.1);

f_i = coefficiente maggiorativo per esposizione (UNI 7357, par.9); tale coefficiente, riportato nella tabella sottostante, è compreso per superfici verticali tra 1,05 e 1,20, ed è pari ad 1 per superfici orizzontali;

Esposizione	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE
Coefficiente f	1	1,02-1,05	1,05-1,10	1,10-1,15	1,15-1,20	1,15-1,20	1,10-1,15	1,05-1,10

A_i = area della generica superficie di scambio i, m^2 ;

U_i = trasmittanza termica unitaria (o coefficiente globale di scambio termico) dell'i-esimo componente opaco o trasparente, W/m^2K ($kcal/hm^2°C$), successivamente richiamata;

$R_i = 1/U_i$ = resistenza termica unitaria dell'i-esimo componente opaco o trasparente, m^2K/W ($hm^2°C/kcal$).

Il calcolo della trasmittanza termica unitaria U (talvolta indicata con K) per componenti opachi viene effettuato usando la relazione (2.4):

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{k=1}^n \frac{s_k}{\lambda_k} + \sum_{j=1}^m \frac{1}{C_j} + \frac{1}{h_e}} \quad (2.4)$$

in cui:

n è il numero di strati omogenei che compongono la parete;

s_k è lo spessore del generico strato omogeneo k, m;

λ_k è la conduttività utile di calcolo del generico strato omogeneo k, W/mK ($kcal/hm^2°C$) - talvolta tale conduttività è indicata con la lettera k;

m è il numero di eventuali intercapedini e strati non omogenei presenti nella parete;

C_j è la conduttanza termica unitaria del generico strato non omogeneo o intercapedine, $\text{W/m}^2\text{K}$ ($\text{kcal}/\text{hm}^2\text{C}$);

h_i è la conduttanza unitaria superficiale interna (anche talvolta chiamata adduttanza), usualmente posta pari a posta pari a $7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per pareti verticali;

h_e è la conduttanza unitaria superficiale esterna, usualmente posta pari a posta pari a $25 \text{ W/m}^2\text{K}$ per pareti verticali.

Si noti che: la conduttanza unitaria superficiale talvolta è chiamata adduttanza; i valori di h , λ e C possono essere leggermente diversi a seconda della norma o della fonte che si usa, ma i risultati ottenuti sono generalmente molto simili o pressoché coincidenti.

Il calcolo della trasmittanza termica unitaria U per componenti finestrati andrebbe effettuato in base alla UNI 10077-1. Per semplicità, ma solo in prima approssimazione e quindi non in ottemperanza alla normativa vigente, si possono utilizzare i valori di massima della trasmittanza termica unitaria U_w per componenti finestrati, riportati nella seguente tabella B, valida per infissi in cui il rapporto tra la superficie vetrata e la superficie totale è compresa tra 0,7 e 0,8 (fonte: A. Carotenuto, F. Cascetta, A. Cesarano, O. Manca, Fondamenti di Termofisica dell'Edificio, Ed. E.D.I.S.U., Napoli 1990).

Tabella B:

Tipo di vetro	Spessore dell'eventuale intercapedine [mm]	Materiale del telaio	Infisso verticale o inclinato con angolo maggiore di 60° $U_w [\text{W/m}^2/\text{K}]$	Infisso orizzontale o inclinato con angolo minore di 60° $U_w [\text{W/m}^2/\text{K}]$
Vetro semplice	-	Legno	5,0	5,5
	-	Metallo	5,8	6,5
Vetro doppio	6	Legno	3,3	3,5
	5-7	Metallo	4,0	4,3
	8	Legno	3,1	3,3
	7-9	Metallo	3,9	4,2
	10	Legno	3,0	3,2
	9-11	Metallo	3,8	4,1
	12	Legno	2,9	3,1
	11-13	Metallo	3,7	4,0
Doppio infisso	Distanza tra gli infissi > 30 cm	Legno	2,6	2,7
		Metallo	3,0	3,2

Una ulteriore alternativa, se applicabile, consiste nell'utilizzare i valori di trasmittanza termica unitaria forniti dalle case costruttrici di componenti finestrati.

Calcolo di $Q_{1 \cdot 2}$

In base alla UNI 7357, la potenza termica $Q_{1 \cdot 2}$ dispersa per trasmissione verso il terreno è calcolata in modo differente a seconda che si tratti di pareti addossate al terreno o di pavimenti poggiati sul terreno.

Pareti addossate al terreno

La potenza termica dispersa per trasmissione attraverso ciascuna parete è proporzionale alla differenza tra la temperatura di progetto interna ed esterna, secondo la relazione (2.5):

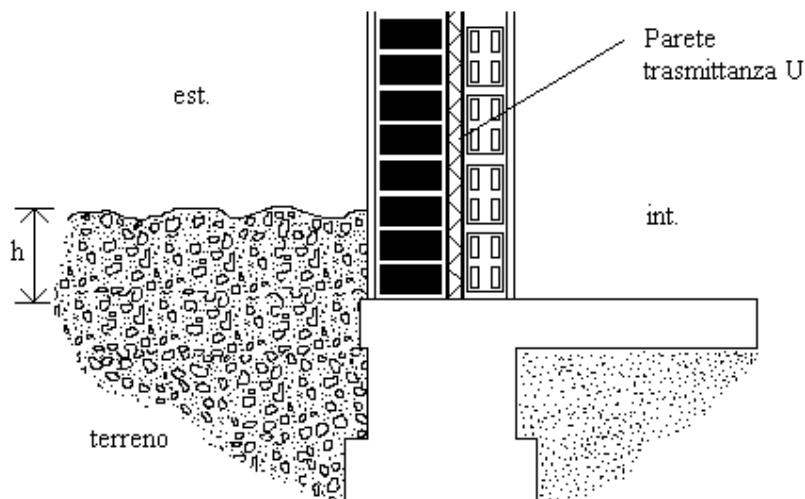


Figura 2.1 Parete addossata al terreno

$$\dot{Q}_{1 \cdot 2} = U_1 \cdot A \cdot (t_i - t_e) \quad (2.5)$$

in cui:

A è l'area della parte interrata della parete, m^2 ;

U_1 è una trasmittanza termica unitaria fittizia, $\text{W/m}^2\text{K}$ ($\text{kcal}/\text{hm}^2\text{C}$), valutata secondo la relazione:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{h}{\lambda}} \quad (2.6)$$

in cui:

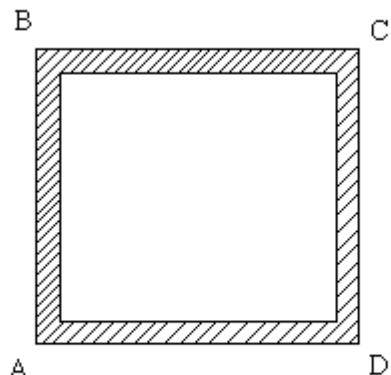
U è la trasmittanza termica unitaria della parete, $\text{W/m}^2\text{K}$ ($\text{kcal}/\text{hm}^2\text{C}$);

h è la profondità della parte interrata, m ;

λ' è la conduttività del terreno umido, posta pari a circa $2,9 \text{ W/mK}$ ($2,5 \text{ kcal}/\text{hm}^\circ\text{C}$).

