



**POLITECNICO
DI MILANO 1863**

SCUOLA DI ARCHITETTURA, URBANISTICA
INGEGNERIA DELLE COSTRUZIONI

ARCHITETTURA - ARCHITETTURA DELLE COSTRUZIONI
Anno Accademico 2022/2023

EMPORION

NUOVO POLO MUSEALE A ORTIGIA

IMPIANTI

Relatore:

Prof. Tomaso Monestiroli

Correlatori:

Prof. Vassillis Mpampatsikos

Prof. Fulvio Re Cecconi

Prof. Paolo Oliaro

Prof.ssa Paola Gallo Stampino

Studenti:

Lucrezia Borsari 995471

Michele Vezzoli 994342

Francesco Zugni 993926

- 5. Premessa**
- 7. Descrizione del progetto**
 - Posizione
 - Clima e condizioni di progetto
 - Museo
 - Arsenale
 - Portico e celle
- 19. Museo**
 - Comfort termico
 - Impianto di climatizzazione qualità dell'aria
 - Involucro edilizio
 - Carichi invernali
 - Carichi estivi
 - Centrale termofrigorifera
 - Impianto ACS
 - Impianto di illuminazione
 - Impianto elettrico
 - Schema flussi
 - Verifiche NZEB
 - Certificazione energetica
- 43. Arsenale**
 - Comfort termico
 - Impianto per la qualità dell'aria e controllo umidità
 - Involucro edilizio
 - Carichi invernali
 - Carichi estivi
 - Centrale termofrigorifera
 - Impianto ACS
 - Impianto di illuminazione
 - Impianto elettrico
 - Schema flussi
 - Verifiche NZEB
- 67. Portico e celle**
 - Comfort termico
 - Impianto di climatizzazione qualità dell'aria
 - Involucro edilizio
 - Carichi invernali
 - Carichi estivi
 - ACS e PDC
 - Altri impianti
 - Verifiche NZEB
- 91. Impianto fotovoltaico**
- 94. Schede tecniche**
- 95. Bibliografia e Sitografia**

Il presente elaborato costituisce la relazione impiantistica relativa alla realizzazione di edifici ad energia quasi zero, comprensiva di una descrizione generale del funzionamento degli impianti, dei criteri generali di progettazione e delle verifiche dei requisiti di comfort.

Al fine di garantire il giusto dimensionamento degli impianti sono state seguite le seguenti Norme:

- Norma UNI 10339 “Impianti aerulici ai fini del benessere - Generalità classificazione e requisiti - Regole per la richiesta di offerta”;
- Direttiva 2002/91/CE - DM 26/06/2015 “Prestazione energetica nell’edilizia”;
- EN 12464-1 - UNI EN 12464-2 “Impianto illuminotecnico”;
- UNI TS 11300 “Prestazioni energetiche degli edifici”.

Si riportano di seguito i calcoli eseguiti relativi al dimensionamento dell’impianto di climatizzazione, di ventilazione, dell’acqua calda sanitaria, d’illuminazione ed di quello elettrico. I calcoli e le verifiche sono state eseguite per ogni edificio che compone l’intervento: Museo, Arsenale e Portico e celle. Successivamente, è stata eseguita un’analisi globale per l’impianto fotovoltaico il quale, per soddisfare la normativa, soddisfa il 50% dell’energia utilizzata dagli impianti dell’intero sistema.

Descrizione del progetto

Posizione



Ortofoto

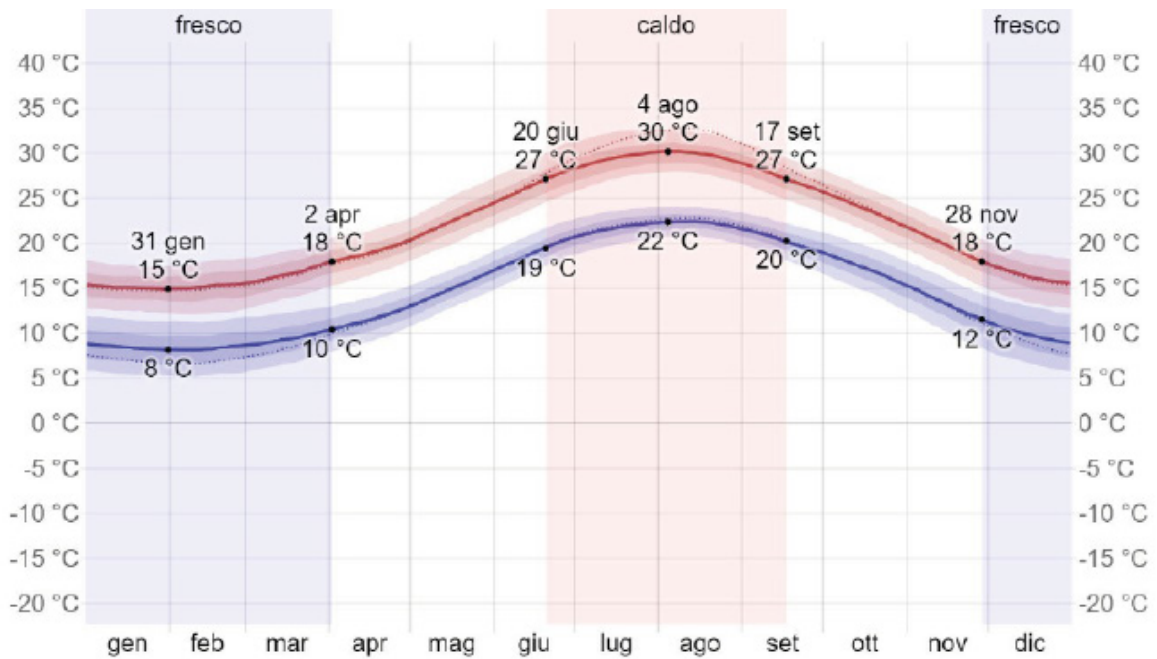
L'area di progetto si trova sull'isola di Ortigia nel comune di Siracusa, a sud della Sicilia. Il lotto è inserito in una zona prevalentemente pianeggiante e si sviluppa lungo la costa di Levante dell'isola. Si tratta di un'area che attualmente si presenta come un parcheggio coperto ma, essendo in stato di degrado e dismissione, si rende protagonista di un recupero (nuovo polo museale).

Questa zona non presenta importanti elementi, naturali o artificiali, che possano fornire ombreggiamento agli edifici dell'intervento previsto.

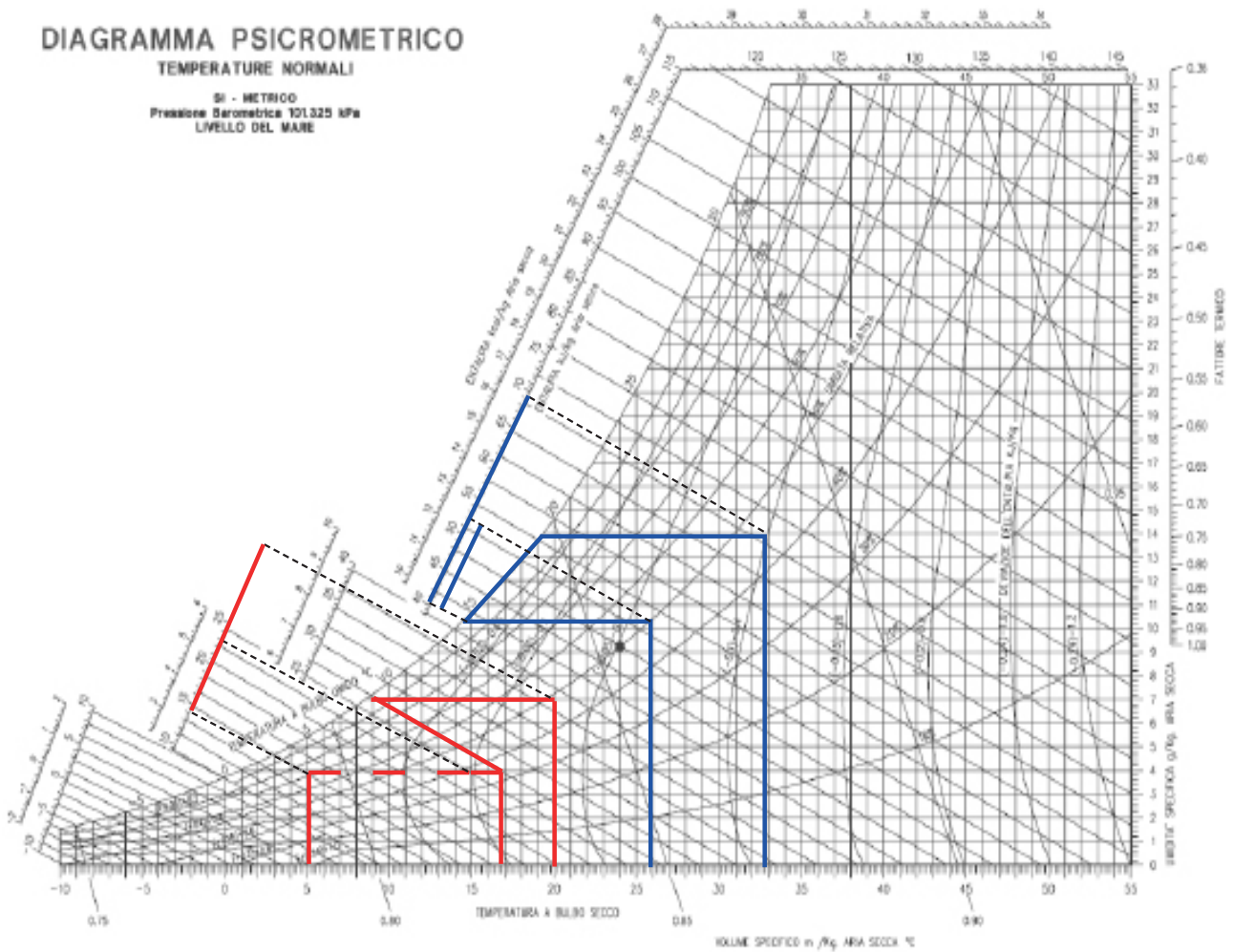
L'idea di progetto si basa sull'inserimento di due corpi museali (Museo e Arsenale) contrapposti tra di loro, ma relazionati attraverso un terzo edificio a stecca (Portico e celle) e una piazza d'acqua centrale.

L'edificio a stecca, formato da un portico e da celle, separa la città storica dalla grande piazza d'acqua, destinata a funzioni ricreative e culturali.

Clima e condizioni di progetto



1.1. Andamento annuale delle temperature a Siracusa



1.2. Diagramma psicrometrico

Clima

I parametri climatici considerati per la progettazione dell'impianto di climatizzazione sono quelli relativi alla città di Siracusa, ovvero Zona Climatica B, con 799 gradi giorno. Il clima in inverno è tendenzialmente fresco con scarse piogge, mentre in estate è estremamente caldo. La stagione di riscaldamento è compresa tra l'8 dicembre ed il 23 marzo, con 7 ore massime di funzionamento al giorno. Altro dato importante da considerare è la radiazione globale annua sulla superficie orizzontale che, per il Comune di Siracusa, ammonta a 1.764 kWh/mq.

I dati climatici estivi ed invernali di riferimento sono stati ricavati dalle norme UNI 10349-2:2016, secondo le quali la temperatura e l'umidità esterna estiva sono di 33°C e del 45%, mentre quelle invernali di 5°C e 75%. Durante l'anno, infatti, la temperatura va dagli 8°C ai 30°C ed è raramente inferiore a 5°C o superiore ai 33°C.

Il periodo più caldo, che verrà preso di riferimento per la progettazione degli impianti è il mese di luglio.

Condizioni di progetto

Il comfort di progetto è stabilito dal corretto controllo di alcuni parametri: le condizioni termiche, le condizioni igrometriche e dalla qualità dell'aria. Per gli ambienti interni di progetto è stata quindi definita una precisa condizione di qualità ambientale in base alla funzione.

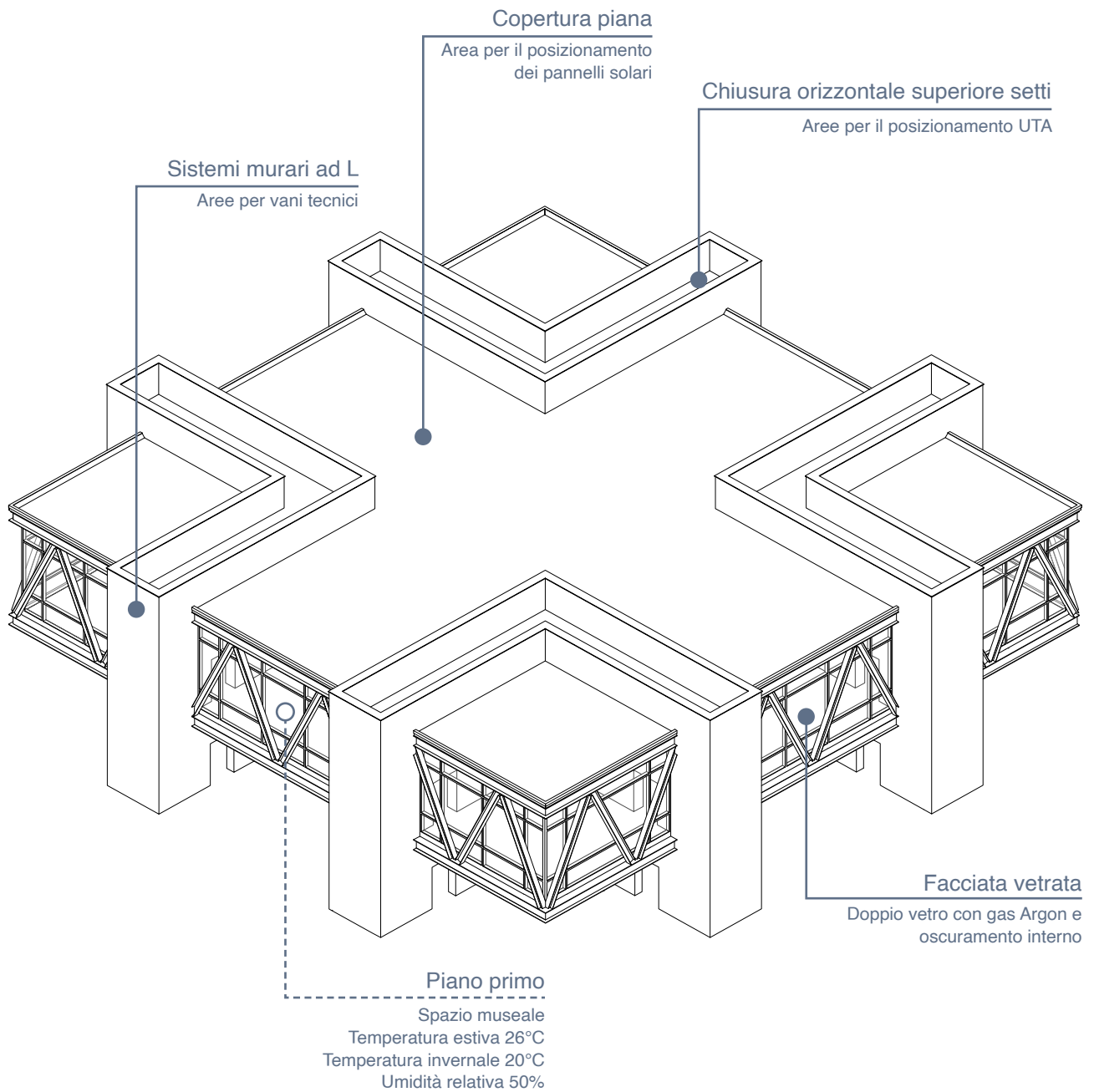
Partendo dalle temperature interne di progetto e dall'umidità relativa definita, si sono differenziati due scenari principali: uno scenario estivo ed uno invernale.

È stata eseguita questa differenziazione con l'obiettivo di portare i consumi energetici al minimo, mantenendo tuttavia il comfort termo-igrometrico prescelto. La temperatura interna di progetto definita in inverno è pari a 20°C, mentre quella estiva pari a 26°C. In entrambi gli scenari si tiene fissata un'umidità relativa al 50%.

Gli spazi tecnici non possiedono nessun tipo di condizionamento, mentre per quanto riguarda i servizi igienici è prevista la sola aspirazione.

Questi parametri di progetti hanno consentito, assieme al diagramma psicrometrico, di ricavare il dato dell'entalpia, utile per il calcolo dei carichi estivi, dei carichi invernali e il conseguente dimensionamento dell'impianto di climatizzazione.

Nel diagramma, per quanto riguarda il riscaldamento invernale, è stato considerato un recupero di calore pari al 70% (efficienza del recuperatore di calore).



Il Museo, l'edificio più a Nord del nuovo complesso, si articola su due piani fuori terra, collegati e relazionati tra di loro da setti murari che intersecano, senza discontinuità, gli spazi di entrambi i livelli. Queste murature sono accoppiate a due a due a formare quattro sistemi murari piegati che, al piano terra, rappresentano l'unica porzione costruita dell'edificio, mentre al piano primo intersecano il vero e proprio spazio espositivo.

All'interno dei quattro vani murari sono stati inseriti i collegamenti verticali e i vani di servizio (bagni e i locali tecnici). In questo modo tutto il resto dello spazio disponibile è completamente dedicato alle attività espositive.

Grazie alla simmetria dell'edificio si garantisce la possibilità di collocare i vari sistemi impiantistici nel modo più omogeneo e semplice possibile, inoltre, essi sono facilmente raggiungibili da mezzi per il collocamento degli impianti e la loro manutenzione.

Il piano primo, sospeso rispetto al piano terra, risulta come una sorta di parallelepipedo vetrato sostenuto grazie a una struttura metallica esterna incastrata ai setti principali in calcestruzzo. Osservando, infatti, l'edificio dall'esterno è possibile notare una trave reticolare di tipo Warren che permette di sostenere i solai del piano primo e di copertura. La chiusura orizzontale superiore è pensata continua e piana, tipologia compatibile con il clima e il contesto mediterraneo. Inoltre, la copertura non è praticabile ma è accessibile alla manutenzione e per il collocamento di un possibile impianto fotovoltaico.

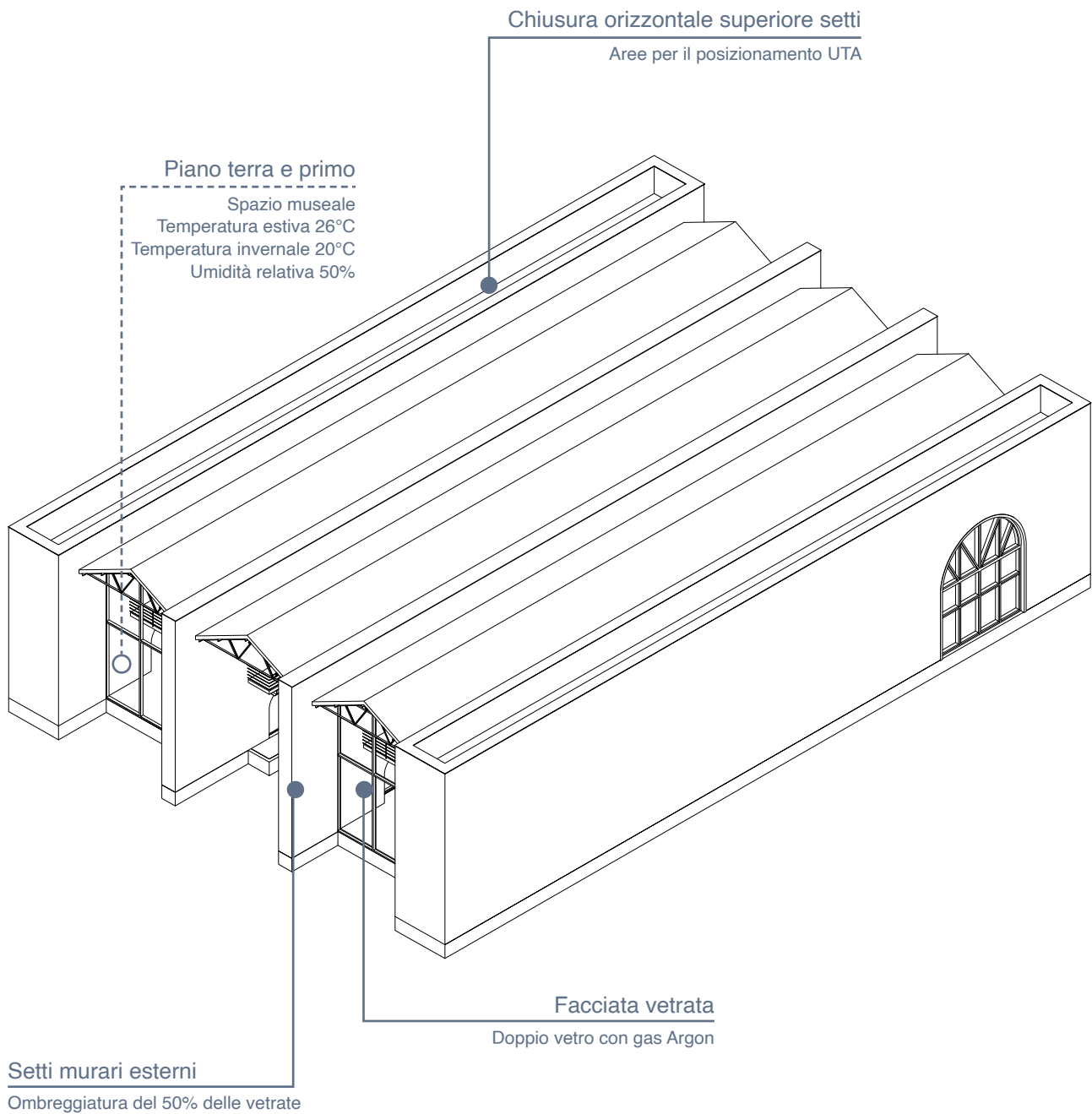
La copertura piana contentuta nei setti sporgenti, invece, permette la collocazione delle unità per il trattamento dell'aria in corrispondenza dei vani tecnici inferiori.