Pavimenti posati sul terreno

La potenza termica dispersa per trasmissione attraverso pavimenti posati sul terreno è somma di due aliquote, una verso l'ambiente esterno, l'altra verso il sottosuolo.



$$P = \text{perimetro} = \overline{AB} + \overline{BC} + \overline{CD} + \overline{DA}$$

Figura 2.2 Perimetro dei muri verticali esterni di un locale

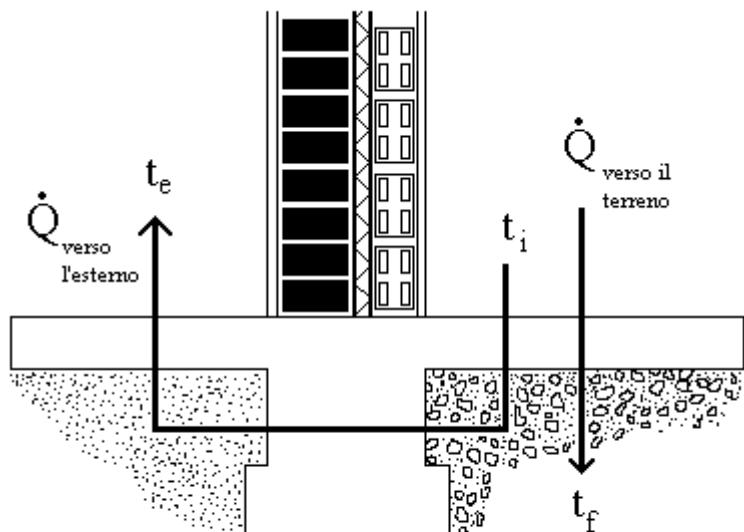


Figura 2.3 Dispersione termica - 2 aliquote

Le dispersioni verso l'ambiente esterno sono proporzionali alla differenza di temperatura ($t_i - t_e$) ed interessano una striscia di pavimento adiacente ai muri esterni (se il pavimento è alla quota del terreno circostante), o ai muri interrati (se si tratta del pavimento di un locale parzialmente o totalmente interrato). Detta P la lunghezza in metri dei suddetti muri, misurata all'interno del locale, la potenza termica $Q_{1-2,o}$ dispersa verso l'ambiente esterno vale:

$$\dot{Q}_{1-2,o} = P \cdot (2 - h) \cdot U_1 \cdot (t_i - t_e) \quad (2.7)$$

in cui:

h è la profondità del pavimento rispetto al terreno circostante, m;

U_1 è la trasmittanza termica unitaria fittizia valutata come:

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{2}{\lambda'}} \quad (2.8)$$

dove:

U è la trasmittanza termica unitaria del pavimento, W/m²K (kcal/hm²°C);

λ' è la conduttività del terreno umido, posta pari a circa 2,9 W/mK (2,5 kcal/hm°C).

L'aliquota di potenza termica dispersa dal pavimento verso il sottosuolo è proporzionale alla differenza tra temperatura t_i della zona riscaldata e la temperatura dell'acqua delle falde superficiali (10÷15 °C); la superficie interessata è in questo caso l'intera superficie del pavimento, quale che sia la sua quota rispetto al terreno circostante.

$$\dot{Q}_{PAV-TERRENO} = U_1 \cdot A_{PAV} \cdot (t_i - t_{FALDA}) \quad (2.9a)$$

Detta U la trasmittanza termica unitaria del pavimento e C la conduttanza termica unitaria del terreno, si usa la seguente trasmittanza termica unitaria fittizia U_1 :

$$U_1 = \frac{1}{\frac{1}{U} + \frac{1}{C}} \quad (2.9b)$$

In condizioni di regime stazionario un valore accettabile di C è compreso tra 1,2 e 2,3 W/m²K (tra 1 e 2 kcal/hm²°C).

2) Potenza termica Q_2 dispersa per trasmissione verso ambienti non riscaldati

In base alla UNI 7357, la potenza termica dispersa verso ciascun ambiente non riscaldato è pari a:

$$\dot{Q}_2 = U \cdot A(t_i - t_u) \quad (2.10)$$

in cui:

U è la trasmittanza unitaria della parete tra la zona riscaldata e quella non riscaldata, W/m²K (kcal/hm²°C);

A è l'area della parete tra la zona riscaldata e quella non riscaldata, m²;

t_i è la temperatura della zona riscaldata, °C (DPR 412/93, art.4 comma1);

t_u è la temperatura della zona non riscaldata, °C, ricavabile dal par.5.2.1.2 della UNI 7357; i valori di t_u sono riportati nella tabella sottostante.

Tabella C: valori della temperatura approssimativa dei locali non riscaldati (tratti dalla UNI 7357)

Destinazione d'uso dell'ambiente esaminato	Temp. °C	Correzioni da apportare	
		Se t_i è diversa da 20 °C	Se t_e è diversa da -5 °C
Cantine con serramenti aperti	-2	$(t_i - 20) \times 0,1$	$(t_e + 5) \times 0,9$
Cantine con serramenti chiusi	5	$(t_i - 20) \times 0,4$	$(t_e + 5) \times 0,6$
Sottotetti non plafonati con tegole non sigillate	Temp. Est.		
Sottotetti non plafonati con tegole ben sigillate	-2	$(t_i - 20) \times 0,1$	$(t_e + 5) \times 0,9$
Sottotetti plafonati	0	$(t_i - 20) \times 0,2$	$(t_e + 5) \times 0,8$
Locali con tre pareti esterne provviste di finestre	0	$(t_i - 20) \times 0,2$	$(t_e + 5) \times 0,8$
Locali con tre pareti esterne di cui una con finestra o con due pareti esterne entrambe con finestre	5	$(t_i - 20) \times 0,4$	$(t_e + 5) \times 0,6$
Locali con tre pareti esterne senza finestre	7	$(t_i - 20) \times 0,5$	$(t_e + 5) \times 0,5$
Locali con due pareti esterne senza finestre	10	$(t_i - 20) \times 0,6$	$(t_e + 5) \times 0,4$
Locali con una parete esterna provvista di finestre	10	$(t_i - 20) \times 0,6$	$(t_e + 5) \times 0,4$
Locali con una parete esterna senza finestre	12	$(t_i - 20) \times 0,7$	$(t_e + 5) \times 0,3$
Appartamenti vicini non riscaldati:			
• Sottotetto	2	$(t_i - 20) \times 0,3$	$(t_i + 5) \times 0,7$
• Ai piani intermedi	7	$(t_i - 20) \times 0,5$	$(t_i + 5) \times 0,5$
• Al piano più basso	5	$(t_i - 20) \times 0,4$	$(t_i + 5) \times 0,6$
Gabbie scala con parete esterna e finestre ad ogni piano-porta di ingresso al piano terra chiusa:			
• Al piano terra	2	$(t_i - 20) \times 0,3$	$(t_i + 5) \times 0,7$
• Ai piani sovrastanti	7	$(t_i - 20) \times 0,5$	$(t_i + 5) \times 0,5$
Gabbie scala con parete esterna e finestre ad ogni piano-porta di ingresso al piano terra aperta:			
• Al piano terra	-2	$(t_i - 20) \times 0,5$	$(t_i + 5) \times 0,9$
• Ai piani sovrastanti	2	$(t_i - 20) \times 0,3$	$(t_i + 5) \times 0,7$

Esempio: valutazione della temperatura di una cantina con serramenti chiusi a Napoli ($t_e = 2$ °C), nel caso in cui i locali riscaldati abbiano temperatura di 21 °C.

Risoluzione: $T_u = 5 + (21 - 20) \times 0,4 + (2 + 5) \times 0,6 = 5 + 0,4 + 4,2 = 9,6$ °C.

3) Potenza termica Q_3 dispersa per trasmissione attraverso i ponti termici

L'involucro degli edifici non è costituito solo da pareti piane in cui lo scambio termico si può ipotizzare per semplicità di calcolo, oltre che in condizioni di regime stazionario, anche in condizioni di flusso monodimensionale; esistono anche zone anomale della struttura in cui sicuramente il flusso non è ipotizzabile come monodimensionale, bensì bidimensionale o tridimensionale. In corrispondenza di queste zone (pilastri, spigoli, ecc.) lo scambio termico risulta maggiore rispetto alla condizione di flusso monodimensionale; per questo motivo tali zone vengono definite ponti termici.