Nell'intradosso del solaio di copertura si è pensato di posizionare un controsoffitto per consentire il collocamento delle canalizzazioni per la climatizzazione dei locali interni.

Per quanto riguarda le chiusure verticali opache esse sono rivestite in Pietra bianca di Siracusa, in modo tale da conferire una finitura solida all'edificio.

Diversamente, le porzioni vetrate, disposte su tutti i quattro i lati del piano rialzato, sono realizzate con un sistema di facciata continua a montanti e traversi.

Data la grande superficie vetrata esposta verso l'esterno si è scelto di utilizzare serramenti con vetri ad alta efficienza energetica: doppio vetro con gas Argon per la fascia centrale e doppio vetro basso emissivo con gas Argon per la fascia inferiore e superiore. Per garantire l'oscuramento degli ambienti sono state predisposte internamente tende in tessuto e alluminio. Questo consente di diminuire il carico solare dell'intero edificio e, conseguentemente, di ridurre le dimensioni degli impianti.



Il secondo edificio, l'Arsenale, come nel caso precedente, si articola su due piani fuori terra, collegati e relazionati tra di loro da setti murari che intersecano, senza discontinuità, gli spazi di entrambi i livelli. Le murature più esterne sono accoppiate a due a due a formare due sistemi scatolari in cui sono stati inseriti i collegamenti verticali e vani di servizio, come bagni e locali tecnici.

I setti centrali, contrariamente, sono disposti singolarmente e hanno sia una funzione strutturale, sia una funzione impiantistica. Difatti, essi vengono utilizzati, oltre che per sostenere le strutture orizzontali, anche per il passaggio interno dei canali di aereazione.

Tutte le pareti, ad eccezione di quelle rivolte verso i locali di servizio, sono rivestite in pietra in modo tale da conferire una finitura solida all'edificio.

La parte terminale delle navate è stata chiusa attraverso vetrate per permettere la migliore lettura della scansione dei setti murari e l'illuminazione giornaliera degli spazi interni. Il sistema adottato per queste porzioni vetrate è quella a montanti e traversi, tipologia molto adatta a coprire grandi altezze. Inoltre, è stato possibile inserire nel progetto grandi pareti vetrate poichè i setti sporgenti dalla sagoma dell'edificio consentono un'ombreggiatura importante di esse, riducendo il carico solare e la conseguente dimensione degli impianti.

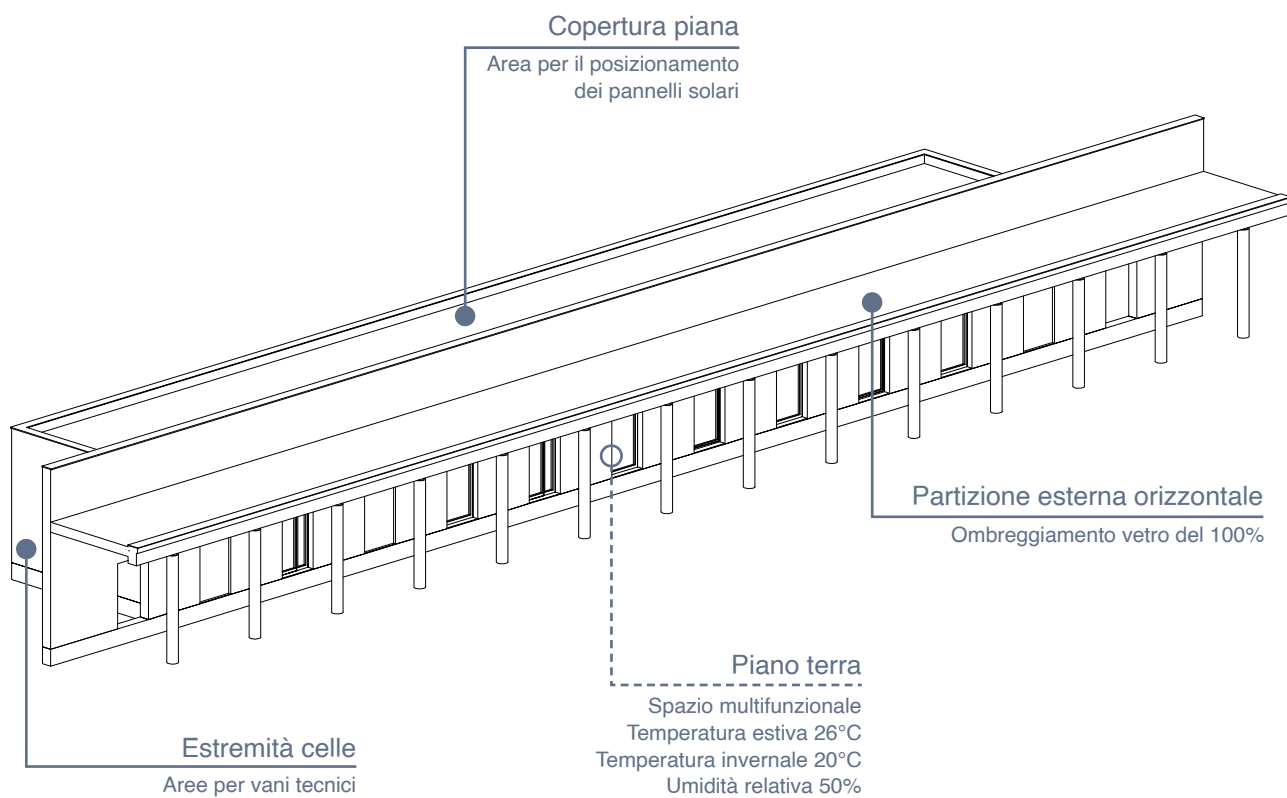
La chiusura superiore delle navate centrali è pensata discontinua a falde, tipologia ripresa dai tipici e antichi arsenali greci, non è praticabile ed è pensata per essere accessibile alla sola manutenzione. Il solaio del piano primo è disposto su tutta la superficie. L'unica eccezione per consentire la creazione di spazi a doppia altezza è l'accorciamento del solaio nella porzione più a Sud dell'edificio e la sua completa rimozione, a favore di due balconi, nella parte centrale della navata principale.

Relativamente al solaio contro terra, si è deciso, dato che alcune porzioni dell'edificio sono immerse nel mare, di creare una vasca bianca per isolare l'acqua dall'edificio e per sostenere un vespaio areato che eviti la risalita dell'umidità.

Inoltre, il pavimento contro terra contiene, in un apposito strato, le canalizzazioni per la climatizzazione dei locali. Si è scelto di posizionarli nel pavimento per non metterli a vista nell'intradosso della copertura e di evitare un carattere industriale all'edificio.

Dove è possibile, invece, l'impianto ad aria sfrutterà il controsoffitto per consentire il collocamento delle canalizzazioni per la climatizzazione dei locali interni.

Portico e celle



L'ultimo edificio, posto come collegamento tra il Museo e l'Arsenale, è un lungo porticato a cui sono addossate, verso il prospetto urbano, una serie di edifici monopiano. All'interno di queste "celle" sono pensate diverse funzioni quali negozi e aule studio.

Questi ambienti sono separati dal portico esterno da un muro centrale in calcestruzzo rivestito da una finitura in pietra (Pietra bianca di Siracusa). Per evidenziare la separazione il setto è prolungato oltre la quota d'imposta delle coperture. All'interno di questo muro sono state inserite una serie di serramenti, sia per garantire l'accesso alle celle, sia per illuminare adeguatamente gli spazi interni. Differentemente, le restanti chiusure verticali delle celle sono realizzate con blocchi in laterizio rivestiti verso l'esterno da intonaco civile.

Il porticato esterno garantisce, grazie alla sua sporgenza, un totale ombreggiamento degli spazi interni, permettendo di ridurre il carico solare e la conseguente dimensione degli impianti.

Le chiusure orizzontali delle celle e del portico sono entrambe continue e piane, ma con differenti soluzioni portanti. Per la copertura della cella è stata adottata una soluzione in laterocemento mentre per il portico una soletta in calcestruzzo armato. Inoltre, entrambe le coperture non sono praticabili perché pensate per essere accessibili alla sola manutenzione ed eventualmente utilizzate per l'installazione di pannelli fotovoltaici.

Per migliorare il comfort termico all'interno degli spazi, è stata posizionata sulla copertura della cella una lamiera grecata in metallo che, grazie ad un'intercapedine d'aria, permette di eliminare il calore accumulato per irraggiamento durante il giorno.

Il solaio contro terra è impostato su un vespaio aerato in grado di garantire un'adeguata ventilazione ed evitare, conseguentemente, la risalita di umidità dal terreno.

Ogni blocco dispone di un proprio vano tecnico per consentire un'autonoma gestione del comfort termico e l'inserimento degli opportuni impianti.

I vani servizio e i locali tecnici sono stati posizionati alle estremità dei diversi edifici e sono separati dai locali principali da partizioni interne leggere e montate a secco.

Ogni locale presenta un controsoffitto utile per ospitare le canalizzazioni per la climatizzazione e ogni altra tipologia d'impianto.

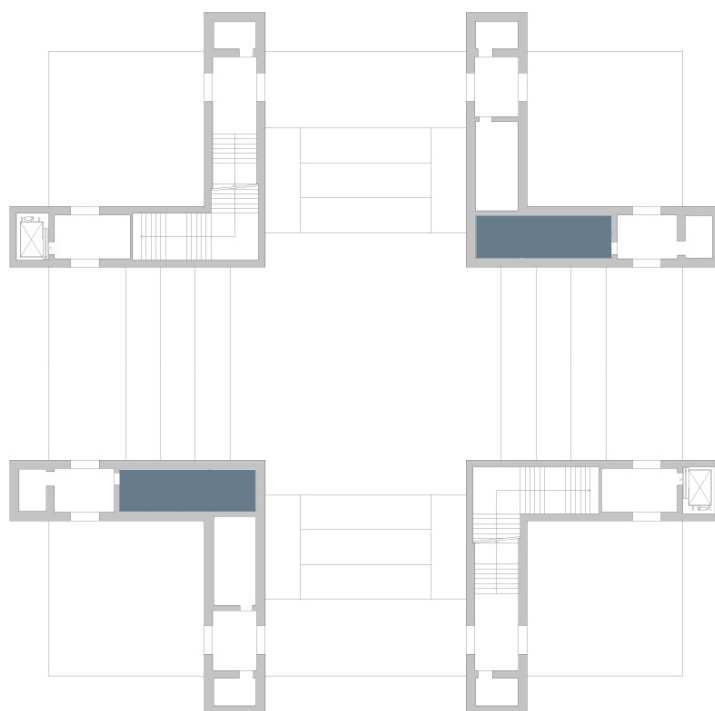
L'isolamento dei volumi è stato posizionato verso l'interno dei locali per evitare i numerosi ponti termici che potrebbero crearsi date le numerose compenetrazioni di elementi.

Il riscaldamento e il raffrescamento degli ambienti interni sono garantiti da pannelli radianti posizionati e annegati sotto una cappa di calcestruzzo alleggerito nel pacchetto stratigrafico del solaio contro terra.

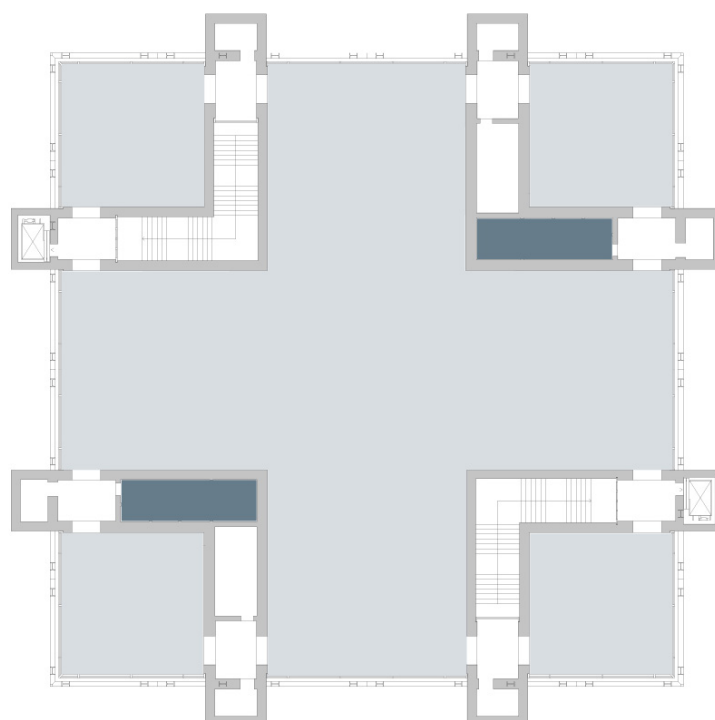
Museo

Comfort termico

Di seguito sono riportate le piante dei vari piani con le differenti funzioni. Sono indicate le temperature ottimali in inverno e in estate, con la rispettiva umidità relativa ideale (UR%), tali da garantire il comfort termo-igrometrico adatto.



Primo terra



Primo primo

- MUSEO
Inverno: 20° - U.R. 50%
Estate: 26° - U.R. 50%
- SERVIZI
Sola ripresa

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria

Data la natura dell'edificio e della sua destinazione d'uso, si è resa necessaria l'installazione di un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata per mantenere le condizioni comfort termigrometriche e, soprattutto, per il controllo della qualità dell'aria. L'impianto è dunque basato su quattro Unità di Trattamento dell'Aria (UTA), collocate in copertura, ognuna con la propria zona di controllo in base alla sua localizzazione (un quarto dell'edificio). Le macchine in questione provvedono quindi al compito di ventilazione meccanica e di climatizzazione.

Per quanto riguarda la distribuzione dei canali aeraulici è stato previsto, per ogni macchina, un vano tecnico che attraversa verticalmente l'intero edificio, consentendo la distribuzione verticale. Orizzontalmente il sistema sfrutterà i controsoffitti per distribuire l'aria ai terminali di emissione (diffusori a soffitto). Per il sistema di ripresa sono previste delle griglie a pavimento. Di seguito lo schema di suddivisione delle quattro UTA previste.



Primo primo

Per alcuni ambienti, quali zone di passaggio o locali tecnici, non è previsto il controllo meccanico della ventilazione mentre per i blocchi servizi è prevista la sola aspirazione dell'aria.

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria

Ambiente	In. affollamento [Pers/m ²]	Area [m ²]	Numero persone [numero]	Altezza [m]	Volume [m ³]	Portata a persona [m ³ /h]	Portata a volume [ricambi orari]
Museo	0,3	939	296	5,4	-	40,0	-
Servizi piano terra	-	19	-	4,0	76	-	8,0
Servizi piano primo	-	19	-	5,4	103	-	8,0

Indice di affollamento

DIMENSIONAMENTO UTA					
	Area [m ²]	In. affollamento [Pers/m ²]	Portata aria per persona [m ³ /h]	Portata UTA [m ³ /h]	Modello selezionato
UTA 1	235	0,3	40	2960	FM28 3.010 mc/h; b: 895 mm - h: 805 mm
UTA 2	235	0,3	40	2960	FM28 3.010 mc/h; b: 895 mm - h: 805 mm
UTA 3	235	0,3	40	2960	FM28 3.010 mc/h; b: 895 mm - h: 805 mm
UTA 4	235	0,3	40	2960	FM28 3.010 mc/h; b: 895 mm - h: 805 mm

Dimensionamento UTA

DIMENSIONAMENTO CANALI									
	Area [m ²]	In. affollamento [Pers/m ²]	Altezza [m]	Ricambi d'aria [vol/h]	Portata aria per persona [m ³ /h]	Velocità dell'aria [m/s]	Secondi [s]	Area canale [m ²]	Sezione [cm]
Totale per UTA	235	0,3	-	-	40	3	3600	0,27	70 x 40
Angoli	68	0,3	-	-	40	3	3600	0,08	40 x 20
Diramazione interna	167	0,3	-	-	40	3	3600	0,20	25 x 20
Diramazione interna	120	0,3	-	-	40	3	3600	0,14	40 x 35
Diramazione interna	44	0,3	-	-	40	3	3600	0,05	20 x 25
Servizi primo piano	19	-	4	8	-	3	3600	0,06	30 x 20
Servizi piano terra	19	-	4,5	8	-	3	3600	0,06	30 x 20
Totale servizi	38	-	4,5	8	-	3	3600	0,13	65 x 20

Dimensionamento dei canali

Indice di affollamento e portate d'aria a volume

Impostate le zone da servire per ogni UTA, si è reso necessario stabilire i vari indici di affollamento, per ogni metro quadrato di superficie o delle portate d'aria esterna, che variano in base alla destinazione d'uso dei vari locali come è definito dalla norma UNI 10339. Questo è utile per stabilire la portata d'aria totale per ogni ambiente e dimensionare correttamente l'impianto.

Per le aree museali è stato preso un'indice di affollamento pari a 0,3 persone/mq e moltiplicato per la portata d'aria necessaria a persona (40 mc/h), mentre per i servizi è stato moltiplicato il volume per i ricambi d'aria richiesti da normativa 8 vol/h.

A lato viene riportata una tabella nella quale vengono indicati gli indici adottati ed i risultati ottenuti, ovvero le portate d'aria a volume o a persona.

Dimensionamento impianto di ventilazione

Incrociando i dati ricavati in precedenza, è stato possibile ottenere le portate d'aria di ogni ambiente che hanno consentito di dimensionare sia le canalizzazioni per il convogliamento delle masse d'aria che le macchine per la ventilazione meccanica.

In particolare i calcoli effettuati consistono in una preventiva definizione delle superfici e dei volumi dei vari ambienti di competenza delle singole UTA.

Quindi, sempre in relazione all'indice di affollamento ed ai ricambi d'aria orari definiti, sono state calcolate le portate d'aria in [mc/h] di ogni macchinario in base all'area di competenza.

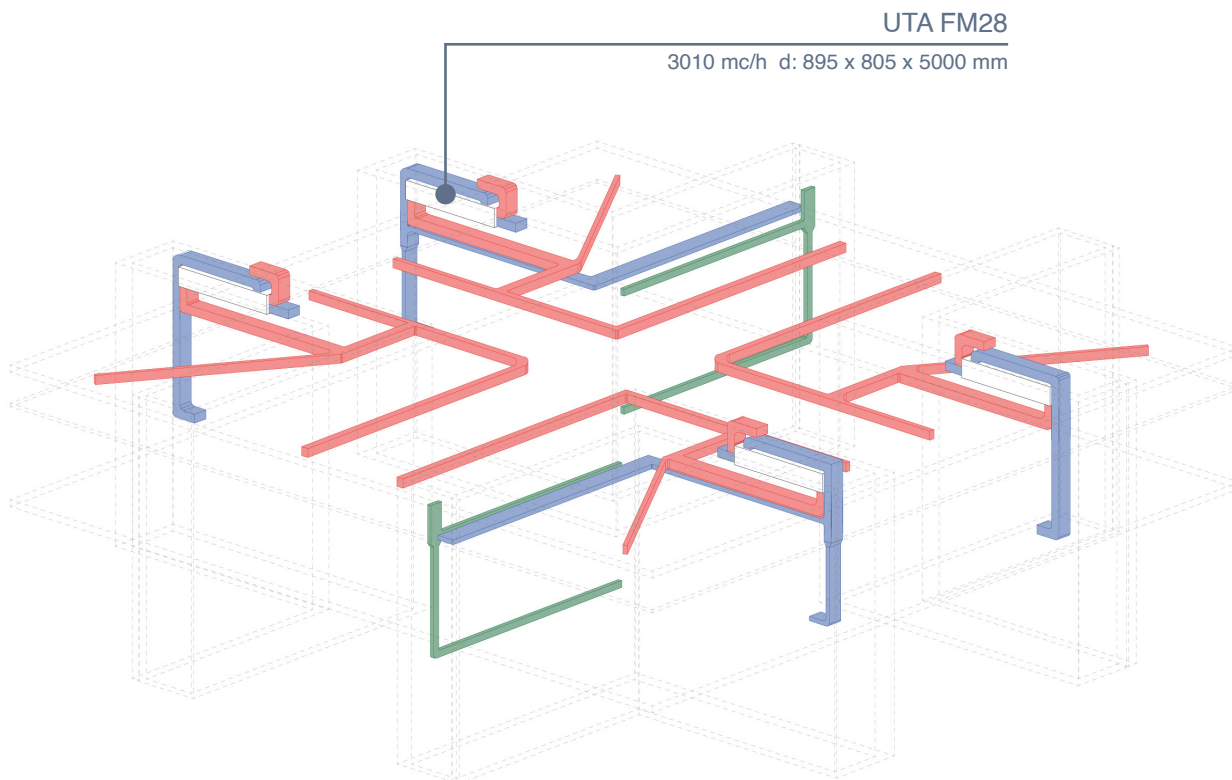
Il passaggio da portata d'aria definita in [mc/h] alle aree delle canalizzazioni in [mq] e [cmq] è stato calcolato attraverso la formula:

$$A = V \text{ [mc/h]} / (3600 \text{ [s/h]} \cdot 3 \text{ [m/s]})$$

dove 3 [m/s] corrisponde alla velocità dell'aria scelta in base al minor rumore in esercizio dell'impianto e alla minore perdita di carico.

Per quanto riguarda i vani tecnici e di servizio, è stata presa in considerazione solo l'aspirazione e non la mandata d'aria.

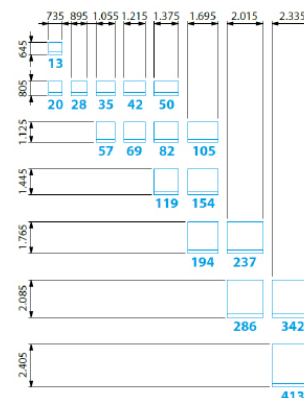
Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria



Schema 3D



ERP ready EU regulation 1253



Taglia FM		13	20	28	35	42	50	57	69
Portata aria (velocità 2 m/s)	m ³ /h	910	1.450	2.000	2.510	3.060	3.610	4.300	4.970
Portata aria (velocità 2,5 m/s)	m ³ /h	1.130	1.810	2.500	3.130	3.820	4.510	5.090	6.210
Portata aria (velocità 3 m/s)	m ³ /h	1.360	2.180	3.010	3.760	4.590	5.420	6.110	7.460
Portata aria (velocità 3,5 m/s)	m ³ /h	1.590	2.540	3.510	4.390	5.350	6.320	7.460	8.700

2.1. Scheda tecnica UTA

Dimensionamento

In seguito ai risultati ottenuti dai calcoli relativi alle portate d'aria di ogni ambiente, è stato possibile selezionare il modello più idoneo di unità di trattamento dell'aria.

Il catalogo selezionato è quello della FAST che offre modelli di UTA con portate d'aria da 1.000 a 100.000 m³/h.

Inoltre, essendo che le UTA sono composte da diversi moduli in base alle prestazioni che possono svolgere e da essi varia il suo ingombro, di seguito riportiamo i moduli richiesti da progetto:

- ventilatori di ripresa e di mandata;
- sezioni filtranti sull'aria di ripresa e sull'aria esterna;
- recuperatore di calore;
- batteria per il pre-riscaldamento dell'aria;
- batteria per il raffreddamento e deumidificazione dell'aria;
- sezione di umidificazione dell'aria e separatore di gocce;
- batteria per il post-riscaldamento dell'aria;

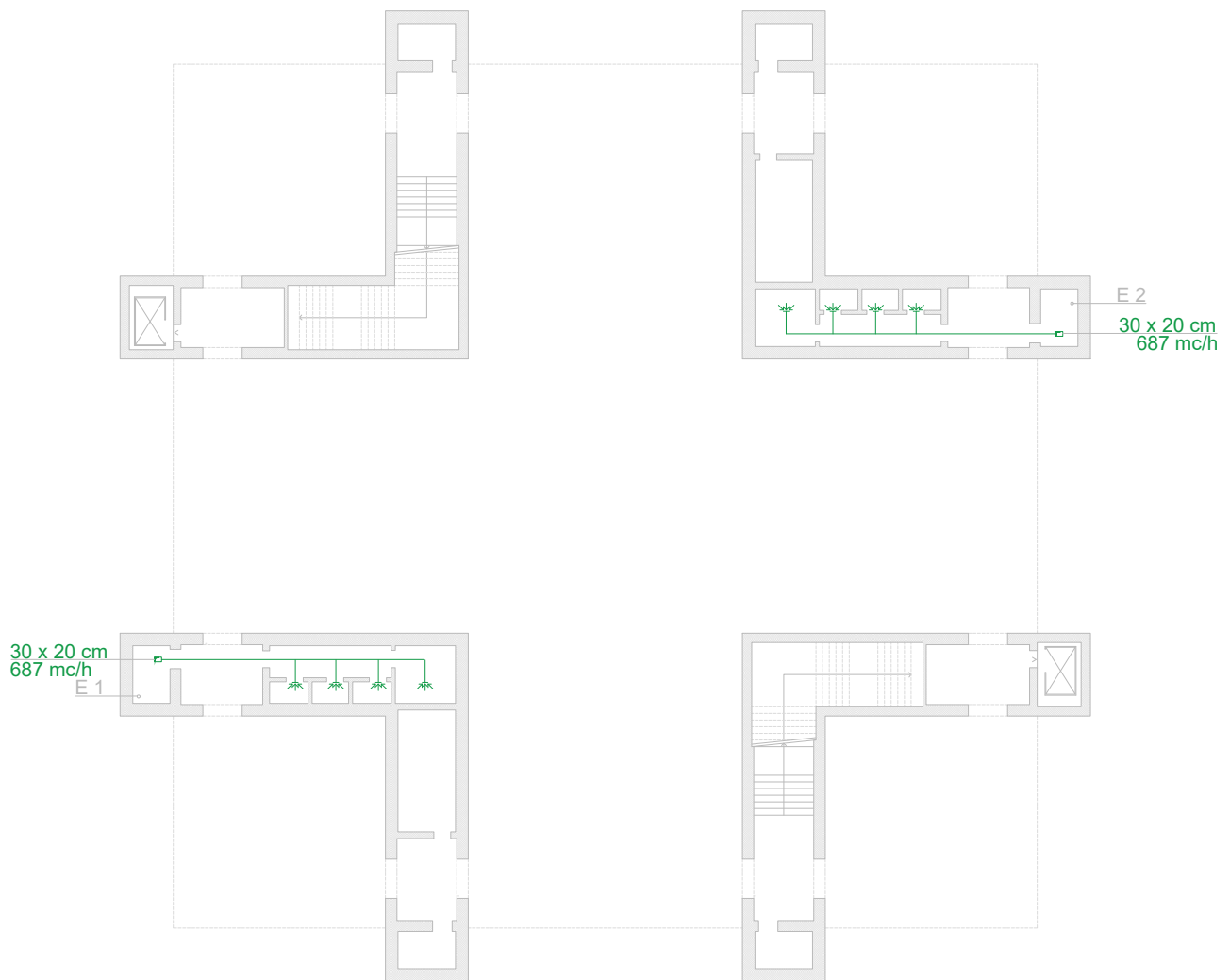
Considerando che ogni modulo ha una lunghezza di circa 50 cm si ottiene una UTA di circa cinque metri.

Essendo che le suddivisioni delle aree di competenza iniziali hanno esigenze di portata d'aria uguali, è stato necessario selezionare solo un modello di UTA. In particolare è stato scelto il modello FM28 della Fastaer con una portata di 3.010 mc/h e dimensioni di 895 mm per 805 mm (soddisfa la richiesta di 2.959 mc/h).

Di lato è riportata la scheda tecnica e lo schema di rappresentazione dell'impianto.

La mandata d'aria nei vari ambienti è affidata a dei diffusori a soffitto, mentre la ripresa avviene con griglie a pavimento in corrispondenza dei vani tecnici.

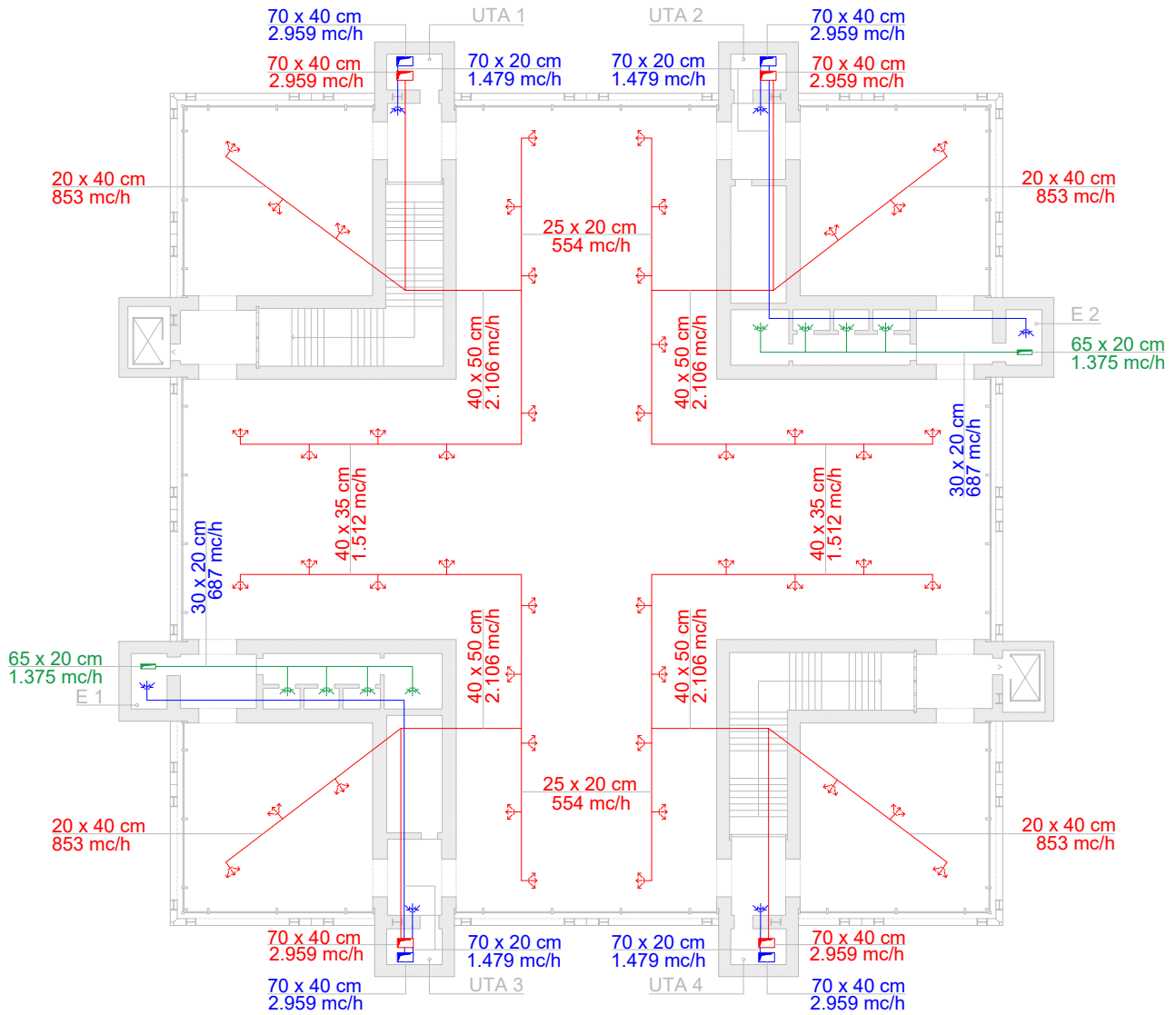
Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria



■ MANDATA ■ RIPRESA ■ ASPIRAZIONE

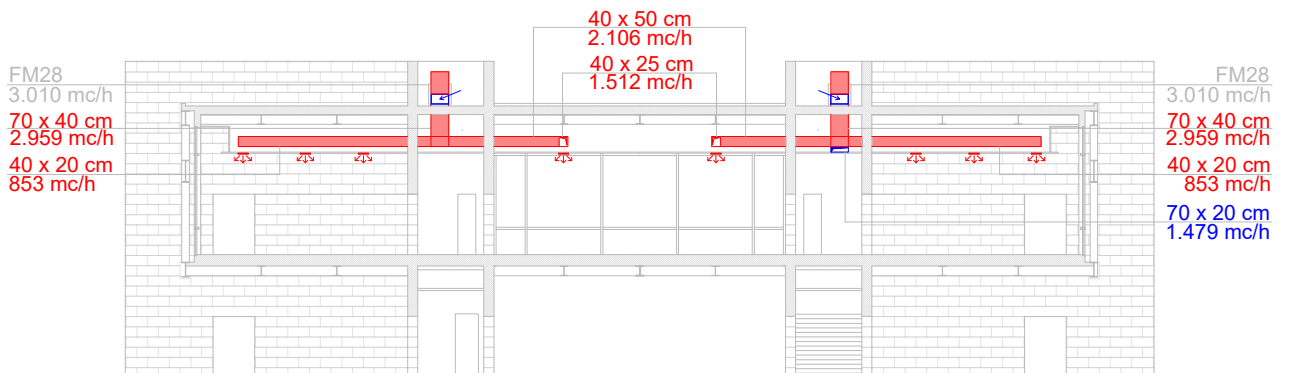
Pianta piano terra

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria



■ MANDATA ■ RIPRESA ■ ASPIRAZIONE

Pianta piano primo



■ MANDATA ■ RIPRESA ■ ASPIRAZIONE

Sezione trasversale

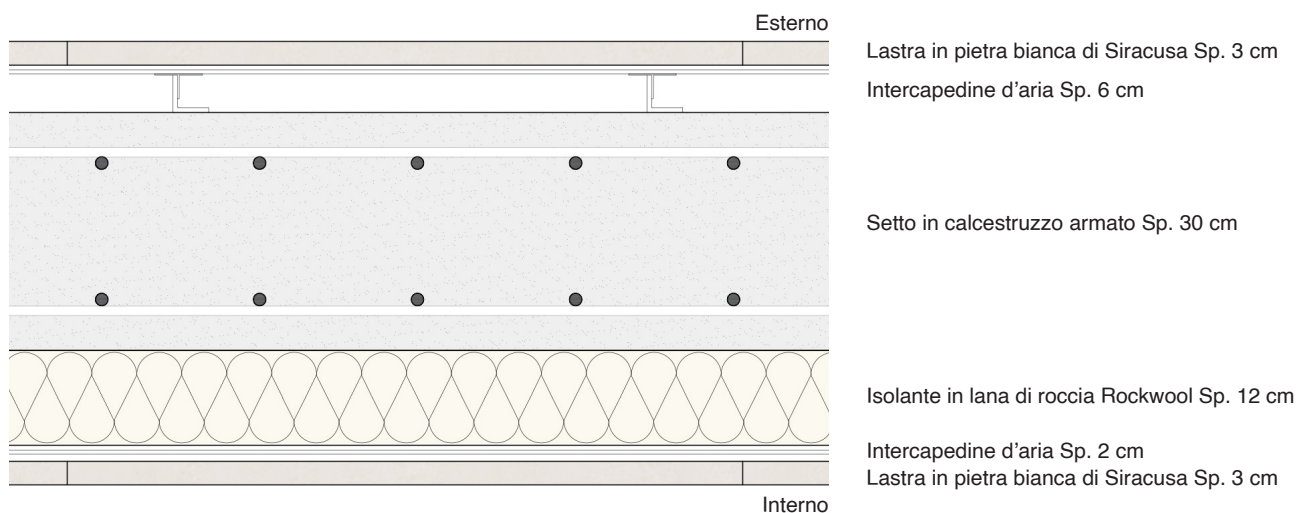
Involucro edilizio

Per il conseguimento di un edificio performante, oltre alla ricerca di soluzioni energetiche attive, è stata prestata molta attenzione alle chiusure verticali e orizzontali, e alla loro relativa trasmittanza. Tutte le stratigrafie abbattano i limiti imposti dalla normativa della metà, in questo modo si riducono drasticamente i consumi energetici, dati dagli impianti, nella fase d'uso dell'edificio. In particolare, i limiti per la Zona B imposti per gli elementi disperdenti verso l'esterno o verso zone non climatizzate sono:

- trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra - $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati - $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra - $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati - $3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

In particolare, per minimizzare i carichi termici irradianti, si è scelto un vetro doppio 6+6 basso emissivo e un oscuramento interno in tessuto rivestito di alluminio (trasmittanza $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$).

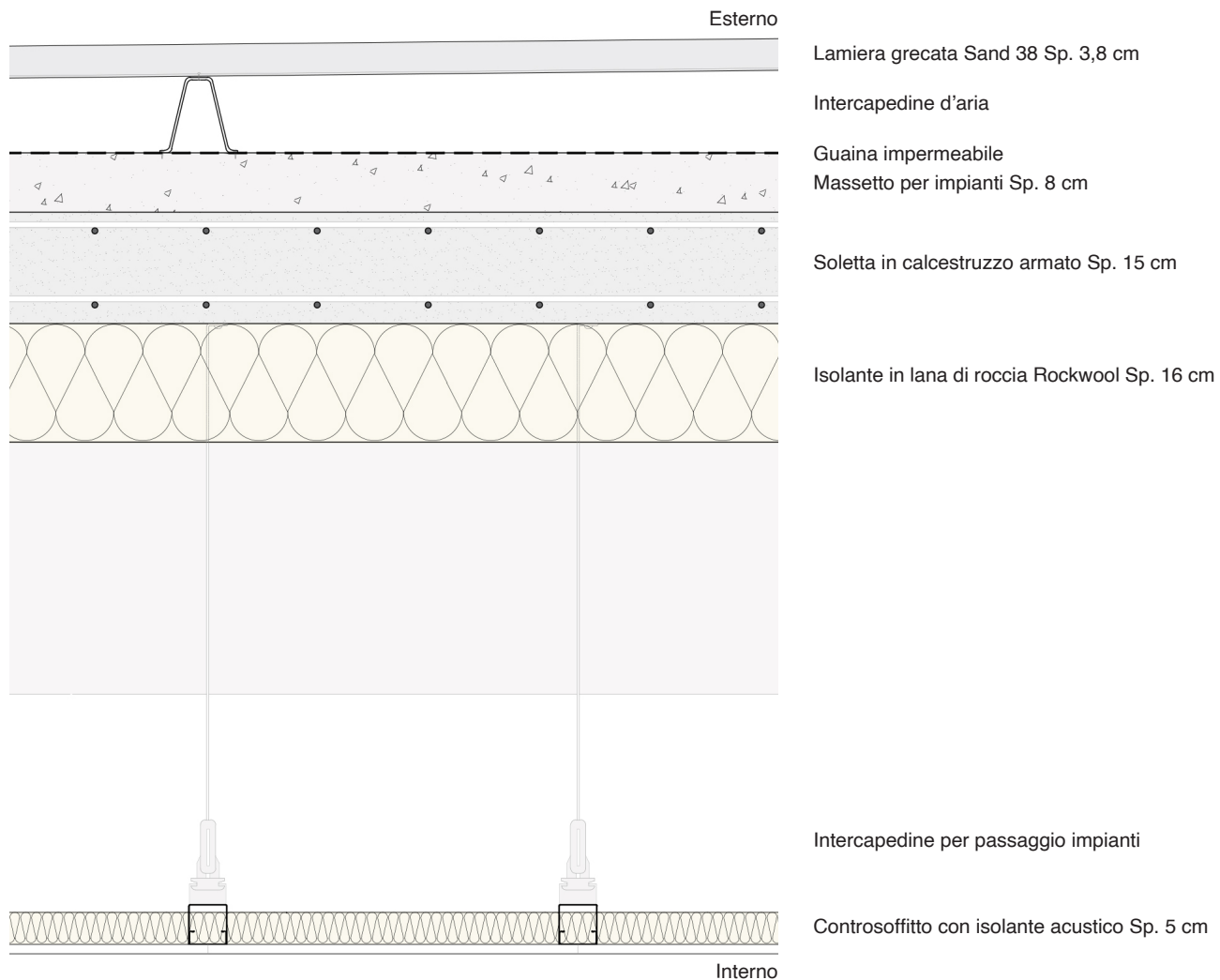
Muro perimetrale (scala)



DATI GENERALI	
Spessore	53,00 cm
Resistenza	$4,286 > 2,500 \text{ m}^2\text{K/W}$
Trasmittanza	$0,233 < 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Solaio di copertura (aula)