In base alla UNI 7357, la potenza termica dispersa per trasmissione attraverso i ponti termici è pari a:

$$\dot{Q}_3 = \sum_{i=1}^n L_i \cdot \psi_i \cdot (t_i - t_e) \quad (2.11)$$

in cui:

n è il numero di ponti termici;

L_i è la lunghezza del generico ponte termico, m;

ψ_i è la trasmittanza termica lineare o coefficiente termico di dispersione, W/mK (kcal/hm°C).

I valori di ψ_i sono ricavabili dal foglio aggiuntivo FA-3 alla UNI 7357.

È importante precisare che generalmente la potenza termica dispersa attraverso i ponti termici corrisponde a circa il 10÷20% della potenza termica dispersa per trasmissione attraverso componenti opachi e trasparenti, in funzione del minore o maggiore isolamento dell'involucro edilizio. E' possibile pertanto con procedimento più rapido calcolare la potenza termica dispersa attraverso i ponti termici come percentuale di $Q_1 + Q_2$: si tratta ovviamente di una procedura approssimata, quindi non in ottemperanza alla norma vigente.

4) Potenza termica Q_4 dispersa per ventilazione

In tutti gli ambienti entra una certa portata d'aria esterna di rinnovo dovuta o ad infiltrazioni attraverso fessure o all'apertura saltuaria di porte e finestre.

La potenza termica necessaria per portare la suddetta aria esterna alla temperatura dell'ambiente riscaldato (potenza termica Q_4 dispersa per ventilazione, anche detta carico termico di ventilazione) è pari a:

$$\dot{Q}_4 = \dot{V}_a \cdot c_{pv} \cdot (t_i - t_e) = V \cdot n \cdot c_{pv} \cdot (t_i - t_e) = V \cdot n \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_i - t_e) \quad (2.12)$$

in cui:

Q_4 è la potenza termica dispersa per ventilazione, W (kcal/h);

V_a è la portata di aria esterna in ingresso, m^3/s (m^3/h);

V è il volume netto della zona riscaldata, m^3 ;

n è il numero di volumi di aria esterna di ricambio, s^{-1} (h^{-1});

c_p è la capacità termica massica (calore specifico) a pressione costante dell'aria, posta pari a 1.000 J/kgK (0,24 kcal/kg°C);

ρ è la densità dell'aria, posta pari a 1,2 kg/m³;

$c_{pv} = \rho \cdot c_p$ è la capacità termica unitaria volumica (calore specifico riferito all'unità di volume) a pressione costante dell'aria, posta pari a 1.200 J/m³K \cong 0,29 kcal/m³°C.

Esempio di calcolo della potenza termica dispersa per ventilazione

Si calcoli la potenza termica dispersa per ventilazione per un locale con le seguenti caratteristiche e condizioni di progetto:

- luogo: Milano ($t_e: -5$ °C)

- $t_i: 20$ °C

- volume del locale: 500 m³

- aria esterna di ricambio: $n = 0,5 h^{-1}$ (valore medio usuale).

Dai dati assegnati risulta che la portata d'aria esterna in ingresso al locale vale:

$$V = n \cdot V = 0.5 \cdot 500 = 250 \text{ m}^3/\text{h} = 250/3600 \text{ m}^3/\text{s} = 0.0694 \text{ m}^3/\text{s}$$

Pertanto, in base alla (2.12), la potenza termica dispersa per ventilazione è pari a:

$$Q_v = Q_4 = V \cdot n \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_i - t_e) = 500 \cdot (0.5/3.600) \cdot 1000 \cdot 1.2 \cdot [20 - (-5)] = 2083 \text{ W}$$

Potenza termica totale dispersa (carico termico totale)

La potenza termica totale dispersa in regime invernale, in base alla (2.1), si può quindi così valutare:

Potenza termica dispersa verso l'esterno attraverso componenti opachi e trasparenti	Q_1 (W)
Potenza termica dispersa verso locali non riscaldati attraverso componenti opachi e trasparenti	Q_2 (W)
Potenza termica dispersa attraverso i ponti termici	Q_3 (W)
Potenza termica complessiva dispersa per trasmissione	$Q_T =$ $Q_1+Q_2+Q_3$ (W)
Potenza termica dispersa per ventilazione	$Q_v =$ Q_4 (W)
Potenza termica totale dispersa	$Q_{TOT} = Q_T + Q_v =$ $Q_1+Q_2+Q_3+Q_4$ (W)

Per un calcolo di prima approssimazione o per verificare che l'ordine di grandezza del risultato ottenuto sia esatto, si può considerare la potenza termica totale dispersa per unità di volume, Q_{TOT}/V (W/m^3); i valori usualmente ricavati nella progettazione per edifici siti a Napoli e dintorni oscillano tra 10 e 20 W/m^3 .

3. Esempi di calcolo del carico termico invernale di un locale o di un edificio in condizioni di progetto

3.1 Esempio di calcolo semplificato

Rimandando al paragrafo successivo per lo sviluppo di un esempio di calcolo in dettaglio, si riporta ora un esempio semplificato di calcolo di tale fabbisogno.

Dati:

Si calcoli la potenza termica necessaria per il riscaldamento di un generico ambiente con le seguenti caratteristiche e condizioni di progetto:

- luogo: Milano
- t_a : 20 °C
- t_e : -5 °C
- area ambiente: 25 m^2
- volume ambiente: 75 m^3
- superfici opache di confine con l'esterno (esp. Nord): muratura di area 13 m^2 con trasmittanza termica unitaria $U = 0,70 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$;
- superfici trasparenti di confine con l'esterno (esp. Nord): vetro semplice di area pari a 2 m^2 con trasmittanza termica unitaria $U = 5,8 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$
- solaio di copertura: $U = 0,8 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$

Altri dati:

- tutti gli altri locali confinanti sono riscaldati alla temperatura di 20 °C;
- si valuti, in prima approssimazione, la potenza termica dispersa attraverso i ponti termici come pari al 15% di (Q_1+Q_2) ;
- aria esterna di ricambio: $n= 0,5 \text{ h}^{-1}$

Risoluzione:

Il calcolo viene effettuato utilizzando le relazioni riportate al par. 2 (fabbisogno termico invernale).

Dalla relazione (2.1) risulta:

$$Q_u = Q_{TOT} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4;$$

In particolare, nel caso in esame si ottiene quanto segue.

1) In base alle (2.2) e (2.3) risulta:

$$Q_{1,muratura} = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \cdot f = 0,7 \cdot 13 \cdot [20 - (-5)] \cdot 1,20 = 273 \text{ W}$$

$$Q_{1,vetro} = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \cdot f = 5,8 \cdot 2 \cdot [20 - (-5)] \cdot 1,20 = 348 \text{ W}$$

$$Q_{1,copertura} = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \cdot f = 0,8 \cdot 25 \cdot [20 - (-5)] = 500 \text{ W}$$

$$Q_{1,complessiva} = 273 + 348 + 500 = 1121 \text{ W}$$

Si noti che, pur essendo la parete opaca di area maggiore più di 6 volte rispetto a quella della parte trasparente, la potenza termica dispersa verso l'esterno attraverso la superficie vetrata è maggiore. Le superfici trasparenti, essenziali per l'illuminazione mediante luce naturale e quindi per una migliore vivibilità degli spazi confinati, sono agli effetti termici (ed anche acustici) degli elementi di debolezza dell'involucro edilizio.

2) $Q_2 = 0$ poiché tutti gli altri locali confinanti sono riscaldati alla temperatura di 20 °C.

3) $Q_3 = 0.15 \cdot 1121 = 168 \text{ W}$

4) In base alla (2.7) risulta:

$$Q_4 = V \cdot n \cdot c_p \cdot \rho \cdot (t_i - t_e) = 75 \cdot (0.5/3.600) \cdot 1000 \cdot 1.2 \cdot [20 - (-5)] = 316 \text{ W}$$

Dalla (2.1) risulta pertanto:

$$Q_u = Q_{TOT} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 1121 + 0 + 168 + 316 = 1605 \text{ W}$$

Il carico termico per unità di volume risulta pari a: $1605 / 75 = 21.4 \text{ W/m}^3$.