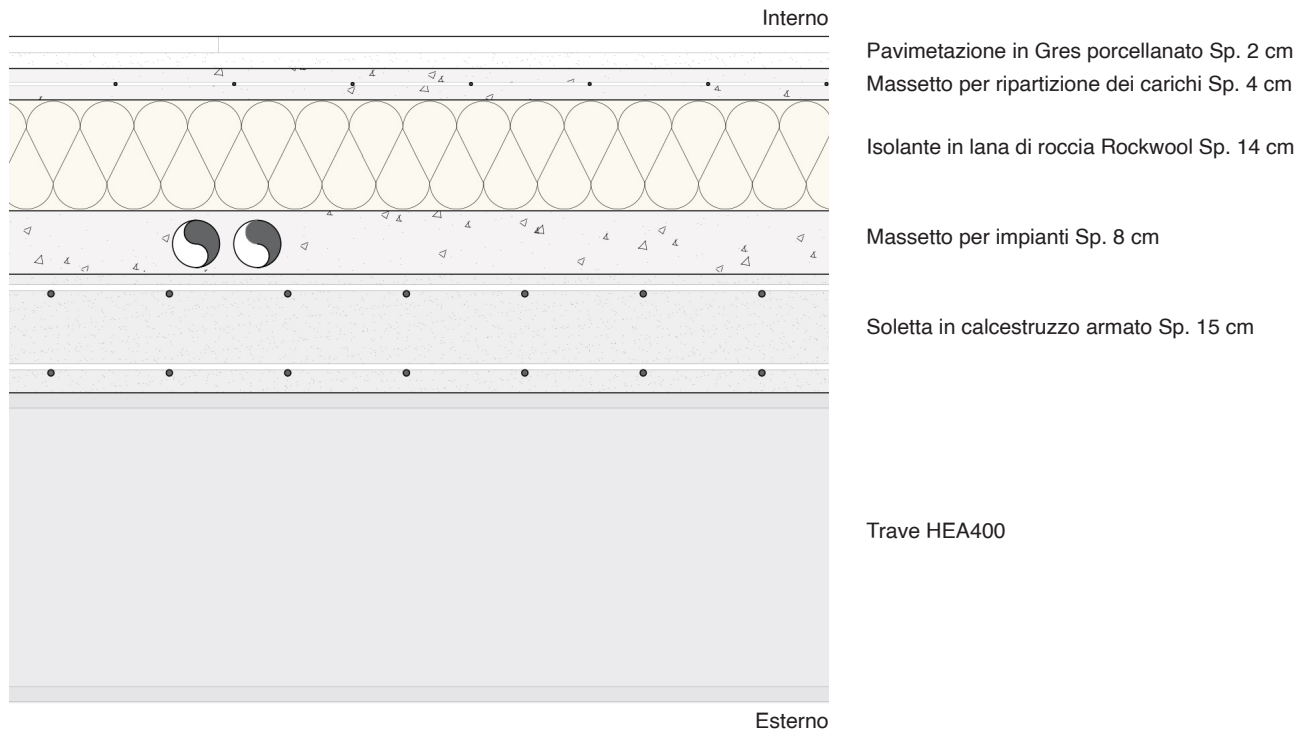


DATI GENERALI	
Spessore	39,00 cm
Resistenza	$5,127 > 3,125 \text{ m}^2\text{K/W}$
Trasmittanza	$0,195 < 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoreflex

Involucro edilizio

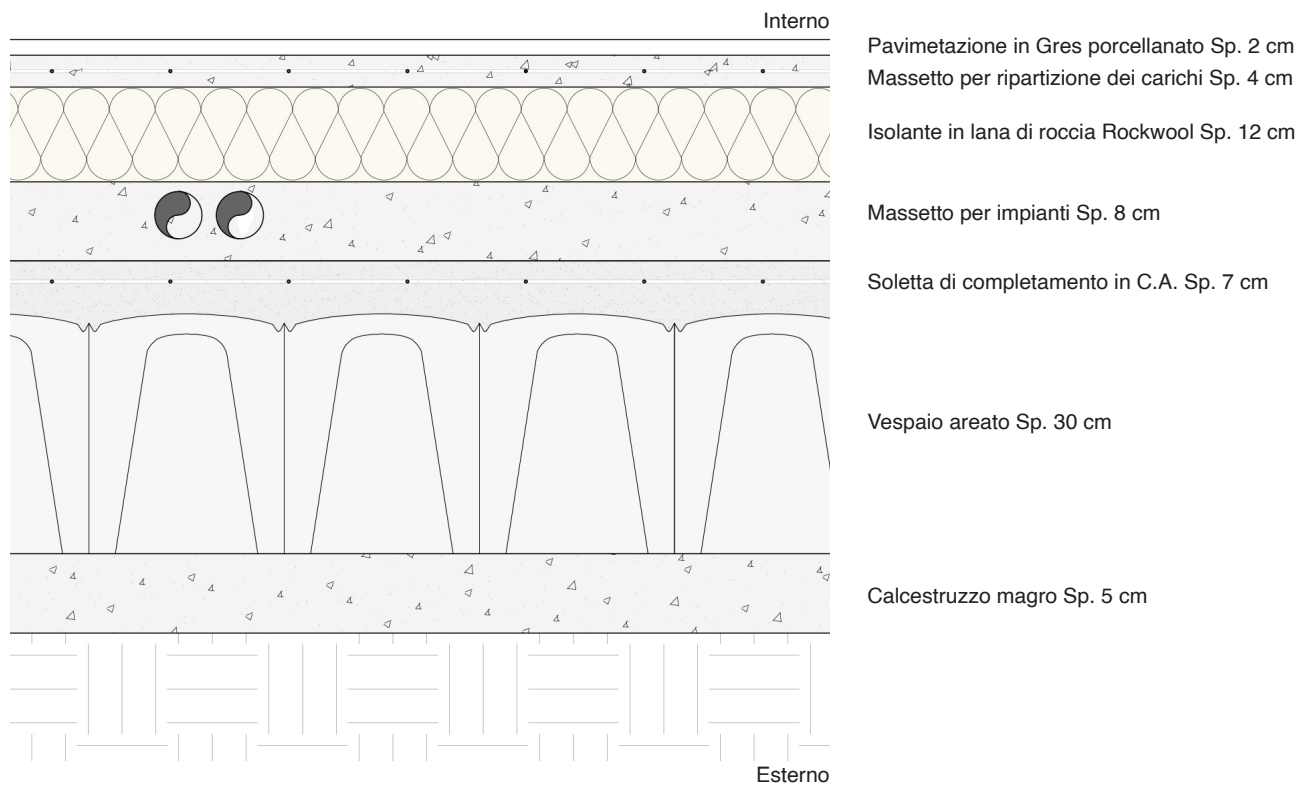
Solaio piano primo (aula)



DATI GENERALI	
Spessore	45,00 cm
Resistenza	4,578 > 2,381 m ² K/W
Trasmittanza	0,218 < 0,42 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Solaio controterra



DATI GENERALI	
Spessore	39,00 cm
Resistenza	5,126 > 2,381 m ² K/W
Trasmittanza	0,195 < 0,42 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Carichi invernali

Per effettuare il calcolo dei carichi termici invernali è necessario prendere in considerazione le condizioni esterne peggiori invernali in termini di temperatura e umidità relativa:

$$\begin{aligned} T_i &= 20^\circ\text{C} - 50\% \text{ UR} \\ T_e &= 5^\circ\text{C} - 70\% \text{ UR} \\ \Delta H &= 12 \text{ KJ/Kg} \quad \Delta T = 15 \text{ K} \end{aligned}$$

La potenza termica di riscaldamento massima è data dalla seguente formula:

$$Q_{\text{riscaldamento}} = Q_{\text{trasmissione}} + Q_{\text{ventilazione}}$$

Carichi di trasmissione

Il carico per trasmissione termica dall'involucro viene calcolato dalla sommatoria dei prodotti tra le trasmittanze U e le superfici S di ogni elemento dell'involucro edilizio, trasparente ed opaco, a loro volta moltiplicati per la differenza tra la temperatura interna T_i e la temperatura esterna T_e di progetto (segue la stessa formula del carico termico di trasmissione estivo con la variazione della differenza di temperatura, ΔT , in base ai dati di progetto).

$$Q_{\text{trasmissione}} = \sum z(Uz Sz)_{\text{TRAS}} \cdot (T_i - T_e) + \sum j(Uj Sj)_{\text{OPACHI}} \cdot (T_i - T_e)$$

	U [W/m ² K]	A [m ²]	Δt [K]	U*A* Δt [W]	23	KW
Solaio copertura	0,19	1021	15	2984		
Solaio copertura setti	0,20	358	15	1100		
Solaio	0,25	1379	15	5130		
Muro scale	0,26	325	15	1259		
Muro bagni e locali	0,25	325	15	1233		
Vetro	1,20	613	15	11038		

Carichi di ventilazione

I carichi per ventilazione vengono valutati sia per la condizione invernale che estiva. Sono definiti come la quantità di energia, in termini di calore, persa o acquisita, a seguito di un trattamento dell'aria. Il calcolo è il prodotto tra la massa d'aria m_{vent} e la differenza di entalpia tra l'aria di rinnovo e l'aria interna ΔH .

$$Q_{\text{ventilazione}} = m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$$

m_{vent} è uguale al prodotto tra la portata d'aria immessa negli ambienti V [mc/h] e la densità dell'aria $d = 1,225 \text{ kg/mc}$, il tutto diviso per 3600 per portare il risultato in secondi.

	N. persone o Area [m ³]	Ricambio o portata a persona [m ³ /h]	Portata [m ³ /s]	Densità aria [Kg/m ³]	ΔH [KJ/Kg]	61	KW
Locali museali	300	40	3,33	1,225	12		
Servizi	356	8	0,79	1,225	12		

Per effettuare il calcolo dei carichi termici estivi è necessario prendere in considerazione le condizioni esterne peggiori estive in termini di temperatura e umidità relativa:

$$\begin{aligned} T_i &= 26^\circ\text{C} - 50\% \text{ UR} \\ T_e &= 33^\circ\text{C} - 75\% \text{ UR} \\ \Delta H &= 40 \text{ KJ/Kg} \quad \Delta T = 7 \text{ K} \end{aligned}$$

La potenza termica di raffrescamento massima è data dalla formula:

$$Q_{\text{raffrescamento}} = Q_{\text{trasmissione}} + Q_{\text{ventilazione}} + Q_{\text{endogeni}} + Q_{\text{solare}}$$

Carichi di trasmissione

	U [W/m ² K]	A [m ²]	Δt [K]	U*A*Δt [W]	11	KW
Solaio copertura	0,19	1021	7	1392		
Solaio copertura setti	0,20	358	7	514		
Solaio	0,25	1379	7	2394		
Muro scale	0,26	325	7	587		
Muro bagni e locali	0,25	325	7	575		
Vetro	1,20	613	7	5151		

Carichi di ventilazione

	N. persone o Area [m ³]	Ricambio o portata a persona [m ³ /h]	Portata [m ³ /s]	Densità aria [Kg/m ³]	ΔH [KJ/Kg]	202	KW
Locali museali	300	40	3,33	1,225	40		
Servizi	356	8	0,79	1,225	40		

Carichi termici endogeni

La componente degli elementi endogeni, è data dalla sommatoria del calore generato dagli utenti del complesso e la somma delle potenze elettriche dei dispositivi di illuminazione.

$$Q_{\text{endogeni}} = Q_{\text{illuminazione}} + Q_{\text{utenti}}$$

Per quanto riguarda il calore generato dagli utenti si considerano 50W a persona mentre per il carico termico di illuminazione si è fatto un dimensionamento di massima ipotizzando 5W a metro quadrato.

	Numero persone	Superficie [m ²]	Carico [W]	Totale [W]	20	KW
Croce	300	-	50	15000		
Illuminazione	-	1000	5	5000		

Carichi estivi

Carichi solari

I carichi solari derivano dall'apporto di calore proveniente dal sole, il quale costituisce un fattore peggiorativo per la climatizzazione estiva.

Per il calcolo, è stata presa in considerazione la facciata vetrata più esposta ad irradiazione ovvero quella Sud-Est. La componente solare è espressa dalla formula:

$$Q_{\text{solare}} = I_{\text{max}} \cdot S_{\text{vetrate}} \cdot FS_{\text{tot}} \cdot f_{\text{accumulo}}$$

I quattro fattori da considerare per il calcolo sono:

- I_{max} è il valore massimo giornaliero dell'irradianza solare relativa all'elemento nel mese di Luglio, in modo tale da essere diretta alla facciata in esame [W/m^2];
- S_{vetrate} è l'area delle superfici vetrate esposte nell'orientamento in esame che fanno parte dell'elemento [m^2];
- FS_{tot} è il fattore solare complessivo, che dipende dal tipo di vetro e dall'eventuale presenza di oggetti e schermature;
- $FS_{\text{tot}} = FS \cdot f_{\text{v+s}}$ % vetro non ombreggiato;
- f_{accumulo} è il fattore di accumulo, che dipende dal rapporto tra la massa dell'edificio e la superficie di pavimento. L'edificio risulta rientrare nella categoria pesante.

	I_t [W/m^2]	FS	A_w [m^2]	Fattore accumulo		
SO	473	0,07	0,3	0,43	4	KW

Il carico complessivo risulta essere poco rilevante poiché grazie alla conformazione architettonica la facciata in esame risulta essere molto ombreggiata e, inoltre, anche grazie alla tipologia del serramento scelto permette di ridurre il carico.

Riassunto carichi

Come è prevedibile il carico estivo risulta maggiore rispetto a quello invernale in quanto, il caldo estivo della zona di progetto è più problematico rispetto al freddo della stagione invernale (come confermano i dati climatici).

Carico estivo	237 KW
Qtrasmissione	4%
Qventilazione	85%
Qsolare	2%
Qendogeni	8%

Carico invernale	84 KW
Qtrasmissione	27%
Qventilazione	73%

Centrale termo-frigorifera

L'impianto di generazione termica scelto per il progetto è costituito da pompe di calore che riducono le emissioni di CO₂ rispetto ad impianti a combustione. Le pompe di calore scelte sono di tipo geotermico (acqua - acqua) a circuito aperto.

Queste macchine termiche sono in grado di scambiare calore tra due fluidi vettori. In sintesi, il loro funzionamento, si basa sul prelevamento dell'acqua di mare. Tra l'acqua presa dal mare e la pompa di calore è interposto uno scambiatore termico poiché in caso di danneggiamento è più facile ed economico la sostituzione di quest'ultimo. L'acqua di mare scambia il proprio calore con il fluido termovettore (acqua glicolata) e viene successivamente reimmessa nel sottosuolo attraverso un altro pozzo posto a debita distanza.

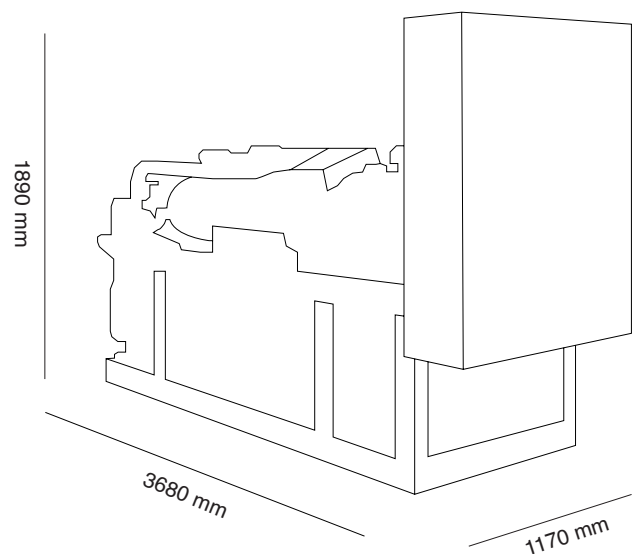
La macchina è di tipo reversibile, ovvero è in grado di funzionare sia come macchina frigorifera che termica e, dunque, deve soddisfare entrambi i parametri.

La centrale è stata posizionata al piano terra dell'edificio in punti raggiungibili con automezzi per la collocazione e la manutenzione dei macchinari.

A seguito dei calcoli relativi alla potenza termica di riscaldamento invernale ($Q_{\text{riscaldamento}}$) e alla potenza frigorifera di raffrescamento estivo ($Q_{\text{raffrescamento}}$), indicate nel capitolo precedente, si è scelta di predisporre la seguente PDC.

		1102	
Alimentazione elettrica	V/ph/Hz	400/3/50	
PRESTAZIONI			
REFRIGERAZIONE (GROSS VALUE)			
Potenza frigorifera	(1)	kW	246
Potenza assorbita totale	(1)	kW	55,8
EER	(1)		4,41
ESEER	(1)		-
REFRIGERAZIONE (EN14511 VALUE)			
Potenza frigorifera	(1)(2)	kW	245
EER	(1)(2)		4,17
ESEER	(1)(2)		4,56
Classe EUROVENT			
D			
RISCALDAMENTO (GROSS VALUE)			
Potenza termica	(3)	kW	265
Potenza assorbita totale	(3)	kW	66,8
COP	(3)		3,97
RISCALDAMENTO (EN14511 VALUE)			
Potenza termica	(3)(2)	kW	267
COP	(3)(2)		3,87
Classe EUROVENT			
C			
REFRIGERAZIONE CON RECUPERO PARZIALE			
Potenza frigorifera		kW	255
Potenza assorbita totale		kW	53,8
Pot. term al desurriscaldatore		kW	24,1

2.2. Scheda tecnica PDC selezionata



La potenza frigorifera soddisfa i 237 KW richiesti con i 245 KW che produce il macchinario, mentre la potenza termica di 267 KW della macchina soddisfano i 84 KW richiesti.

Impianto ACS

L'impianto di acqua calda sanitaria (ACS) è stato progettato in modo tale da avere una centrale indipendente rispetto a quella della climatizzazione.

Per calcolare la potenza dell'impianto, dopo aver stabilito il numero ed il tipo di utenze presenti (in questo caso 12 lavandini), si è moltiplicato il numero di utenze per la portata associata (6 l/minuto o 0,1l/secondo). Inoltre, è stato utilizzato un indice di contemporaneità di uso pari a 0,2 in modo tale da non sovrastimare il risultato.

Successivamente si è moltiplicato il tutto per il calore specifico dell'acqua (4186 J/KgK) e per la differenza di temperatura di servizio necessaria pari a 25 K.

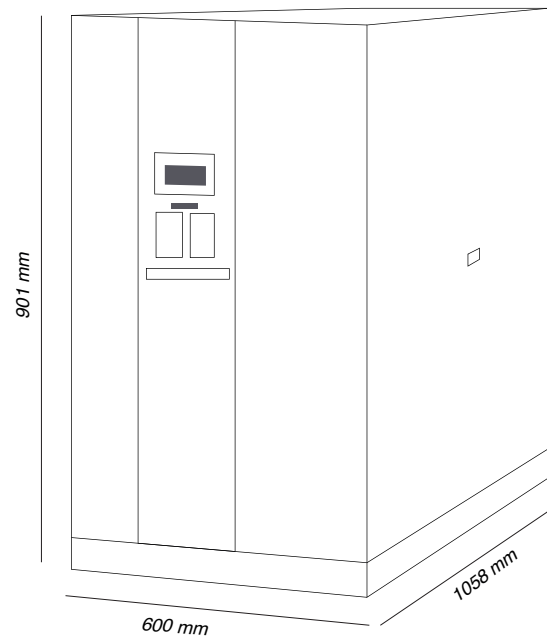
Numero utenze lavandino	Portata [l/secondi]	Coefficiente contemporaneità (cc)	Portata*cc [l/secondi]	Cp dell'acqua [J/kg K]	At [K]	Potenza	
12	0,1	0,2	0,24	4186	25	25	KW

Dunque la potenza termica richiesta è di 25 KW.

È stata selezionata una pompa di calore acqua-acqua del catalogo SNAP.

Essa verrà collocata al piano terra in modo da essere facilmente raggiungibile dagli automezzi per posizionarla e per essere facilmente ispezionabile. Di seguito è riportata la scheda tecnica con le informazioni necessarie. La pompa di calore selezionata è la 61 WG HW1 020 con potenza termica pari a 29 KW e Cop di 5,42.

61WG				020
HEATING				
Standard unit	HW1	Nominal capacity	kW	29
Full load performances*		COP	kW/kW	5,42
	HW3	Nominal capacity	kW	27
		COP	kW/kW	3,65
	HW4	Nominal capacity	kW	26
		COP	kW/kW	2,96
	HB1	Nominal capacity	kW	22
		COP	kW/kW	4,24
Seasonal efficiency**	HW1	SCOP _{30/35°C}	kW/kW	5,36
		η _{s heat} _{30/35°C}	%	206
	HW3	SCOP _{47/55°C}	kW/kW	4,37
		η _{s heat} _{47/55°C}	%	167
		P _{rated}	kW	32
		Energy labelling		A++



2.3. Scheda tecnica PDC selezionata

Impianto di illuminazione

Per l'impianto di illuminazione è stato eseguito un dimensionamento di massima secondo la formula:

$$\text{Potenza da installare} = \text{flusso luminoso [lm]} / \text{efficienza luminosa della lampada [lm/W]} \times \text{fm} \times \text{fu}$$
$$\text{Flusso luminoso [lm]} = \text{Illuminamento medio di esercizio [lm /m}^2\text{]} \times \text{superficie [m}^2\text{]}$$

L'illuminamento medio d'esercizio viene fornito secondo la norma UNI EN 12464-1, mentre l'efficienza luminosa è stata considerata di 160 lm/W, tipica delle lampade a LED.

Infine, la potenza in uscita è stata calcolata dividendo il flusso luminoso per l'efficienza luminosa della "lampada modello" selezionata.