3.2 Esempio di calcolo dettagliato

Si fa riferimento all’edificio rappresentato in pianta, in sezione ed in assonometria nelle figg. 3.1, 3.2 e 3.3, riportate nelle pagine successive. Le caratteristiche principali del sistema edificio-impianto sono di seguito riportate.

- L’edificio in esame ha quattro piani, di cui tre adibiti ad appartamenti ed il piano terra adibito a deposito.
- L’edificio, destinato a residenza con carattere continuativo, è classificato come edificio del tipo E.1(1) in base all’art.3 del DPR 412/93; pertanto si ha che:
 - il valore massimo della temperatura media ambiente per i locali riscaldati è pari a $20\text{ }^{\circ}\text{C} + 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ di tolleranza (DPR 412/93, art.4 comma 1);
- È presente un impianto di riscaldamento centralizzato a servizio degli appartamenti (due per piano), mentre il piano terra ed il vano scala non sono riscaldati.

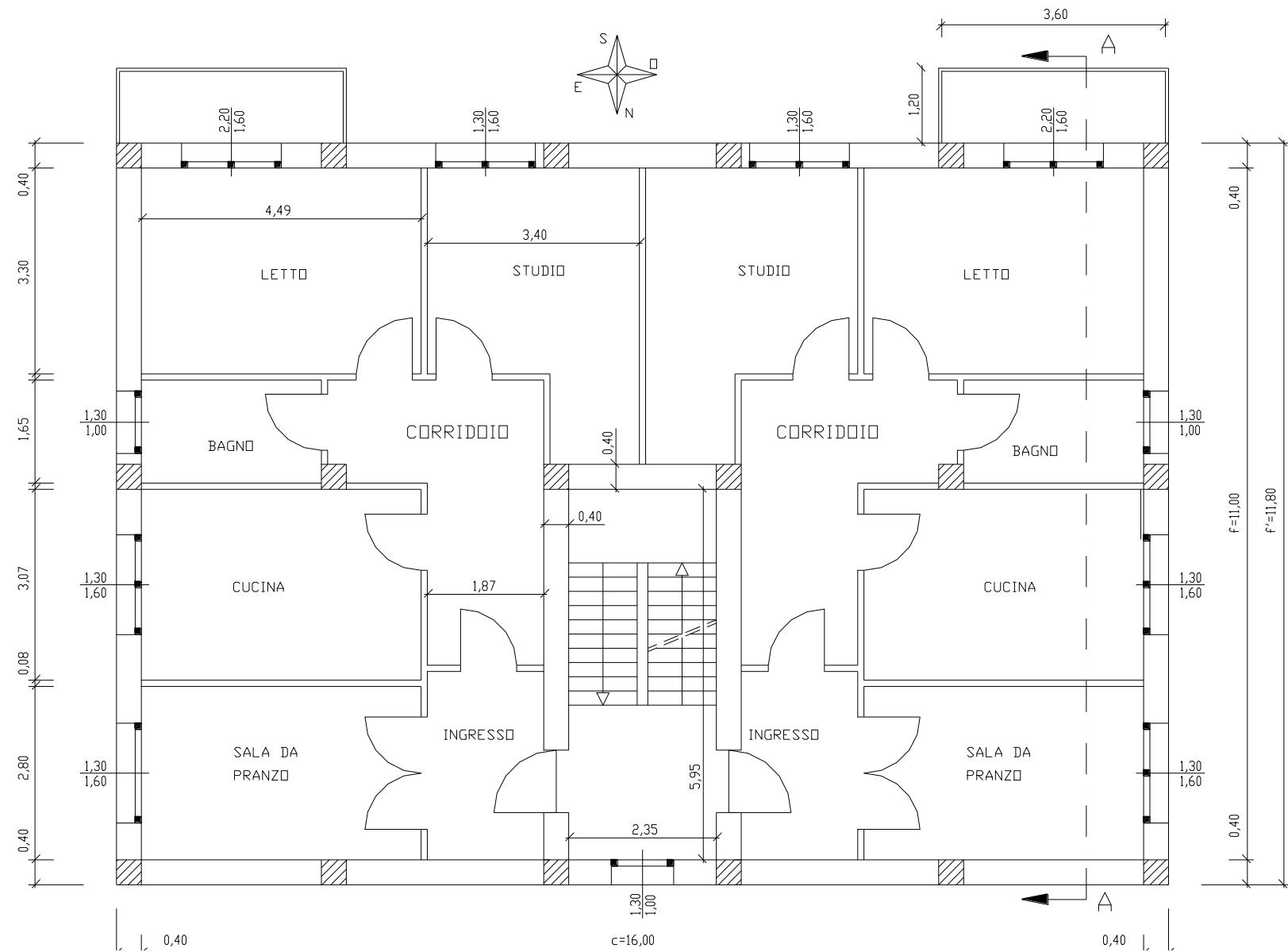


Figura 3.1 Pianta piano primo
(Scala 1:100)

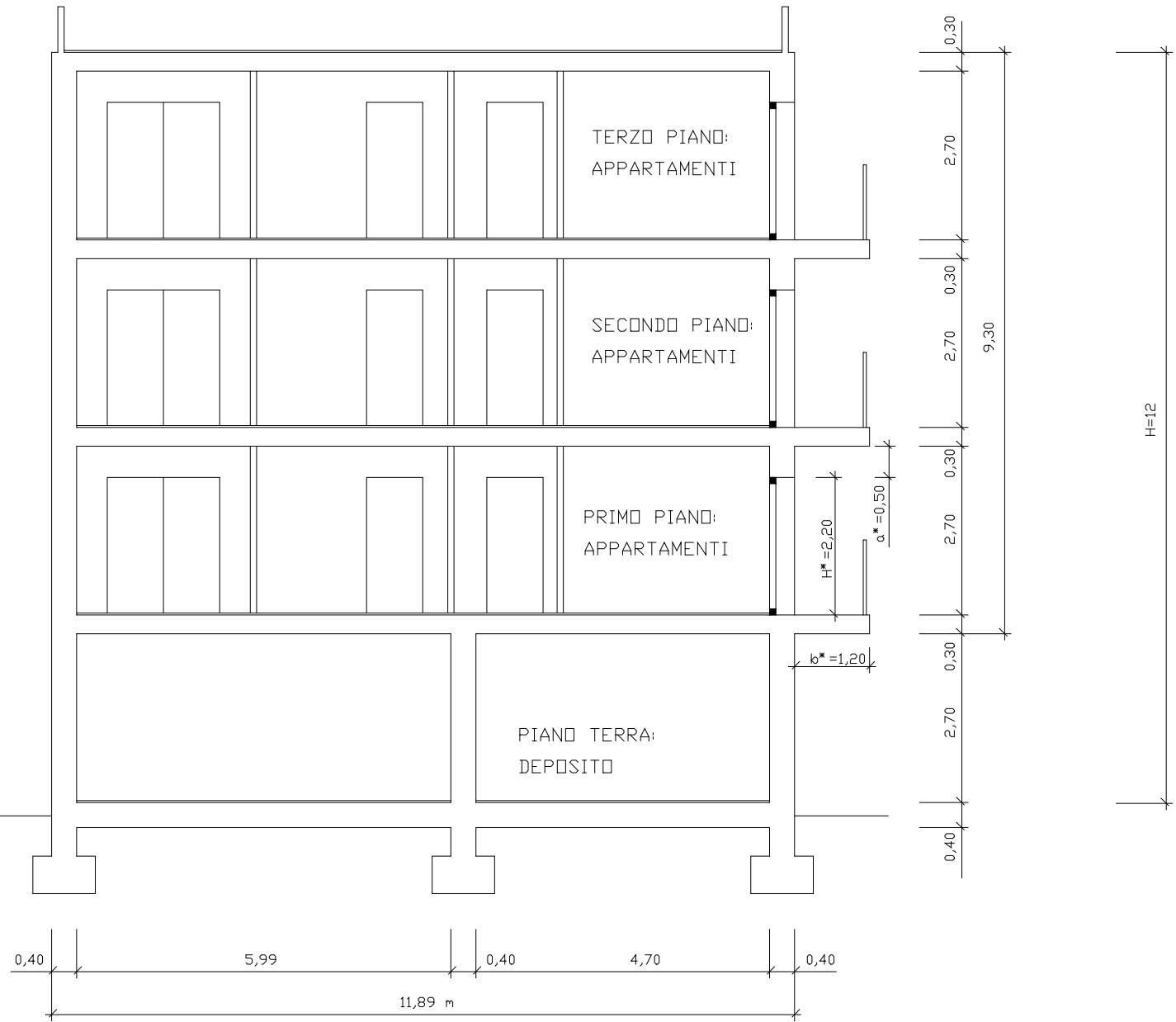


Figura 3.2 Sezione A-A
(scala 1:100)

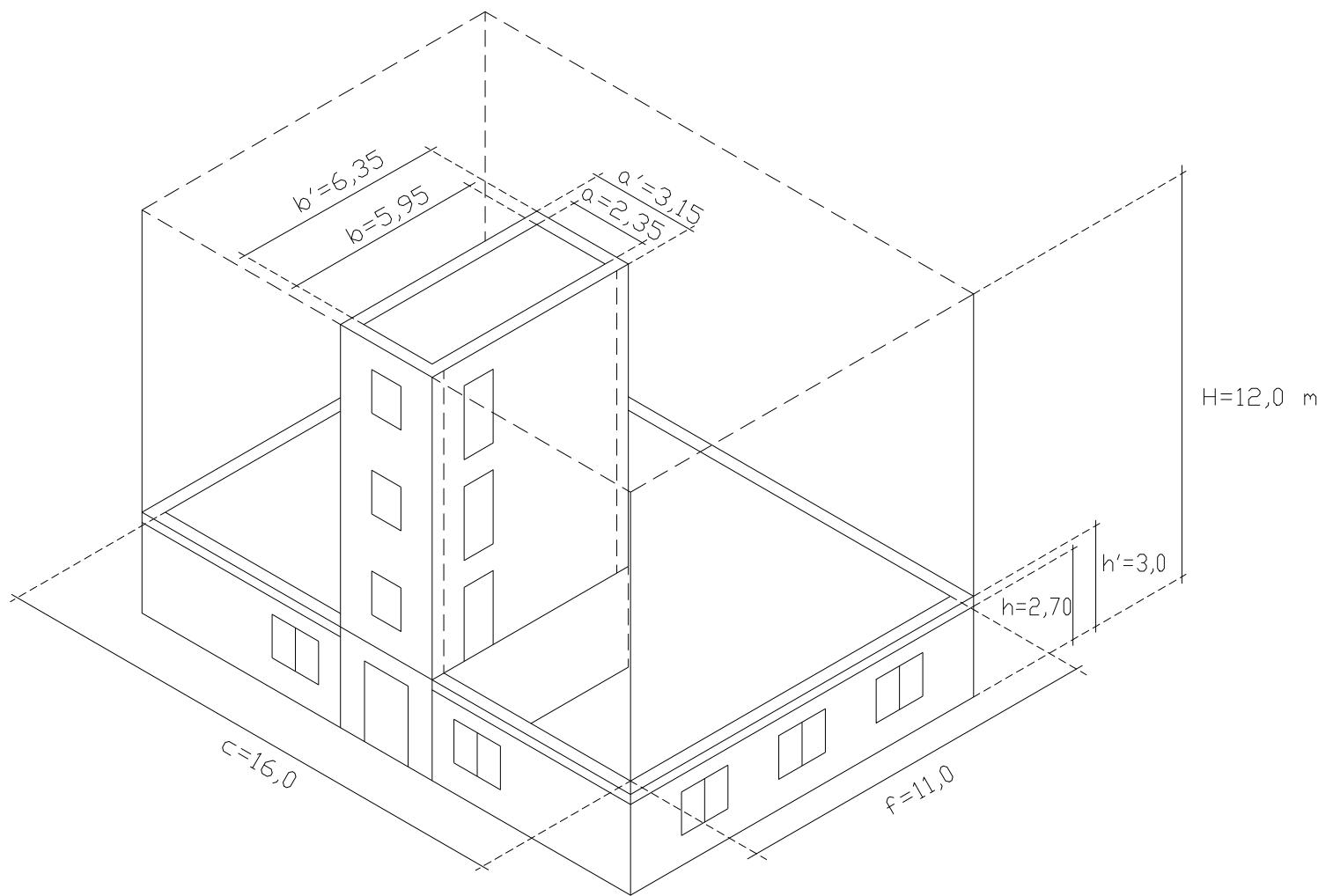


Figura 3.3 Schema assonometrico del vano scale e del piano terra
(scala 1:100)

3.2.1 Parametri ambientali

L’edificio in esame è localizzato a Napoli; vengono di seguito riportati i principali parametri ambientali (in corsivo quelli non necessari per la valutazione del carico termico invernale).

– Città:	Napoli
– <i>Altitudine (UNI 10349, prospetto VII):</i>	<i>17 m</i>
– Temperatura invernale di progetto (DPR 1052/77, Appendice B):	2,0 °C
– <i>Gradi giorno (DPR 412/93, tabella 6.3):</i>	<i>1.034 K·d</i>
– <i>Zona climatica (DPR 412/93, art.2 comma 1 ed all.A; tabella 6.2):</i>	<i>C</i>

3.2.2 Caratteristiche termofisiche dei componenti opachi costituenti l’involucro edilizio

Nel seguito vengono riportate le caratteristiche termofisiche e le trasmittanze termiche unitarie U dei componenti opachi che entrano nel calcolo delle dispersioni termiche della zona riscaldata. I parametri termofisici relativi ai materiali ed ai solai sono ricavati dalle UNI 10351 e 10355. I coefficienti superficiali di scambio termico utilizzati sono pari a (sebbene, in base alla UNI 6946, i valori per pareti orizzontali sono leggermente diversi):

$h_e = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$ per superfici rivolte verso l’ambiente esterno;

$h_i = 7,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ per superfici rivolte verso ambienti interni o altri.

Nelle seguenti tabelle sono descritti in dettaglio i componenti opachi dell’involucro edilizio. In particolare, per ciascuno strato sono riportati:

- lo spessore, m;
- la densità, kg/m^3 ;
- la conduttività utile di calcolo, W/mK ;
- la conduttanza termica unitaria, $\text{W/m}^2\text{K}$, che, per strati omogenei, è pari al rapporto tra conduttività e spessore;
- la resistenza termica unitaria, $\text{m}^2\text{K/W}$, pari all’ inverso della conduttanza unitaria.

In ciascuna tabella sono inoltre riportati:

- lo spessore totale del componente, m;
- la resistenza termica unitaria complessiva, $\text{m}^2\text{K/W}$, pari alla somma delle resistenze unitarie dei singoli strati;
- la trasmittanza termica unitaria, $\text{W/m}^2\text{K}$, pari all’ inverso della suddetta resistenza.