Museo		
Illuminamento medio d'esercizio	400	lux
Superficie utile	923	mq
Efficienza luminosa	160	lm/W
Fattore di illuminazione	0,7	
Fattore ambiente/utilizzazione	0,5	
Flusso luminoso	369328	lm
Qelettrico illuminazione	7	KW

Servizi e depositi		
Illuminamento medio d'esercizio	250	lux
Superficie utile	359	mq
Efficienza luminosa	160	lm/W
Fattore di illuminazione	0,7	
Fattore ambiente/utilizzazione	0,5	
Flusso luminoso	89775	lm
Qelettrico illuminazione	2	KW

In totale l'impianto di illuminazione ha un consumo massimo di circa 9 KW.

Impianto elettrico

Nel calcolo dei carichi elettrici sono stati considerati i macchinari delle unità trattamento dell'aria, le pompe di calore (sia quella per la climatizzazione che quella per l'acqua calda sanitaria), gli apparecchi di illuminazione e gli ascensori. I consumi di energia elettrica relativi ai macchinari presenti sono stati inizialmente considerati al loro massimo, come se, tutti gli apparecchi funzionassero contemporaneamente con la massima potenza. Per quanto riguarda la pompa di calore il valore di energia elettrica consumata è stato calcolato dividendo il valore in KW di riscaldamento per il COP della macchina (così anche per la potenza frigorifera).

Successivamente, essendo che la macchina viene utilizzata sia per il riscaldamento che per il raffrescamento in base alla stagione, si è considerato il valore massimo tra le due poiché ci interessa indagare la potenza massima di picco che potrebbe essere richiesta dall'intero edificio. Per la PDC che si occupa dell'acqua calda sanitaria è stato utilizzato lo stesso metodo. Le potenze elettriche delle pompe di calore sono state poi maggiorate di un 5% (fattore di sicurezza).

Impianto forza motrice			
Ascensori	2	19	KW
Totale		38	KW

Pompa di calore						
Potenza frigorifera	296	KW	EER	4,25	70	KW
Maggiorato del cinque per cento				>	73	KW

Impianto illuminazione		
Museo	9	KW
Servizi	2	KW
Totale	11	KW

ACS						
Potenza termica	42	KW	COP	5,29	7,9	KW
Maggiorato del cinque per cento				>	8,3	KW

L'impatto delle UTA è stato stimato in base alla quantità di aria totale di mandata, prendendo in considerazione i dati forniti da DM 15 giugno 2015, appendice A, paragrafo 1.2.3, "Fabbisogni energetici di ventilazione". Rispetto alla tabella riportata è stato considerato il caso di ventilazione a doppio flusso con recupero di calore.

Unità trattamento dell'aria				
	Eve [Wh/m ³]	Portata [m ³ /h]		
Ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero	0,5	12000	6000	W
Totale			6	KW

L'impianto elettrico ha un consumo massimo di 108 KW.

Il DM 26 giugno 2015 specifica «le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche» che devono essere soddisfatte dagli edifici.

In particolare i valori da verificare sono: il Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente $H'T$ - $[W/(m^2K)]$ e il parametro della penetrazione media della radiazione solare attraverso i serramenti ($A_{sol,est} / A_{sup,utile}$).

Inoltre, sempre secondo normativa, per rendere l'edificio ad energia quasi zero, ovvero ad altissima prestazione energetica (il cui fabbisogno energetico è molto basso o quasi nullo), quest'ultimo deve essere coperto in maniera significativa da energia proveniente da fonti rinnovabili.

Il valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico $H'T$ è indicato in normativa e si differenzia in base della zona climatica di riferimento (nel nostro caso B). Inoltre, si diversifica dal rapporto tra la superficie ed il volume dell'edificio (riportato in seguito).

Superficie $[m^2]$	3701
Volume $[m^3]$	10000
S/V $[m]$	0,37

Il rapporto tra la superficie ed il volume è di 0,37. Secondo la normativa questo ci riporta ad avere un valore massimo di $H'T$ di 0,63.

Per calcolare il Coefficiente medio globale di scambio termico $H'T$ $[W/m^2K]$ dell'edificio si è calcolata la trasmittanza termica di tutti gli elementi dell'involucro (opachi e trasparenti), moltiplicati per l'area degli stessi e dividendo il risultato per l'area totale dell'involucro. La formula prevede un fattore di riduzione (nel nostro caso preso il massimo per restare nei margini di sicurezza).

Area $[m^2]$	4022
Trasmittanza $[W/m^2K]$	1516
$H'T$ $[W/K]$	0,38

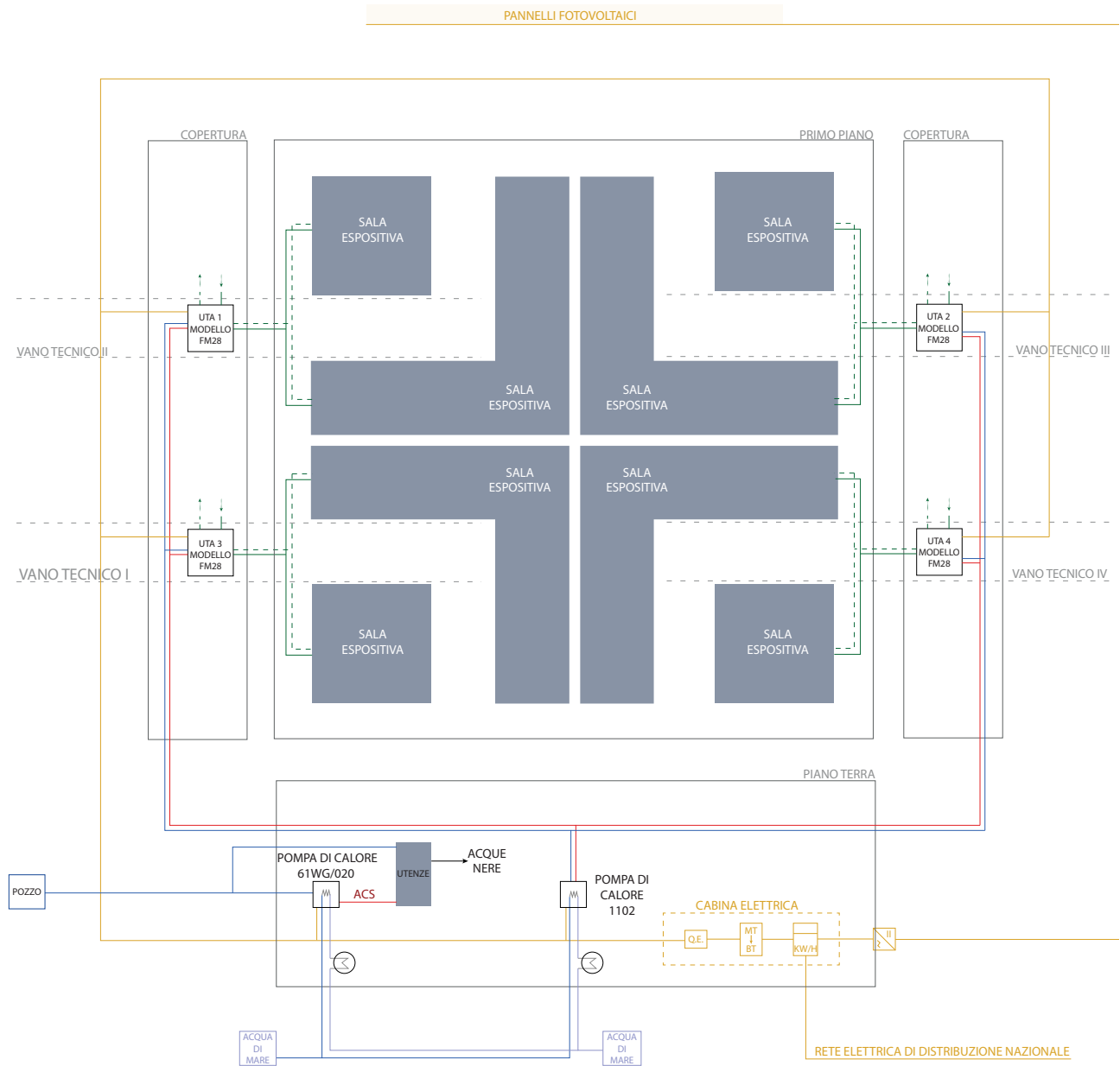
Il valore è 0,38 è quindi verificato.

Per quanto riguarda il valore massimo per il parametro $A_{sol,est} / A_{sup,utile}$ esso varia in funzione della categoria d'uso dell'edificio. Nel nostro caso equivale a 0,04. Il calcolo si basa sulla superficie utile esterna, sulle caratteristiche dei serramenti (area vetrata e fattore solare) e della presenza di schermature o ombreggiamenti. Riportati in seguito i risultati.

Sup, utile $[m^2]$	999
$A_{sol,est}$ $[m^2]$	34
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$	0,034

Il risultato è 0,034 è quindi verificato.

Schema flussi



Schema flussi Museo

La normativa tratta anche dell'integrazione obbligatoria di sistemi di produzione di energia elettrica sostenibile da fonti rinnovabili prodotta in situ.

Una prima verifica è la possibilità di installare, sopra o nelle relative pertinenze dell'edificio un impianto che produca, in termini di potenza elettrica (misurata in KW), energia elettrica pari alla moltiplicazione di un coefficiente (K, dato dalla normativa) per la superficie coperta dell'edificio. Per prima cosa si è riportato il pannello fotovoltaico selezionato, ovvero il Pannello canadian BiHiKu7 di cui si allega la scheda tecnica in appendice.

Conoscendo la potenza e la dimensione di un singolo pannello è stato possibile calcolare il numero totale di pannelli necessari.

Nel capitolo successivo si è dedotta la percentuale reale installabile tenendo in considerazione la dimensione netta disponibile di tutte le coperture del complesso.

Pannello canadianBiHiKu7	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Potenza nominale [KW]	Area [m ²]
	2,38	1,30	0,65	3,11

La formula da utilizzare per calcolare l'energia minima da coprire è quindi:

$$P = 1/K * S \text{ [kW]}$$

dove S è la superficie in pianta dell'edificio a livello del terreno, misurata in m², e K è un coefficiente avente valore pari a 50 m²/kW.

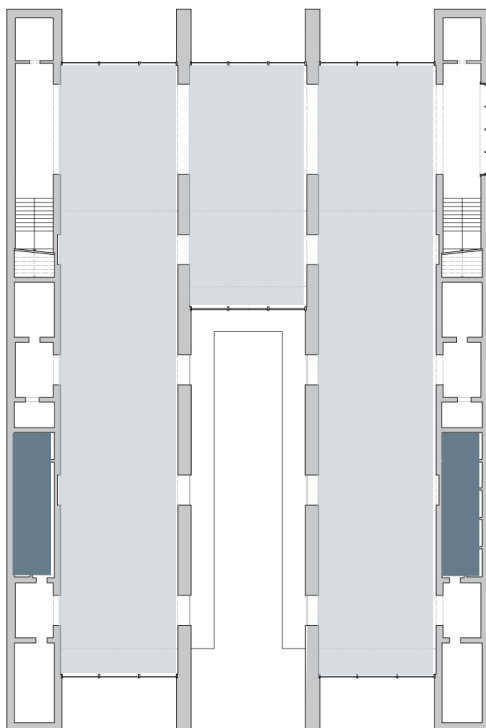
Superficie [m ²]	K	Potenza totale minima [KW]	Numero minimo pannelli	Superficie pannelli [m ²]
1021	50	20,42	31	98

Il numero minimo di pannelli previsti per l'edificio Museo è quindi di 98.

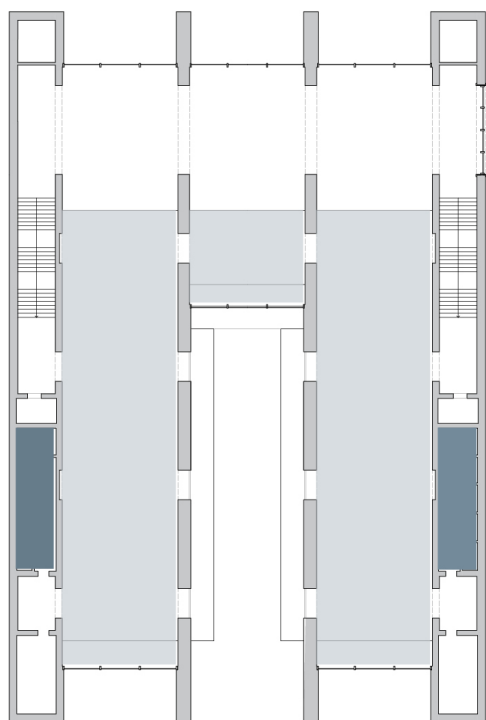
Arsenale

Comfort termico

Di seguito sono riportate le piante dei vari piani con le differenti funzioni. Sono indicate le temperature ottimali in inverno e in estate, con la rispettiva umidità relativa ideale (UR%), tali da garantire il comfort termo-igrometrico adatto.



Piano terra



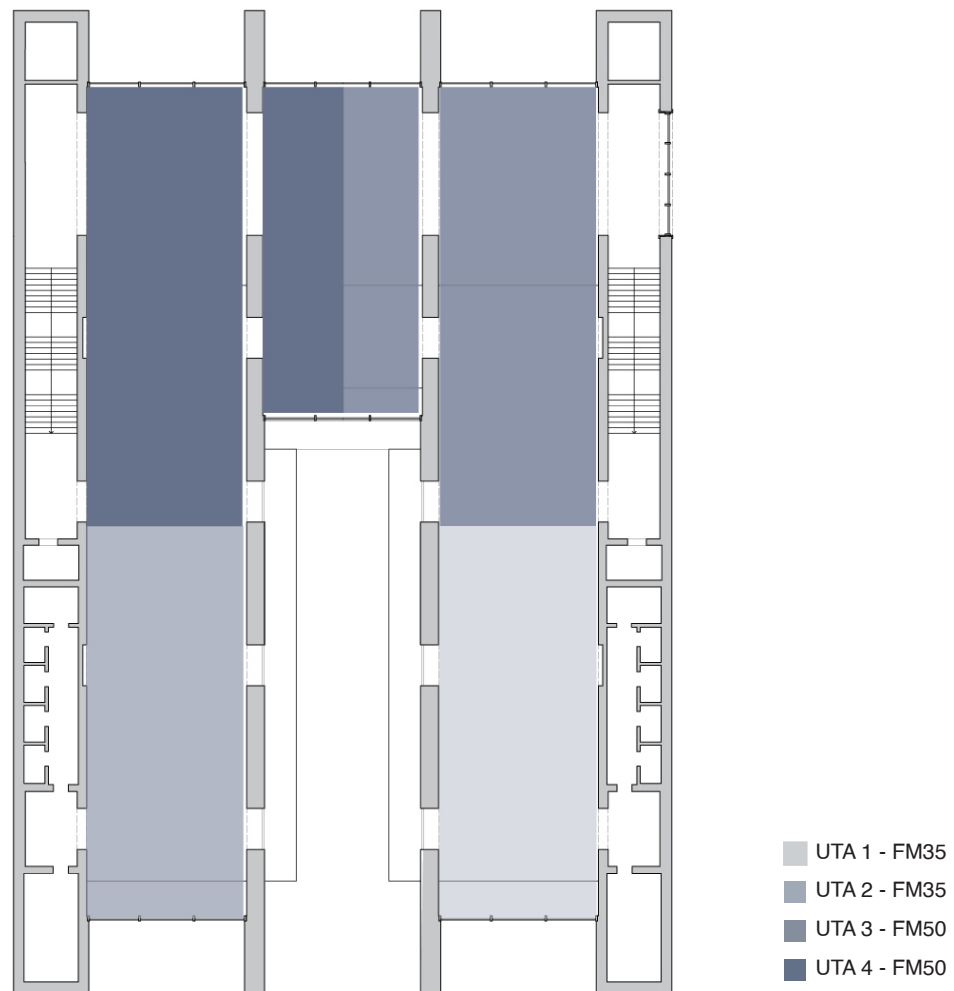
Piano primo

- MUSEO
Inverno: 20° - U.R. 50%
Estate: 26° - U.R. 50%
- SERVIZI
Sola ripresa

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria

Data la natura dell'edificio e della sua destinazione d'uso, si è resa necessaria l'installazione di un impianto di Ventilazione Meccanica Controllata per mantenere le condizioni comfort termigrometriche e, soprattutto, per il controllo della qualità dell'aria. L'impianto è dunque basato su quattro Unità di Trattamento dell'Aria (UTA), collocate in copertura, ognuna con la propria zona di controllo in base alla sua localizzazione (un quarto dell'edificio). Le macchine in questione provvedono quindi al compito di ventilazione meccanica e di climatizzazione.

Per quanto riguarda la distribuzione dei canali aeraulici è stato previsto, per ogni macchina, un vano tecnico che attraversa verticalmente l'intero edificio, consentendo la distribuzione verticale. Orizzontalmente il sistema sfrutterà i controsoffitti per distribuire l'aria ai terminali di emissione (diffusori a soffitto). Per il sistema di ripresa sono previste delle griglie a pavimento. Di seguito lo schema di suddivisione delle quattro UTA previste.



Piano tipo

Per alcuni ambienti, quali zone di passaggio o locali tecnici, non è previsto il controllo meccanico della ventilazione mentre per i blocchi servizi è prevista la sola aspirazione dell'aria.

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria

Ambiente	In. affollamento [Pers/m ²]	Area [m ²]	Numero persone [numero]	Altezza [m]	Volume [m ³]	Portata a persona [m ³ /h]	Portata a volume [ricambi orari]	Portata [m ³ /s]
Navate piano terra	0,3	758	222	-	-	40	-	2,46
Navate piano primo	0,3	582	178	-	-	40	-	1,98
Servizi piano terra	-	50	-	4,5	225	-	8,00	0,50
Servizi piano primo	-	50	-	4,5	225	-	8,00	0,50

Indice affollamento

DIMENSIONAMENTO UTA					
	Area [m ²]	In. affollamento [Pers/m ²]	Portata aria per persona [m ³ /h]	Portata UTA [m ³ /h]	Modello selezionato
UTA 1	370	0,3	40	4662	FM50 5.420 mc/h; b: 1375 mm - h: 805 mm
UTA 2	370	0,3	40	4662	FM50 5.420 mc/h; b: 1375 mm - h: 805 mm
UTA 3	255	0,3	40	3213	FM35 3.750 mc/h; b: 1055 mm - h: 805 mm
UTA 4	255	0,3	40	3213	FM35 3.750 mc/h; b: 1055 mm - h: 805 mm

Dimensionamento UTA

DIMENSIONAMENTO CANALI									
	Area [m ²]	In. affollamento [Pers/m ²]	Altezza [m]	Ricambi d'aria [vol/h]	Portata aria per persona [m ³ /h]	Velocità dell'aria [m/s]	Secondi [s]	Area canale [m ²]	Sezione [cm]
Totale per UTA 1-2	370	0,3	-	-	40	3	3600	0,41	85 x 50
Navata laterale	288	0,3	-	-	40	3	3600	0,34	85 x 40
Canale sotto terra	81	0,3	-	-	40	3	3600	0,09	20 x 50
Navata centrale p1	62	0,3	-	-	40	3	3600	0,07	35 x 20
Navata centrale p2	19	0,3	-	-	40	3	3600	0,02	10 x 20
Totale per UTA 3-4	255	0,3	-	-	40	3	3600	0,30	80 x 40
Navata laterale p1	134	0,3	-	-	40	3	3600	0,16	40 x 40
Navata laterale p2	134	0,3	-	-	40	3	3600	0,16	40 x 40
Servizi	26	-	4,5	8	-	3	3600	0,09	45 x 20

Dimensionamento canali

Indice di affollamento e portate d'aria a volume

Impostate le zone da servire per ogni UTA, si è reso necessario stabilire i vari indici di affollamento, per ogni metro quadrato di superficie o delle portate d'aria esterna, che variano in base alla destinazione d'uso dei vari locali come è definito dalla norma UNI 10339. Questo è utile per stabilire la portata d'aria totale per ogni ambiente e dimensionare correttamente l'impianto.

Per le aree museali è stato preso un'indice di affollamento pari a 0,3 persone/mq e moltiplicato per la portata d'aria necessaria a persona (40 mc/h), mentre per i servizi è stato moltiplicato il volume per i ricambi d'aria richiesti da normativa 8 vol/h.

A lato viene riportata una tabella nella quale vengono indicati gli indici adottati ed i risultati ottenuti, ovvero le portate d'aria a volume o a persona.

Dimensionamento impianto di ventilazione

Incrociando i dati ricavati in precedenza, è stato possibile ottenere le portate d'aria di ogni ambiente che hanno consentito di dimensionare sia le canalizzazioni per il convogliamento delle masse d'aria che le macchine per la ventilazione meccanica.

In particolare i calcoli effettuati consistono in una preventiva definizione delle superfici e dei volumi dei vari ambienti di competenza delle singole UTA.

Quindi, sempre in relazione all'indice di affollamento ed ai ricambi d'aria orari definiti, sono state calcolate le portate d'aria in [mc/h] di ogni macchinario in base all'area di competenza.