PARETE ESTERNA						
		spessore	densità	conduttività	conduttanza	resistenza
n°	DESCRIZIONE	m	kg/m ³	W/mK	W/m ² K	m ² K/W
1	Strato liminare interno				7,70	0,1299
2	intonaco interno di calce e gesso	0,020	1.400	0,70	35,00	0,0286
3	Mattoni	0,320	1.000	0,36	1,13	0,8889
4	Polistirene espanso sinterizzato	0,040	30	0,04	1,00	1,0000
5	intonaco esterno di calce	0,020	1.800	0,90	45,00	0,0222
6	Strato liminare esterno				25,00	0,0400
	Totali	0,400				2,1096
	Trasmittanza unitaria U, W/m ² K	0,474				

PARETE VERSO IL VANO SCALA						
		spessore	densità	conduttività	conduttanza	resistenza
n°	DESCRIZIONE	M	kg/m ³	W/mK	W/m ² K	m ² K/W
1	strato liminare interno				7,70	0,1299
2	intonaco interno di calce e gesso	0,020	1.400	0,70	35,00	0,0286
3	Mattoni	0,320	1.000	0,36	1,13	0,8889
4	polistirene espanso sinterizzato	0,040	30	0,04	1,00	1,0000
5	intonaco esterno di calce	0,020	1.800	0,90	45,00	0,0222
6	strato liminare esterno				7,70	0,1299
	Totali	0,400				2,1994
	Trasmittanza unitaria U, W/m ² K	0,455				

SOLAIO DI COPERTURA						
		spessore	densità	conduttività	conduttanza	resistenza
n°	DESCRIZIONE	m	kg/m ³	W/mK	W/m ² K	m ² K/W
1	strato liminare interno				7,70	0,1299
2	intonaco interno di calce e gesso	0,020	1.400	0,70	35,00	0,0286
3	solaio latero-cementizio (*)	0,180		0,60	3,33	0,3000
4	barriera al vapore (polietilene)	0,0001	950	0,35	3500,00	0,0003
5	isolante (polistirene espanso estruso)	0,050	30	0,04	0,72	1,3889
6	impermeabilizzante (bitume)	0,006	1.200	0,17	28,33	0,0353
7	sottofondo di cemento magro	0,040	800	0,30	7,50	0,1333
8	pavimento in piastrelle	0,010	2.300	1,00	100,00	0,0100
9	strato liminare esterno				25,00	0,0400
	Totali	0,250				2,0662
	Trasmittanza unitaria U, W/m ² K	0,484				

(*) conduttività equivalente desunta dalla UNI 10355 (codice elemento: 2.1.06i). In alternativa, la conduttività equivalente si può così calcolare: $\lambda_{equiv} = \lambda_{lat} \cdot A_{lat}/A_{tot} + \lambda_{cls} \cdot A_{cls}/A_{tot}$. Valori usuali dei rapporti sono: $A_{lat}/A_{tot} = 0.8$ oppure 0.75, $A_{cls}/A_{tot} = 0.2$ oppure 0.25, rispettivamente.

SOLAIO TRA PRIMO PIANO E PIANO TERRA						
		Spessore	densità	conduttività	conduttanza	resistenza
n°	DESCRIZIONE	m	kg/m ³	W/mK	W/m ² K	m ² K/W
1	strato liminare interno				7,70	0,1299
2	pavimento in piastrelle	0,010	2.300	1,00	100,00	0,0100
3	sottofondo di cemento magro	0,050	800	0,30	6,00	0,1667
5	isolante (polistirene espanso estruso)	0,040	30	0,04	0,90	1,1111
6	solaio latero-cementizio (*)	0,180		0,60	3,33	0,3000
7	intonaco interno di calce e gesso	0,020	1.400	0,70	35,00	0,0286
9	strato liminare interno				7,70	0,1299
	Totali	0,300				1,8761
	Trasmittanza unitaria U, W/m ² K	0,533				

(*) conduttività equivalente desunta dalla UNI 10355 (codice elemento: 2.1.06i), o calcolata come sopra specificato.

PORTE D'ACCESSO AGLI APPARTAMENTI						
		Spessore	densità	conduttività	conduttanza	resistenza
n°	DESCRIZIONE	m	kg/m ³	W/mK	W/m ² K	m ² K/W
1	strato liminare interno				7,70	0,1299
2	legno di acero	0,050	710	0,18	3,60	0,2778
3	strato liminare interno				7,70	0,1299
	Totali	0,050				0,5375
	trasmittanza unitaria U, W/m ² K	1,860				

Viene di seguito riportata una tabella di sintesi delle trasmittanze termiche unitarie U dei componenti opachi dell'edificio in esame.

Componente opaco	U [W/m ² K]
Parete esterna	0,474
Parete verso il vano scala	0,455
Solaio di copertura	0,484
Solaio tra primo piano e piano terra	0,533
Porte d'accesso ad appartamenti	1,860

3.2.3 Caratteristiche termofisiche dei componenti finestrati

Di seguito si riportano le caratteristiche dei componenti finestrati presenti nell'edificio in esame.

	N.1: finestra a due ante	N.2: finestra a un'anta	N.3: porta finestra a due ante
Dimensioni complessive delle aperture	$1,3 \text{ m} \cdot 1,6 \text{ m} = 2,08 \text{ m}^2$	$1,3 \text{ m} = 1,3 \text{ m}^2$	$2,2 \text{ m} = 3,52 \text{ m}^2$
Spessore del vetro	4 mm	4 mm	4 mm
Spessore dell'intercapedine	12 mm	12 mm	12 mm
Spessore del telaio	10 cm	10 cm	10 cm
Area del vetro A_g	$2 (0,65 \cdot 1,1) = 1,43 \text{ m}^2$	$0,80 \cdot 1,10 = 0,88 \text{ m}^2$	$2 (0,65 \cdot 2) = 2,6 \text{ m}^2$
Area del telaio A_f	$3 (0,10 \cdot 1,1) + 2 (0,10 \cdot 1,6) = 0,65 \text{ m}^2$	$2 (0,10 \cdot 1,10) + 2 (0,10 \cdot 1,0) = 0,42 \text{ m}^2$	$3 (0,10 \cdot 2,0) + 2 (0,10 \cdot 1,6) = 0,92 \text{ m}^2$
Perimetro della Superficie vetrata L_g	$2 [2 (0,65 + 1,10)] = 7,0 \text{ m}$	$2 (0,8 \cdot 1,10) = 3,8 \text{ m}$	$2 [2 (0,65 + 2,0)] = 10,6 \text{ m}$
Tipo di serramento	Singolo	Singolo	Singolo
Tipo di vetro	Doppio vetro	Doppio vetro	Doppio vetro
Gas nell'intercapedine	Argon	Argon	Argon
Tipo di telaio	Metallico con taglio termico	Metallico con taglio termico	Metallico con taglio termico
Distanza minima tra due sezioni di metallo del telaio	$d = 6 \text{ mm}$	$d = 6 \text{ mm}$	$d = 6 \text{ mm}$
Emissività termica di tutte le superfici vetrate	$\varepsilon = 0,837$	$\varepsilon = 0,837$	$\varepsilon = 0,837$

Tali caratteristiche andrebbero utilizzate per calcolare i valori della trasmittanza termica unitaria U_w dei componenti finestrati dell'edificio in esame, in base alla UNI 10077-1.

Per semplicità si riportano direttamente i risultati del calcolo.

	$U_w [\text{W/m}^2\text{K}]$
N.1: finestra	3,15
N.2: finestra	3,14
N.3: porta finestra	3,08

Si noti che, solo in prima approssimazione e quindi non in ottemperanza alla normativa vigente, si possono utilizzare i valori di massima della trasmittanza termica unitaria U_w per componenti finestrati, tratti dalla tab. B precedentemente riportata.

3.2.4 Caratteristiche dei ponti termici

Andrebbero riportate le tipologie di ponte termico presenti nell'edificio in esame, con l'indicazione delle trasmittanze lineari (o coefficienti lineari) tratte dal foglio aggiuntivo FA-3 alla norma UNI 7357 e delle relative lunghezze desumibili dai disegni di figg. 3.1, 3.2, 3.3. La trasmittanza lineare è talvolta indicata con ψ , altre volte con k (nel foglio FA-3).

Per semplicità in questa sede si omette la valutazione dettagliata dei ponti termici (di cui si può comunque tenere conto in prima approssimazione, come più avanti specificato: 10-20% della potenza termica dispersa attraverso componenti opachi e trasparenti).