Il passaggio da portata d'aria definita in [mc/h] alle aree delle canalizzazioni in [mq] e [cmq] è stato calcolato attraverso la formula:

$$A = V \text{ [mc/h]} / (3600 \text{ [s/h]} \cdot 3 \text{ [m/s]})$$

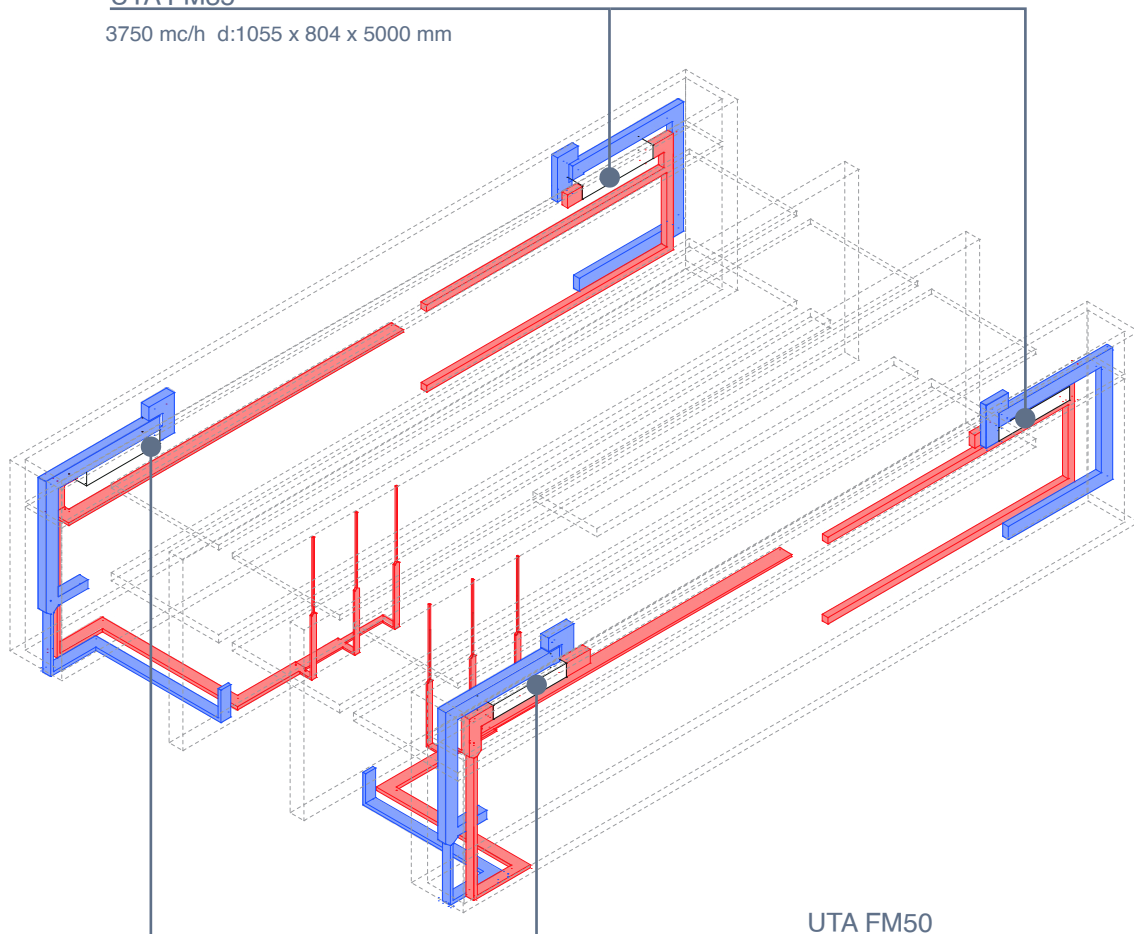
dove 3 [m/s] corrisponde alla velocità dell'aria scelta in base al minor rumore in esercizio dell'impianto e alla minore perdita di carico.

Per quanto riguarda i vani tecnici e di servizio, è stata presa in considerazione solo l'aspirazione e non la mandata d'aria.

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria

UTA FM35

3750 mc/h d:1055 x 804 x 5000 mm



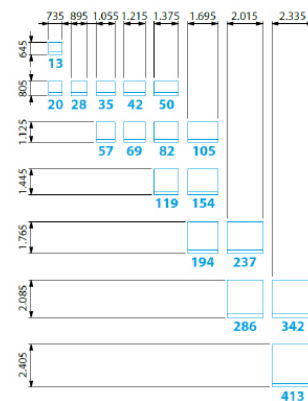
UTA FM50

5420 mc/h d:1375 x 806 x 5000 mm

Schema 3D



ERP ready EU regulation 1253



Taglia FM		13	20	28	35	42	50	57	69
Portata aria (velocità 2 m/s)	m ³ /h	910	1.450	2.000	2.510	3.060	3.610	4.300	4.970
Portata aria (velocità 2,5 m/s)	m ³ /h	1.130	1.810	2.500	3.130	3.820	4.510	5.090	6.210
Portata aria (velocità 3 m/s)	m ³ /h	1.360	2.180	3.010	3.760	4.590	5.420	6.110	7.460
Portata aria (velocità 3,5 m/s)	m ³ /h	1.590	2.540	3.510	4.390	5.350	6.320	7.460	8.700

3.1. Scheda tecnica UTA

Dimensionamento

In seguito ai risultati ottenuti dai calcoli relativi alle portate d'aria di ogni ambiente, è stato possibile selezionare il modello più idoneo di unità di trattamento dell'aria.

Il catalogo selezionato è quello della FAST che offre modelli di UTA con portate d'aria da 1.000 a 100.000 m³/h.

Inoltre, essendo che le UTA sono composte da diversi moduli in base alle prestazioni che possono svolgere e da essi varia il suo ingombro, di seguito riportiamo i moduli richiesti da progetto:

- ventilatori di ripresa e di mandata;
- sezioni filtranti sull'aria di ripresa e sull'aria esterna;
- recuperatore di calore;
- batteria per il pre-riscaldamento dell'aria;
- batteria per il raffreddamento e deumidificazione dell'aria;
- sezione di umidificazione dell'aria e separatore di gocce;
- batteria per il post-riscaldamento dell'aria;

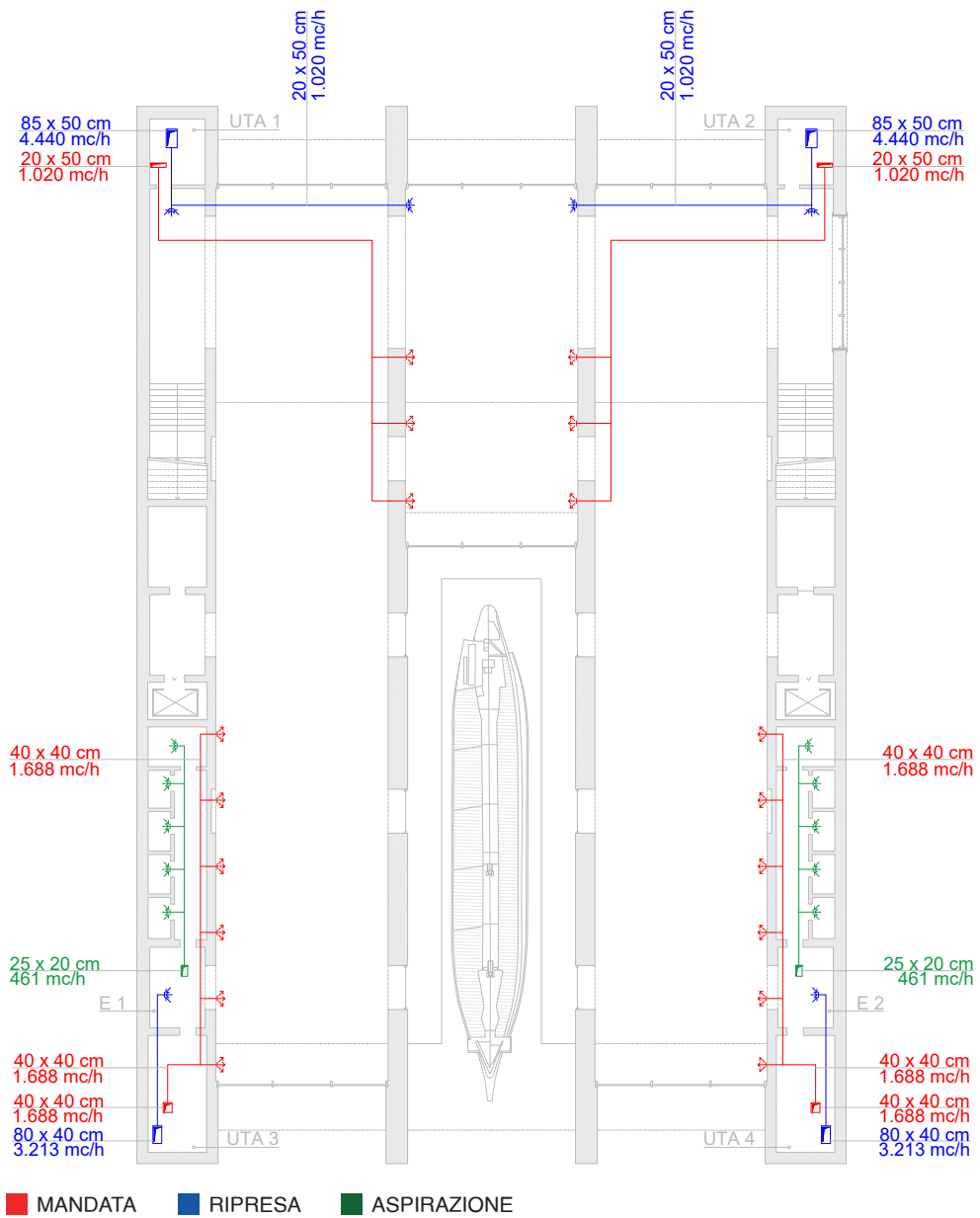
Considerando che ogni modulo ha una lunghezza di circa 50 cm si ottiene una UTA di circa cinque metri.

Essendo che le suddivisioni delle aree di competenza iniziali hanno esigenze di portata d'aria uguali, è stato necessario selezionare solo un modello di UTA. In particolare è stato scelto il modello FM28 della Fastaer con una portata di 3.010 mc/h e dimensioni di 895 mm per 805 mm (soddisfa la richiesta di 2.959 mc/h).

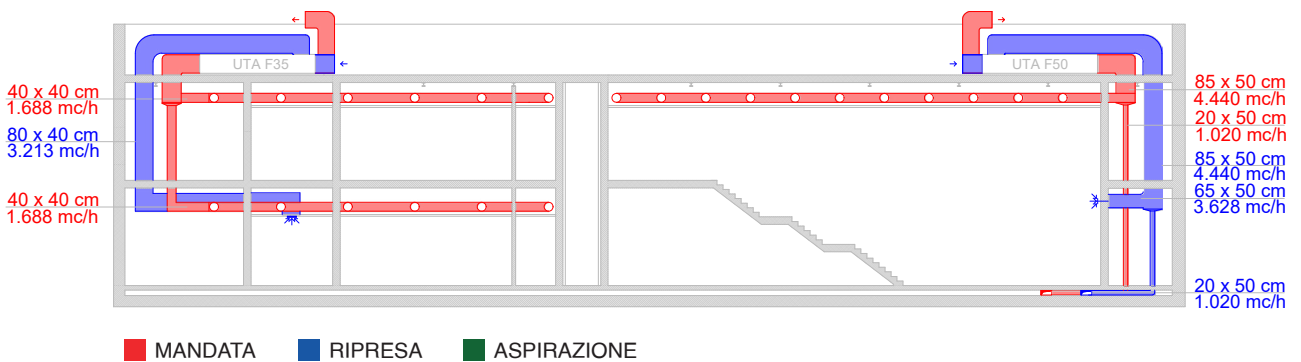
Di lato è riportata la scheda tecnica e lo schema di rappresentazione dell'impianto.

La mandata d'aria nei vari ambienti è affidata a dei diffusori a soffitto, mentre la ripresa avviene con griglie a pavimento in corrispondenza dei vani tecnici.

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria

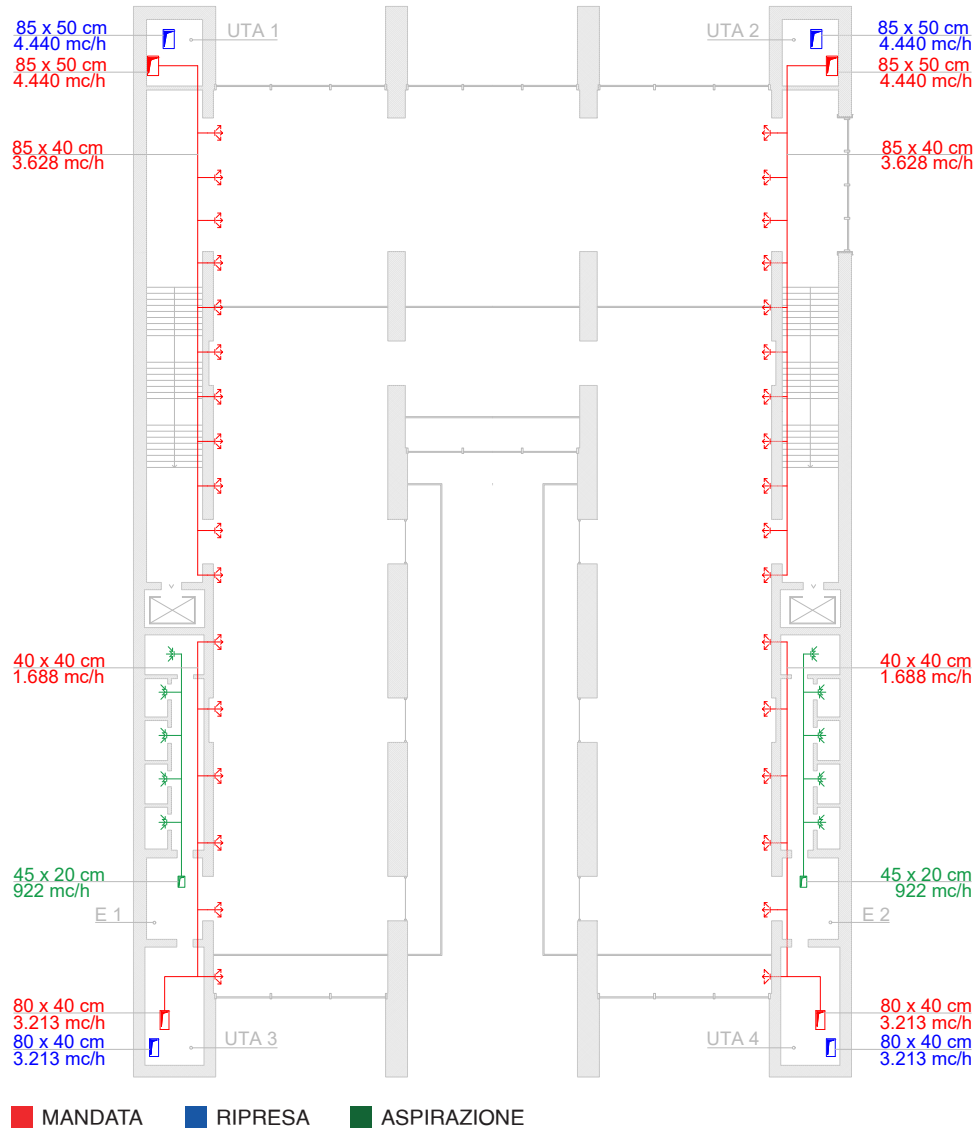


Pianta piano terra

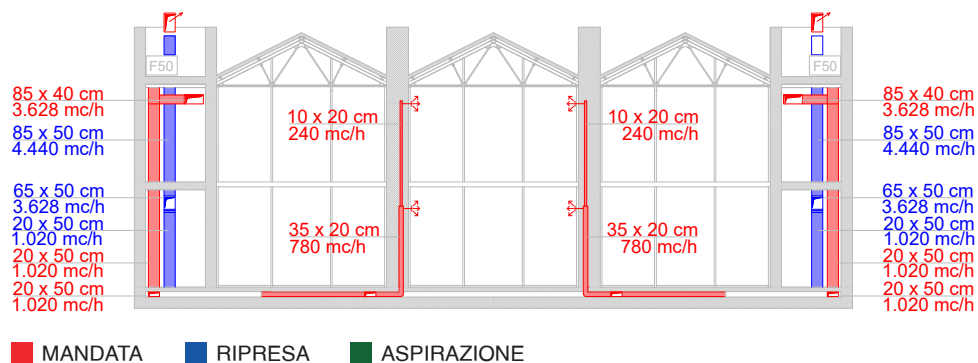


Sezione trasversale

Impianto di climatizzazione e qualità dell'aria



Pianta piano primo



Sezione trasversale

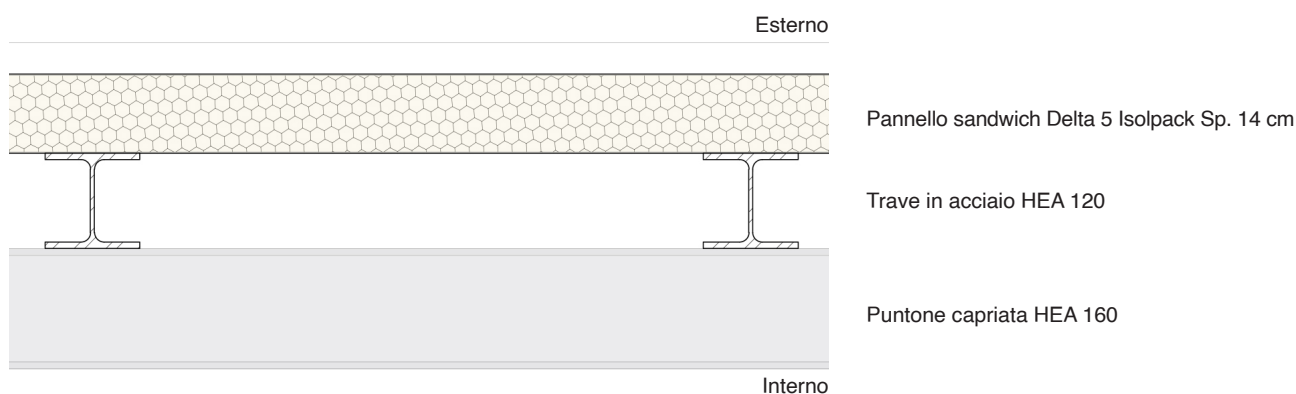
Involucro edilizio

Per il conseguimento di un edificio performante, oltre alla ricerca di soluzioni energetiche attive, è stata prestata molta attenzione alle chiusure verticali e orizzontali, e alla loro relativa trasmittanza. Tutte le stratigrafie abbattano i limiti imposti dalla normativa della metà, in questo modo si riducono drasticamente i consumi energetici, dati dagli impianti, nella fase d'uso dell'edificio. In particolare, i limiti per la Zona B imposti per gli elementi disperdenti verso l'esterno o verso zone non climatizzate sono:

- trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra - $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati - $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra - $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati - $3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

In particolare, per minimizzare i carichi termici irradianti, si è scelto un vetro doppio 6+6 basso emissivo e un oscuramento interno in tessuto rivestito di alluminio (trasmittanza $1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$).

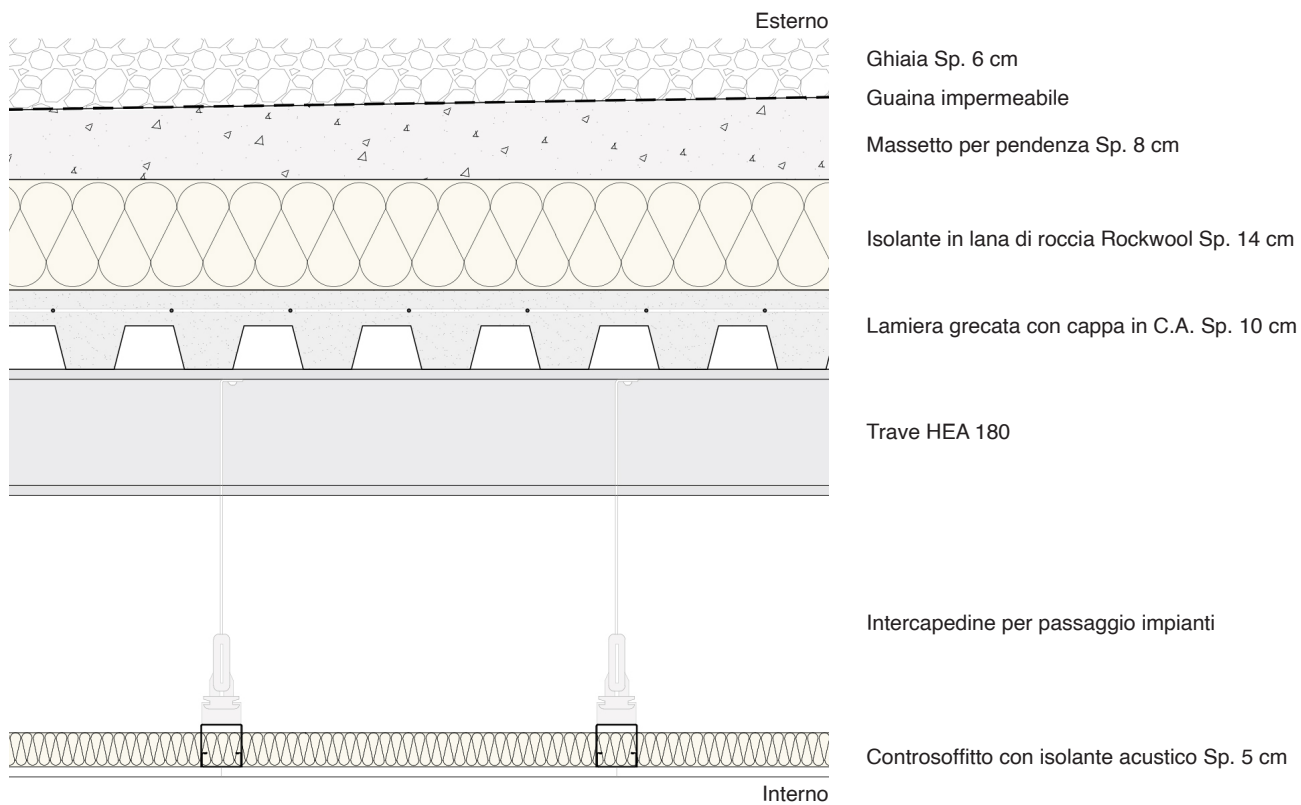
Copertura navate



DATI GENERALI	
Spessore	14,2 cm
Resistenza	$4,515 > 3,125 \text{ m}^2\text{K/W}$
Trasmittanza	$0,222 < 0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Solaio di copertura setti

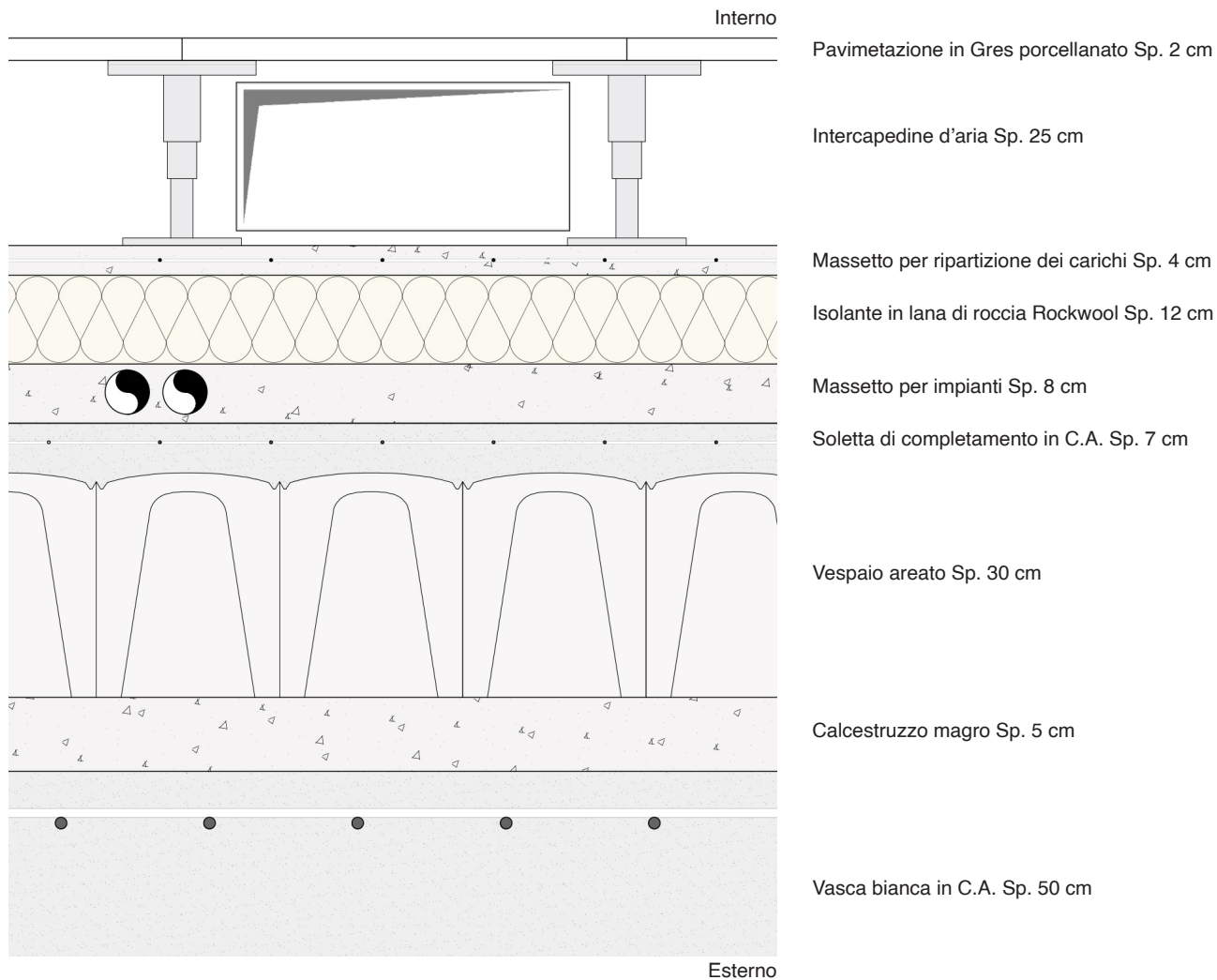


DATI GENERALI	
Spessore	40,00 cm
Resistenza	4,999 > 3,125 m ² K/W
Trasmittanza	0,200 < 0,32 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Involucro edilizio

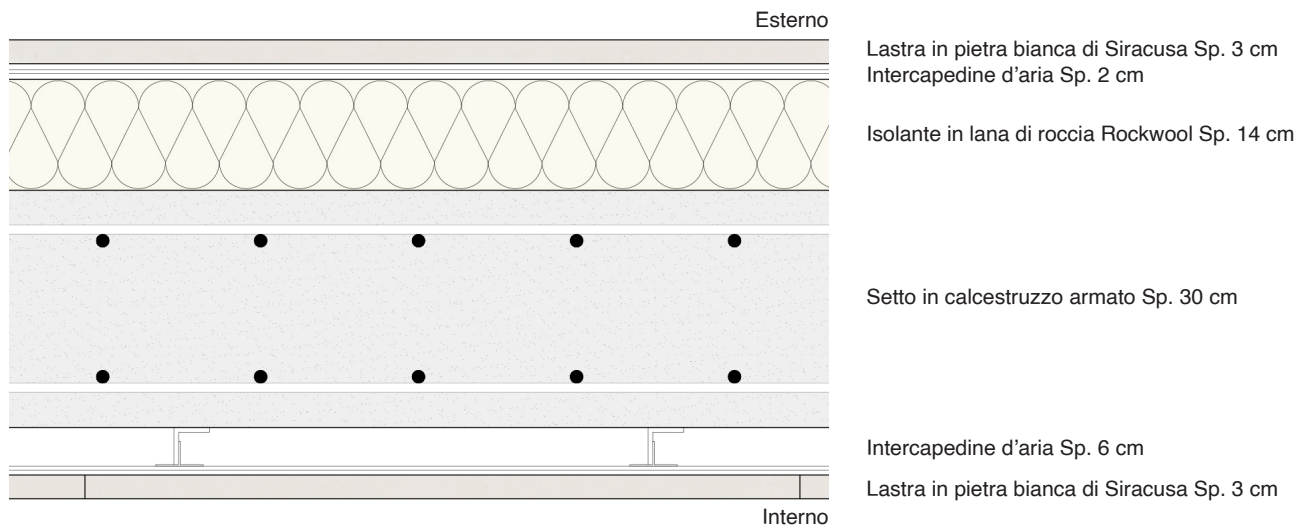
Solaio controterra



DATI GENERALI	
Spessore	58,00 cm
Resistenza	4,505 > 2,381 m ² K/W
Trasmittanza	0,222 < 0,42 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoreflex

Muro perimetrale



DATI GENERALI	
Spessore	53,00 cm
Resistenza	4,554 > 2,500 m ² K/W
Trasmittanza	0,220 < 0,40 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Carichi invernali

Per effettuare il calcolo dei carichi termici invernali è necessario prendere in considerazione le condizioni esterne peggiori invernali in termini di temperatura e umidità relativa:

$$\begin{aligned} T_i &= 20^\circ\text{C} - 50\% \text{ UR} \\ T_e &= 5^\circ\text{C} - 70\% \text{ UR} \\ \Delta H &= 12 \text{ KJ/Kg} \quad \Delta T = 15 \text{ K} \end{aligned}$$

La potenza termica di riscaldamento massima è data dalla seguente formula:

$$Q_{\text{riscaldamento}} = Q_{\text{trasmissione}} + Q_{\text{ventilazione}}$$

Carichi di trasmissione

Il carico per trasmissione termica dall'involucro viene calcolato dalla sommatoria dei prodotti tra le trasmittanze U e le superfici S di ogni elemento dell'involucro edilizio, trasparente ed opaco, a loro volta moltiplicati per la differenza tra la temperatura interna T_i e la temperatura esterna T_e di progetto (segue la stessa formula del carico termico di trasmissione estivo con la variazione della differenza di temperatura, ΔT , in base ai dati di progetto).

$$Q_{\text{trasmissione}} = \sum z(Uz Sz)_{\text{TRAS}} \cdot (T_i - T_e) + \sum j(Uj Sj)_{\text{OPACHI}} \cdot (T_i - T_e)$$

	U [W/m ² K]	A [m ²]	Δt [K]	U*A* Δt [W]		
Copertura	0,20	764	15	2348	16	KW
Solaio copertura setti	0,20	314	15	964		
Muro spesso	0,22	441	15	1453		
Vetro	1,20	450	15	8100		
Muro bagni	0,22	977	15	3162		

Carichi di ventilazione

I carichi per ventilazione vengono valutati sia per la condizione invernale che estiva. Sono definiti come la quantità di energia, in termini di calore, persa o acquisita, a seguito di un trattamento dell'aria. Il calcolo è il prodotto tra la massa d'aria m_{vent} e la differenza di entalpia tra l'aria di rinnovo e l'aria interna ΔH .

$$Q_{\text{ventilazione}} = m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$$

m_{vent} è uguale al prodotto tra la portata d'aria immessa negli ambienti V [mc/h] e la densità dell'aria $d = 1,225 \text{ kg/mc}$, il tutto diviso per 3600 portando il risultato in secondi.

	N. persone o Area [m ³]	Ricambio o portata a persona [m ³ /h]	Portata [m ³ /s]	Densità aria [Kg/m ³]	ΔH [KJ/Kg]		
Locali museali	410	40	4,56	1,225	12	79	KW
Servizi	400	8	0,89	1,225	12		

Per effettuare il calcolo dei carichi termici estivi è necessario prendere in considerazione le condizioni esterne peggiori estive in termini di temperatura e umidità relativa:

$$\begin{aligned} T_i &= 26^\circ\text{C} - 50\% \text{ UR} \\ T_e &= 33^\circ\text{C} - 75\% \text{ UR} \\ \Delta H &= 40 \text{ KJ/Kg} \quad \Delta T = 7 \text{ K} \end{aligned}$$

La potenza termica di raffrescamento massima è data dalla formula:

$$Q_{\text{raffrescamento}} = Q_{\text{trasmissione}} + Q_{\text{ventilazione}} + Q_{\text{endogeni}} + Q_{\text{solare}}$$

Carichi di trasmissione

	U [W/m ² K]	A [m ²]	Δt [K]	U*A*Δt [W]		
Copertura	0,20	764	7	1096	7	KW
Solaio copertura setti	0,20	314	7	450		
Muro spesso	0,22	441	7	678		
Vetro	1,20	450	7	3780		
Muro bagni	0,22	977	7	1476		

Carichi di ventilazione

	N. persone o Area [m ³]	Ricambio o portata a persona [m ³ /h]	Portata [m ³ /s]	Densità aria [Kg/m ³]	ΔH [KJ/Kg]		
Locali museali	410	40	4,56	1,225	40	262	KW
Servizi	400	8	0,89	1,225	40		

Carichi termici endogeni

La componente degli elementi endogeni, è data dalla sommatoria del calore generato dagli utenti del complesso e la somma delle potenze elettriche dei dispositivi di illuminazione.

$$Q_{\text{endogeni}} = Q_{\text{illuminazione}} + Q_{\text{utenti}}$$

Per quanto riguarda il calore generato dagli utenti si considerano 50 W a persona mentre per il carico termico di illuminazione si è fatto un dimensionamento di massima ipotizzando 5 W a metro quadrato.

	Numero persone	Superficie [m ²]	Carico [W]	Totale [W]		
Navate laterali	320	-	50	16000	26,27	KW
Navata centrale	80	-	50	4000		
Illuminazione	-	1254	5	6270		

Carichi estivi

Carichi solari

I carichi solari derivano dall'apporto di calore proveniente dal sole, il quale costituisce un fattore peggiorativo per la climatizzazione estiva.

Per il calcolo, è stata presa in considerazione la facciata vetrata più esposta ad irradiazione ovvero quella Sud-Est. La componente solare è espressa dalla formula:

$$Q_{\text{solare}} = I_{\text{max}} \cdot S_{\text{vetrate}} \cdot FS_{\text{tot}} \cdot f_{\text{accumulo}}$$

I quattro fattori da considerare per il calcolo sono:

- I_{max} è il valore massimo giornaliero dell'irradianza solare relativa all'elemento nel mese di Luglio, in modo tale da essere diretta alla facciata in esame [W/m^2];
- S_{vetrate} è l'area delle superfici vetrate esposte nell'orientamento in esame che fanno parte dell'elemento [m^2];
- FS_{tot} è il fattore solare complessivo, che dipende dal tipo di vetro e dall'eventuale presenza di oggetti e schermature;
- $FS_{\text{tot}} = FS \cdot f_{\text{v+s}} \cdot \% \text{ vetro non ombreggiato}$;
- f_{accumulo} è il fattore di accumulo, che dipende dal rapporto tra la massa dell'edificio e la superficie di pavimento. L'edificio risulta rientrare nella categoria pesante.

	I_t [W/m^2]	FS	A_w [m^2]	Fattore accumulo		
SE	492	0,02	209	0,35	0,6	KW

Il carico complessivo risulta essere poco rilevante poiché grazie alla conformazione architettonica la facciata in esame risulta essere molto ombreggiata e, inoltre, anche la tipologia del serramento scelto permette di ridurre il carico.

Riassunto carichi

Come è prevedibile il carico estivo risulta maggiore rispetto a quello invernale in quanto, il caldo estivo della zona di progetto è più problematico rispetto al freddo della stagione invernale (come confermano i dati climatici).

Carico estivo	296 KW
Qtrasmissione	3%
Qventilazione	88%
Qsolare	0,2%
Qendogeni	9%

Carico invernale	95 KW
Qtrasmissione	17%
Qventilazione	83%

Centrale termo-frigorifera

L'impianto di generazione termica scelto per progetto in esame è costituito da pompe di calore in modo tale di ridurre le emissioni di CO₂ rispetto ad impianti a combustione. Le pompe di calore scelte sono di tipo geotermico (acqua - acqua) a circuito aperto.

Queste macchine termiche sono in grado di scambiare calore tra due fluidi vettori. In sintesi, il loro funzionamento, si basa sul prelevamento dell'acqua di mare. Tra l'acqua presa di mare e la pompa di calore è interposto uno scambiatore termico poiché in caso di danneggiamento è più facile ed economico la sostituzione di quest'ultimo. L'acqua di mare scambia il proprio calore con il fluido termovettore (acqua glicolata) e viene successivamente reimmessa nel sottosuolo attraverso un altro pozzo posto a debita distanza.

La macchina è di tipo reversibile, ovvero è in grado di funzionare sia come macchina frigorifera che termica e, dunque, deve soddisfare entrambi i parametri.

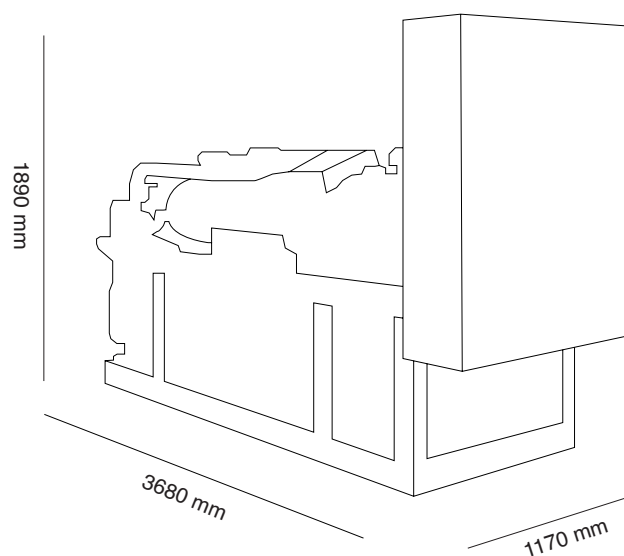
La centrale è stata posizionata al piano terra dell'edificio in punti raggiungibili con automezzi per la collocazione e la manutenzione dei macchinari.

A seguito dei calcoli relativi alla potenza termica di riscaldamento invernale ($Q_{\text{riscaldamento}}$) e alla potenza frigorifera di raffrescamento estivo ($Q_{\text{raffrescamento}}$), indicate nel capitolo precedente, si è scelta di predisporre la seguente PDC.

		1502
Alimentazione elettrica		V/ph/Hz 30/3/50
PRESTAZIONI		
REFRIGERAZIONE (GROSS VALUE)		
Potenza frigorifera	(1)	kW 334
Potenza assorbita totale	(1)	kW 75,2
EER	(1)	4,44
ESEER	(1)	-
REFRIGERAZIONE (EN14511 VALUE)		
Potenza frigorifera	(1)(2)	kW 332
EER	(1)(2)	4,25
ESEER	(1)(2)	5,04
Classe EUROVENT		C
RISCALDAMENTO (GROSS VALUE)		
Potenza termica	(3)	kW 358
Potenza assorbita totale	(3)	kW 87,8
COP	(3)	4,07
RISCALDAMENTO (EN14511 VALUE)		
Potenza termica	(3)(2)	kW 359
COP	(3)(2)	3,99
Classe EUROVENT		C
REFRIGERAZIONE CON RECUPERO PARZIALE		
Potenza frigorifera		kW 346
Potenza assorbita totale		kW 72,5
Pot. term al desumiscaldatore		kW 32,5

3.2. Scheda tecnica PDC selezionata

La potenza frigorifera di 332 KW soddisfa così i 296 KW richiesti mentre la potenza termica di 359 i 95 KW.



Impianto ACS

L'impianto di acqua calda sanitaria (ACS) è stato progettato avente una centrale indipendente rispetto a quella della climatizzazione.

Per calcolare la potenza dell'impianto, dopo aver stabilito il numero ed il tipo di utenze presenti (in questo caso 20 lavandini), si è moltiplicato il numero di utenze per la portata associata (6 l/minuto o 0,1l/secondo). Inoltre, è stato utilizzato un indice di contemporaneità di uso pari a 0,2 in modo tale da non sovrastimare il risultato.

Successivamente si è moltiplicato il tutto per il calore specifico dell'acqua (4186 J/KgK) e per la differenza di temperatura di servizio necessaria pari a 25 K.

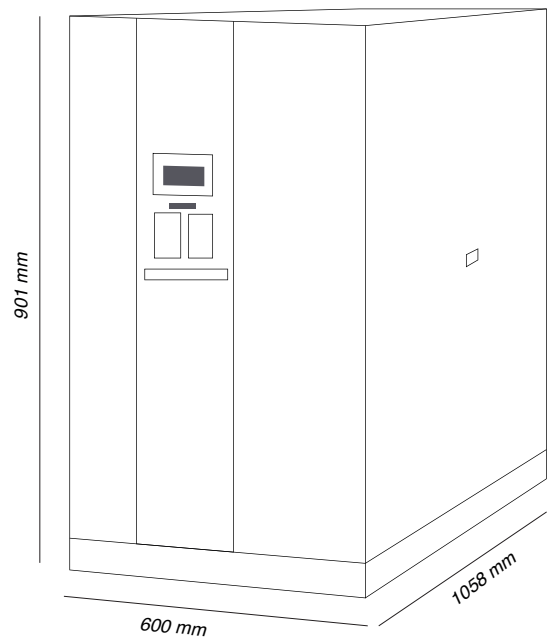
Numero utenze lavandino	Portata [l/secondi]	Coefficiente contemporaneità (cc)	Portata*cc [l/secondi]	Cp dell'acqua [J/kg K]	At [K]	Potenza	
20	0,1	0,2	0,4	4186	25	42	KW

Dunque la potenza termica richiesta è di 42 KW.