3.2.5 Valutazione delle dispersioni termiche della zona riscaldata

In base a quanto riportato al par.8.1 della UNI 7357, le superfici considerate sono quelle interne di ciascuna parete, trascurando lo spessore dei muri e dei solai.

Sono necessari i seguenti dati relativi alla geometria dell'edificio:

Dimensioni nette dell'edificio:	$c = 16 \text{ m}$
	$f = 11 \text{ m}$
	$H = 12 \text{ m}$
Altezza netta di ciascun piano:	$h = 2,7 \text{ m}$
Spessore dei muri esterni:	$s = 0,40 \text{ m}$
Spessore del solaio di copertura e dei solai interpiano	$d = 0,30 \text{ m}$
Dimensioni vano scala:	$a = 2,35 \text{ m}$
	$b = 5,95 \text{ m}$
	$a' = a + 2s = 2,35 + 0,4 \times 2 = 3,15 \text{ m}$
	$b' = b + s = 5,95 + 0,4 = 6,35 \text{ m}$
Area delle 6 porte tra gli appartamenti ed il vano scala:	$A_{PS} = 6 \cdot 1,0 \cdot 2,2 = 13,2 \text{ m}^2$
Area totale delle pareti tra zona riscaldata e vano scala:	$A_{risc} = (2b' + a') \cdot (3 \cdot h) - A_{PS} = 115,2 \text{ m}^2$
Area totale delle pareti tra zona riscaldata e piano terra:	$A_{riscT} = (c \cdot f) - (a' \cdot b') = 156,0 \text{ m}^2$

Al fine di calcolare le dispersioni verso l'ambiente esterno, sono di seguito valutate le aree dei vari componenti dell'involucro della zona riscaldata confinanti con l'esterno.

- Finestre esposte a Sud: tipo N.1 $A_{FS1} = (1,3 \cdot 1,6) \cdot 2 \cdot 3 = 12,5 \text{ m}^2$
 tipo N.3 $A_{FS3} = (2,2 \cdot 1,6) \cdot 2 \cdot 3 = 21,1 \text{ m}^2$
- Muratura esposta a Sud: $A = c \cdot (3 \cdot h) - (A_{FS1} + A_{FS3}) = 16,0 \cdot (3 \cdot 2,7) - 33,6 = 96,0 \text{ m}^2$
- Finestre esposte a Nord: $A_{FN} = 0 \text{ m}^2$
- Muratura esposta a Nord: $A = (c - a') \cdot (3 \cdot h) = (16,0 - 3,15) \cdot (3 \cdot 2,7) = 104,1 \text{ m}^2$

- Finestre esposte a Ovest: tipo N,1 $A_{FO1} = (1,3 \cdot 1,6) \cdot 2 \cdot 3 = 12,5 \text{ m}^2$
tipo N,2 $A_{FO2} = (1,3 \cdot 1,0) \cdot 3 = 3,9 \text{ m}^2$
- Muratura esposta a Ovest: $A = f \cdot (3 \cdot h) - (A_{FO1} + A_{FO2}) = 11,0 \cdot (3 \cdot 2,7) - 16,4 = 72,7 \text{ m}^2$
- Finestre esposte a Est: tipo N,1 $A_{FE1} = (1,3 \cdot 1,6) \cdot 2 \cdot 3 = 12,5 \text{ m}^2$
tipo N,2 $A_{FE2} = (1,3 \cdot 1,0) \cdot 3 = 3,9 \text{ m}^2$
- Muratura esposta a Est: $A = f \cdot (3 \cdot h) - (A_{FE1} + A_{FE2}) = 11,0 \cdot (3 \cdot 2,7) - 16,4 = 72,7 \text{ m}^2$
- Solaio di copertura: $A = (c \cdot f) - [a' \cdot (b' + s)] = (16,0 \cdot 11,0) - [3,15 \cdot (6,35 + 0,4)] = 154,7 \text{ m}^2$

In base alla UNI 7357 la potenza termica Q_1 dispersa per trasmissione attraverso ciascun componente opaco o trasparente rivolto verso l'ambiente esterno, di area A e trasmittanza unitaria U, è pari a:

$$\dot{Q}_1 = U \cdot A \cdot (t_i - t_e) \cdot f \quad (6.5)$$

in cui:

t_i = temperatura della zona riscaldata, nel caso in esame pari a 20 °C (DPR 412/93, art.4 comma 1);

t_e = temperatura esterna minima di progetto, nel caso in esame pari a 2,0 °C (DPR 1052/77, All.1; si veda la Tab. A di questa dispensa);

f = coefficiente correttivo per esposizione (UNI 7357, par.9; tabella 5.1).

Nella seguente tabella sono riportate le potenze termiche disperse per trasmissione attraverso componenti opachi e trasparenti rivolti verso l'ambiente esterno (Q_1).

Componente	Esposizione	Area [m ²]	Trasmittanza termica unitaria [W/m ² K]	t _i - t _e [°C]	Fattore correttivo per esposizione	Potenza termica [W]
Muratura	Sud	96	0,474	18	1,00	819
Finestra N.1	Sud	12,5	3,15	18	1,00	709
Finestra N.3	Sud	21,1	3,08	18	1,00	1.170
Muratura	Nord	104,1	0,474	18	1,18	1.048
Muratura	Ovest	72,7	0,474	18	1,08	670
Finestra N.1	Ovest	12,5	3,15	18	1,08	765
Finestra N.2	Ovest	3,9	3,14	18	1,08	238
Muratura	Est	72,7	0,474	18	1,13	701
Finestra N.1	Est	12,5	3,15	18	1,13	801
Finestra N.2	Est	3,9	3,14	18	1,13	249
Solaio di copertura	-	154,7	0,484	18	1,00	1.348
Potenza termica complessiva dispersa verso l'esterno (Q₁)						8518

Si valutano ora le dispersioni termiche Q_2 verso locali non riscaldati (vano scala e piano terra adibito a deposito); in base alla UNI 7357 si utilizza la seguente relazione:

$$\dot{Q}_2 = U \cdot A \cdot (t_i - t_u) \quad (6.4)$$

in cui:

U è la trasmittanza unitaria della parete tra la zona riscaldata e quella non riscaldata, $\text{W/m}^2\text{K}$;

A è l'area della parete tra la zona riscaldata e quella non riscaldata, m^2 ;

t_i è la temperatura della zona riscaldata, nel caso in esame pari a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (DPR 412/93, art.4 comma 1);

t_u è la temperatura della zona non riscaldata, ${}^\circ\text{C}$, ricavabile dal par.5.2.1.2 della UNI 7357, e dalla tabella C.

In base a quanto riportato al par.5.2.1.2 della stessa norma, la temperatura t_u del piano terra è pari a $9 \text{ }^\circ\text{C}$, per cui le dispersioni verso il piano terra risultano:

$$\dot{Q} = U_{riscT} \cdot A_{riscT} (t_i - t_u) = 0,533 \cdot 156,0 \cdot (20 - 9) = 915 \text{ W}$$

Analogamente, la temperatura t_u del vano scala è stimata pari a $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ($7 \text{ }^\circ\text{C}$ al piano terra, $10 \text{ }^\circ\text{C}$ ai piani sovrastanti). Pertanto la potenza termica dispersa verso il vano scala è somma di quella dispersa attraverso le porte (Q_A) e di quella dispersa attraverso le pareti (Q_B):

$$\dot{Q}_A = U_{PS} \cdot A_{PS} (t_i - t_u) = 1,86 \cdot 13,2 \cdot (20 - 10) = 246 \text{ W}$$

$$\dot{Q}_B = U_{risc} \cdot A_{risc} (t_i - t_u) = 0,455 \cdot 115,2 \cdot (20 - 10) = 524 \text{ W}$$

Le dispersioni verso il vano scala risultano pertanto:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_A + \dot{Q}_B = 246 + 524 = 770 \text{ W}$$

Pertanto si ha:

$\mathbf{Q_1 + Q_2 = 8518 + 915 + 770 =}$	$\mathbf{10.203}$
---	-------------------

Andrebbero a questo punto riportate le potenze termiche disperse per trasmissione attraverso i ponti termici. In base alla UNI 7357, la potenza termica Q dispersa per trasmissione attraverso ciascun ponte termico di lunghezza L e trasmittanza termica lineare ψ , è pari a:

$$\dot{Q}_3 = L \cdot \psi \cdot (t_i - t_e) \quad (6.6)$$

Per semplicità, viene omesso il calcolo relativo a ciascun ponte termico e si mette in evidenza solo la potenza termica totale dispersa attraverso i ponti termici.

Totale ponti termici (Q_3)	1.499 W
--	----------------

Usualmente la potenza termica dispersa attraverso i ponti termici corrisponde a circa il 10-20% della potenza termica dispersa attraverso componenti opachi e trasparenti; nel caso in esame tale valore è circa il 15%.

In definitiva, la **potenza termica dispersa per trasmissione** è pari a $10.203 + 1.499 = 11.702$ W, quindi:

$$\dot{Q}_T = 11.702 \text{ W} = \dot{Q}_1 + \dot{Q}_2 + \dot{Q}_3$$

La potenza termica dispersa per ventilazione, in base ai parr. 10.1 e 10.2 della UNI 7357 risulta pari a:

$$\dot{Q}_4 = \dot{Q}_V = c_p \rho n V (t_i - t_e) \quad (6.7)$$

in cui:

c_p è la capacità termica massica (calore specifico) a pressione costante dell'aria, posta pari a 1.000

J/kgK;

ρ è la densità dell'aria, posta pari a 1,2 kg/m³;

n è il numero di volumi d'aria ricambiati in un'ora, pari a 0,5 h⁻¹ (DPR 412/93, art.8 comma 8);

V è il volume lordo della zona riscaldata, nel caso in esame pari a:

$$[(c' \cdot f') - (b' \cdot a)] \cdot (H - h) = [(16,8 \cdot 11,8) - (6,35 \cdot 2,35)] \cdot 9,30 = 1.705 \text{ m}^3,$$

Nel caso in esame, in base alla (6.7), la **potenza termica dispersa per ventilazione** risulta pari a:

$$\dot{Q}_V = 1.000 \cdot 1,2 \cdot \frac{0,5}{3.600} \cdot 1.705 \cdot (20 - 2) = 5.115 \text{ W}$$

La **potenza termica totale dispersa** è quindi pari a:

$$\dot{Q}_{TOT} = \dot{Q}_T + \dot{Q}_V = 11702 + 5115 = 16817 \text{ W}$$

La potenza termica totale dispersa per unità di volume è pari a:

$$\frac{\dot{Q}_{TOT}}{V} = \frac{16.817}{1.705} \cong 10 \text{ W/m}^3$$

Tale valore risulta accettabile per un edificio sito in Napoli, considerando i valori usualmente ricavati nella progettazione ed osservando anche che le pareti perimetrali sono ben coibentate e quindi con valori mediamente bassi della trasmittanza termica unitaria (intorno a $0,5 \text{ W/m}^2\text{K}$, come riportato nella tabella riassuntiva alla fine del par. 3.2.2).

In definitiva, le dispersioni termiche della zona riscaldata dell'edificio possono essere così sintetizzate:

Potenza termica dispersa attraverso componenti opachi e trasparenti ($Q_1 + Q_2$)	10.203 W
Potenza termica dispersa attraverso i ponti termici (Q_3)	1.499 W
Potenza termica complessiva dispersa per trasmissione ($Q_1 + Q_2 + Q_3$)	11.702 W
Potenza termica dispersa per ventilazione (Q_4)	5.115 W
Potenza termica totale dispersa ($Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4$)	16.817 W

4. Potenza termica di ripresa

La norma UNI EN 12831, alle aliquote di potenza termica precedentemente descritte, aggiunge anche la potenza termica di ripresa.

Questa potenza entra in gioco per quegli ambienti che vengono riscaldati in modo intermittente.

Al punto 7.3, la norma prescrive: "*Gli ambienti riscaldati in modo intermittente richiedono una potenza di ripresa per ottenere la temperatura interna di progetto richiesta (20°C), dopo il periodo di inattività dell'impianto, entro un tempo determinato*".

Questa potenza dipende da alcuni fattori quali:

- la capacità termica degli elementi dell'involucro edilizio;
- dopo quanto tempo viene riacceso l'impianto di riscaldamento;
- di quanto si abbassa la temperatura all'interno dell'ambiente, rispetto alla T_i di progetto, durante il periodo di inattività dell'impianto;
- il tipo di sistema di regolazione automatica dell'impianto.

Il calcolo della potenza di ripresa non è necessario nei casi in cui il sistema di regolazione elimina il periodo di inattività durante i giorni più freddi e/o è possibile ridurre le dispersioni termiche dovute alla ventilazione durante il periodo di inattività.

4.1. Calcolo semplificato della potenza termica di ripresa

Per il calcolo della potenza termica di ripresa (utile per la valutazione della potenza sia del generatore di calore che dei corpi scaldanti), si può fare riferimento alla seguente procedura semplificata.

Tale procedura è applicabile solo se ci si trova in uno dei due seguenti casi:

a) EDIFICI RESIDENZIALI per i quali:

- il periodo di inattività notturna è inferiore a 8 h;
- la costruzione non è leggera (ad esempio, struttura in legno).

b) EDIFICI NON RESIDENZIALI per i quali:

- il periodo di inattività è inferiore a 48 h;
- l'edificio viene occupato almeno per 8 h al giorno;
- la T_i è compresa tra 20°C e 22°C.

In queste condizioni, la potenza termica di ripresa $\Phi_{RH,i}$ è data dalla seguente formula:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \times f_{RH} \quad [W]$$

dove:

- A_i [m^2] è l'area dello spazio riscaldato;
- f_{RH} [W/m^2] è il fattore di correzione che è funzione del tempo richiesto perché l'aria interna si riporti alla temperatura di progetto e del calo della temperatura durante il periodo di inattività; per il calcolo di f_{RH} si può fare riferimento alle tabelle seguenti se l'altezza di interpiano non supera i 3,5 m*.

prospettoD.10a Fattore di ripresa del riscaldamento, f_{RH} , per edifici non residenziali, periodo di inattività notturna max. 12 h

Durata del periodo di ripresa in ore	f_{RH} W/m ²								
	Calo previsto della temperatura interna durante il periodo di inattività ^{a)}								
	2 K			3 K			4 K		
Durata del periodo di ripresa in ore	massa dell'edificio			massa dell'edificio			massa dell'edificio		
	bassa	media	alta	bassa	media	alta	bassa	media	alta
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

a) Negli edifici ben isolati e a tenuta d'aria, un calo della temperatura interna maggiore di 2 K fino a 3 K durante il periodo di inattività non è molto probabile. Esso dipende dalle condizioni climatiche e dalla massa termica dell'edificio.

prospettoD.10b Fattore di ripresa del riscaldamento, f_{RH} , per edifici residenziali, periodo di inattività notturna max. 8 h

Durata del periodo di ripresa in ore	f_{RH} W/m ²		
	Calo previsto della temperatura interna durante il periodo di inattività ^{a)}		
	1 K		2 K
Durata del periodo di ripresa in ore	massa dell'edificio		massa dell'edificio
	alta		alta
1	11		22
2	6		11
3	4		9
4	2		7

a) Negli edifici ben isolati e a tenuta d'aria, un calo della temperatura interna maggiore di 2 K fino a 3 K durante il periodo di inattività non è molto probabile. Esso dipende dalle condizioni climatiche e dalla massa termica dell'edificio.

* Nel caso in cui l'altezza di interpiano sia superiore a 3,5 m, bisogna far riferimento al calcolo presente nell'appendice nazionale alla norma UNI EN 12831.