È stata selezionata una pompa di calore acqua-acqua del catalogo SNAP.

Essa verrà collocata al piano terra in modo da essere facilmente raggiungibile dagli automezzi per posizionarla e per essere facilmente ispezionabile. Di seguito è riportata la scheda tecnica e le informazioni necessarie. La pompa di calore selezionata è la 61 WG HW1 035 con potenza termica pari a 44 KW e Cop di 5,29.

61WG				035
HEATING				
Standard unit	HW1	Nominal capacity	kW	44
Full load performances*		COP	kW/kW	5,29
	HW3	Nominal capacity	kW	41
		COP	kW/kW	3,59
	HW4	Nominal capacity	kW	40
		COP	kW/kW	2,93
	HB1	Nominal capacity	kW	34
		COP	kW/kW	4,27
Seasonal efficiency**	HW1	SCOP _{30/35°C}	kW/kW	5,19
		η _{s heat} _{30/35°C}	%	200
	HW3	SCOP _{47/55°C}	kW/kW	4,28
		η _{s heat} _{47/55°C}	%	163
		P _{rated}	kW	49
		Energy labelling		A++



3.3. Scheda tecnica PDC selezionata

Impianto di illuminazione

Per l'impianto di illuminazione è stato eseguito un dimensionamento di massima secondo la formula:

$$\text{Potenza da installare} = \text{flusso luminoso [lm]} / \text{efficienza luminosa della lampada [lm/W]} \times \text{fm} \times \text{fu}$$
$$\text{Flusso luminoso [lm]} = \text{Illuminamento medio di esercizio [lm /m}^2\text{]} \times \text{superficie [m}^2\text{]}$$

L'illuminamento medio d'esercizio viene fornito secondo la norma UNI EN 12464-1, mentre l'efficienza luminosa è stata considerata di 160 lm/W, tipica delle lampade a LED.

Infine, la potenza in uscita è stata calcolata dividendo il flusso luminoso per l'efficienza luminosa della "lampada modello" selezionata.

Museo		
Illuminamento medio d'esercizio	400	lux
Superficie utile	923	mq
Efficienza luminosa	160	lm/W
Fattore di illuminazione	0,7	
Fattore ambiente/utilizzazione	0,5	
Flusso luminoso	369328	lm
Qelettrico illuminazione	7	KW

Servizi e depositi		
Illuminamento medio d'esercizio	250	lux
Superficie utile	359	mq
Efficienza luminosa	160	lm/W
Fattore di illuminazione	0,7	
Fattore ambiente/utilizzazione	0,5	
Flusso luminoso	89775	lm
Qelettrico illuminazione	2	KW

In totale l'impianto di illuminazione ha un consumo massimo di 11 KW.

Impianto elettrico

Nel calcolo dei carichi elettrici sono stati considerati i macchinari delle unità trattamento dell'aria, le pompe di calore (sia quella per la climatizzazione che quella per l'acqua calda sanitaria), gli apparecchi di illuminazione e gli ascensori. I consumi di energia elettrica relativi ai macchinari presenti sono stati inizialmente considerati nel loro massimi, come se, tutti gli apparecchi funzionassero contemporaneamente con la massima potenza. Per quanto riguarda la pompa di calore il valore di energia elettrica consumata è stato calcolato dividendo il valore in KW di riscaldamento per il COP della macchina (così anche per la potenza frigorifera).

Successivamente, essendo che la macchina viene utilizzata sia per il riscaldamento che per il raffrescamento in base alla stagione, si è considerato il valore massimo tra le due poichè ci interessa indagare la potenza massima di picco che potrebbe essere richiesta dall'intero edificio. Per la PDC che si occupa dell'acqua calda sanitaria è stato utilizzato lo stesso metodo. Le potenze elettriche delle pompe di calore sono state poi maggiorate di un 5% (fattore di sicurezza).

Impianto forza motrice			
Ascensori	2	19	KW
Totale		38	KW

Pompa di calore						
Potenza frigorifera	232	KW	EER	4,31	54	KW
Maggiorato del cinque per cento				>	57	KW

Impianto illuminazione		
Museo	7	KW
Servizi	2	KW
Totale	8	KW

ACS						
Potenza termica	25	KW	COP	5,47	4,6	KW
Maggiorato del cinque per cento				>	4,8	KW

L'impatto delle UTA è stato stimato in base alla quantità di aria totale di mandata, prendendo in considerazione i dati forniti da DM 15 giugno 2015, appendice A, paragrafo 1.2.3, "Fabbisogni energetici di ventilazione". Rispetto alla tabella riportata è stato considerato il caso di ventilazione a doppio flusso con recupero di calore.

Unità trattamento dell'aria				
	Eve [Wh/m ³]	Portata [m ³ /h]		
Ventilazione meccanica a doppio flusso con recupero	0,5	16000	8000	W
Totale			8	KW

L'impianto elettrico ha un consumo massimo di 116 KW.

Il DM 26 giugno 2015 specifica «le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche» che devono essere soddisfatte dagli edifici.

In particolare i valori da verificare sono: il Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente $H'T$ - $[W/(m^2K)]$ e il parametro della penetrazione media della radiazione solare attraverso i serramenti ($A_{sol,est} / A_{sup,utile}$).

Inoltre, sempre secondo normativa, per rendere l'edificio ad energia quasi zero, ovvero ad altissima prestazione energetica (il cui fabbisogno energetico è molto basso o quasi nullo), quest'ultimo deve essere coperto in maniera significativa da energia proveniente da fonti rinnovabili.

Il valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico $H'T$ è indicato in normativa e si differenzia in base della zona climatica di riferimento (nel nostro caso B). Inoltre, si diversifica dal rapporto tra la superficie ed il volume dell'edificio (riportato in seguito).

Superficie $[m^2]$	2946
Volume $[m^3]$	9009
S/V $[m]$	0,33

Il rapporto tra la superficie ed il volume è di 0,33. Secondo la normativa questo ci riporta ad avere un valore massimo di $H'T$ di 0,63.

Per calcolare il Coefficiente medio globale di scambio termico $H'T$ $[W/m^2K]$ dell'edificio si è calcolata la trasmittanza termica di tutti gli elementi dell'involucro (opachi e trasparenti), moltiplicati per l'area degli stessi e dividendo il risultato per l'area totale dell'involucro. La formula prevede un fattore di riduzione (nel nostro caso preso il massimo per restare nei margini di sicurezza).

Area $[m^2]$	2946
Trasmittanza $[W/m^2K]$	1068
$H'T$ $[W/K]$	0,36

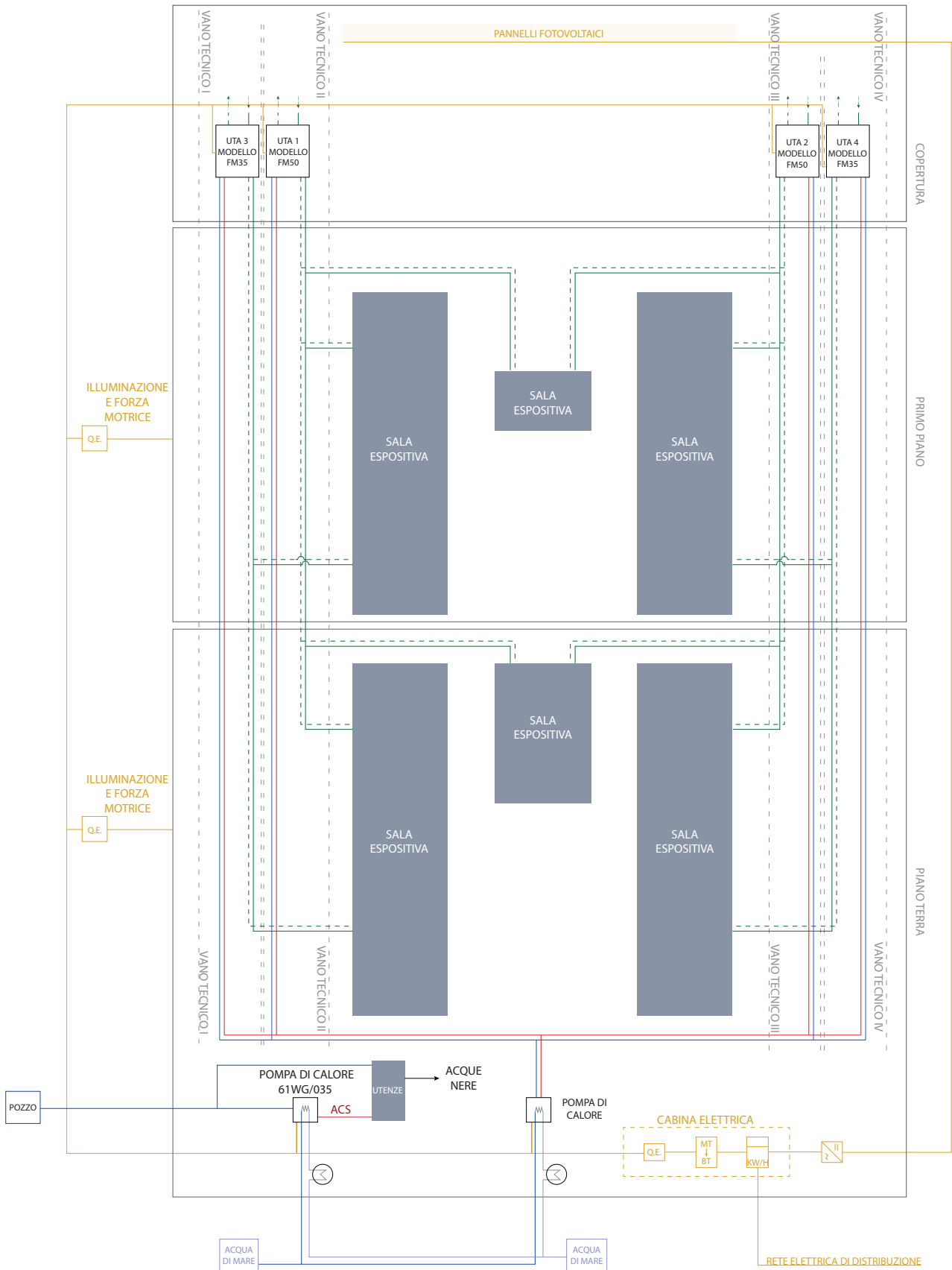
Il valore è 0,36 è quindi verificato.

Per quanto riguarda il valore massimo per il parametro $A_{sol,est} / A_{sup,utile}$ esso varia in funzione della categoria d'uso dell'edificio. Nel nostro caso equivale a 0,04. Il calcolo si basa sulla superficie utile esterna, sulle caratteristiche dei serramenti (area vetrata e fattore solare) e della presenza di schermature o ombreggiamenti. Riportati in seguito i risultati.

Sup, utile $[m^2]$	1254
$A_{sol,est}$ $[m^2]$	29
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$	0,023

Il risultato è 0,023 è quindi verificato.

Schema flussi



Schema flussi Arsenale

La normativa tratta anche dell'integrazione obbligatoria di sistemi di produzione di energia elettrica sostenibile da fonti rinnovabili prodotta in situ.

Una prima verifica è la possibilità di installare, sopra o nelle relative pertinenze dell'edificio un impianto che produca, in termini di potenza elettrica (misurata in KW), energia elettrica pari alla moltiplicazione di un coefficiente (K, dato dalla normativa) per la superficie coperta dell'edificio. Per prima cosa si è riportato il pannello fotovoltaico selezionato, ovvero il Pannello canadian BiHiKu7 di cui si allega la scheda tecnica in appendice.

Conoscendo la potenza e la dimensione di un singolo pannello è stato possibile calcolare il numero totale di pannelli necessari.

Nel capitolo successivo si è dedotta la percentuale reale installabile tenendo in considerazione la dimensione netta disponibile di tutte le coperture del complesso.

Pannello canadianBiHiKu7	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Potenza nominale [KW]	Area [m ²]
	2,38	1,30	0,65	3,11

La formula da utilizzare per calcolare l'energia minima da coprire è quindi:

$$P = 1/K * S \text{ [kW]}$$

dove S è la superficie in pianta dell'edificio a livello del terreno, misurata in m², e K è un coefficiente avente valore pari a 50 m²/kW.

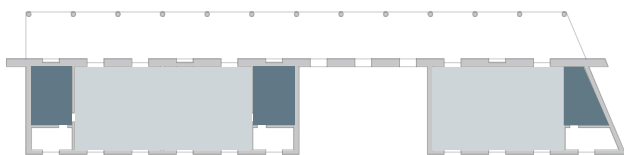
Superficie [m ²]	K	Potenza totale minima [KW]	Numero minimo pannelli	Superficie pannelli [m ²]
764	50	15,28	24	73

Il numero minimo di pannelli previsti per l'edificio Arsenale è quindi di 73.

Portico e celle

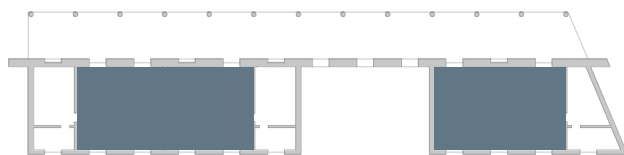
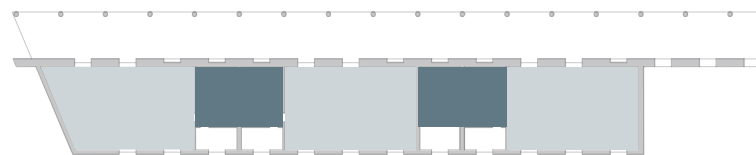
Comfort termico

Di seguito sono riportate le piante dei vari piani con le differenti funzioni. Sono indicate le temperature ottimali in inverno e in estate, con la rispettiva umidità relativa ideale (UR%), tali da garantire il comfort termo-igrometrico adatto.

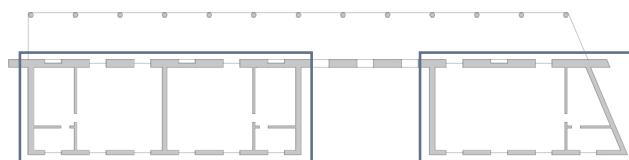
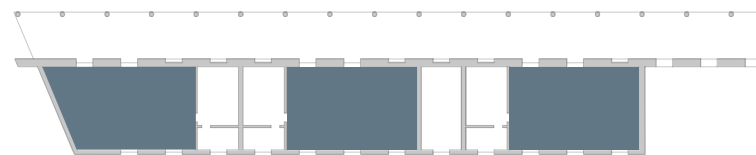


■ NEGOZI
Inverno: 20° - U.R. 50%
Estate: 26° - U.R. 50%

■ SERVIZI
Sola ripresa

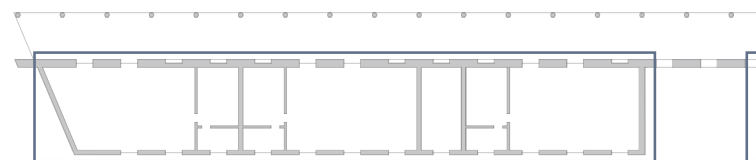


■ Pannelli radianti e Sistema ad aria per controllo ventilazione dell'aria



Blocco 1

Blocco 2

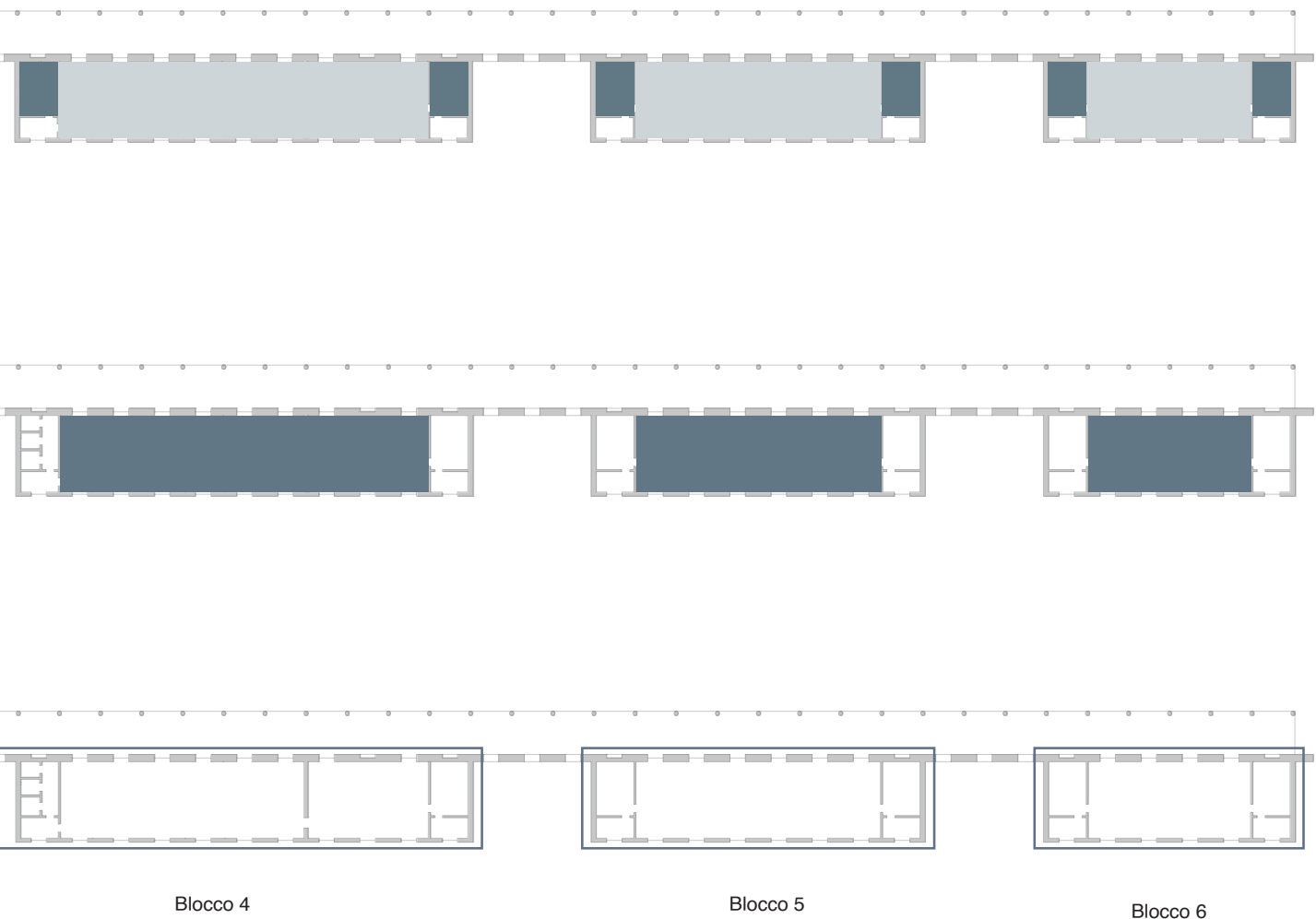


Blocco 3

Data la natura a blocchi dell'edificio e della sua destinazione d'uso, si è resa necessaria l'installazione di un impianto di climatizzazione differente rispetto a quello degli altri edifici del complesso museale, dove sono previste le UTA.

In questo caso si prevede che l'impianto di climatizzazione principale sia a pannelli radianti a pavimento.

Essendo però che i pannelli radianti possono però garantire solo il riscaldamento ed il raffrescamento dei vari ambienti, è stato necessario effettuare il calcolo della portata d'aria di ogni singolo blocco per garantire, attraverso l'ausilio di un altro macchinario, una buona qualità dell'aria e il controllo dell'umidità. Inoltre, l'impianto a tutt'aria può essere di supporto ai pannelli radianti per quanto riguarda la climatizzazione sia estiva che invernale.



Impianto per la qualità dell'aria e controllo umidità

Blocco	Locale	Aff. [Pers/m ²]	Area negozio [m ²]	Numero persone [numero]
1	1	0,1	57	3
	2	0,1	57	3
2	1	0,1	87	5
3	1	0,1	91	5
	2	0,1	87	5
	3	0,1	87	5
4	1	0,1	178	11
	2	0,1	87	5
5	1	0,1	178	11
6	1	0,1	126	8

Indice affollamento

Blocco	Locale	Numero persone	Portata persona [m ³ /h]	Portata totale [m ³ /h]
1	1	3	40	137
	2	3	40	137
2	1	5	40	209
3	1	5	40	218
	2	5	40	209
	3	5	40	209
4	1	11	40	427
	2	5	40	209
5	1	11	40	427
6	1	8	40	302

Portata d'aria totale per ogni locale

Blocco	Portata totale [m ³ /h]	Modello UTA	Informazioni tecniche
1	274	HRV - 30EC	315 mc/h - 170 W
2	209	HRV - 30AC	265 mc/h - 145 W
3	636	HRV - 70AC	650 mc/h - 270 W
4	636	HRV - 70AC	650 mc/h - 270 W
5	427	HRV - 50AC	515 mc/h - 230 W
6	302	HRV - 30EC	315 mc/h - 170 W

Dimensionamento delle unità

Impianto per la qualità dell'aria e controllo umidità

Per dimensionare l'impianto a tutt'aria di supporto ai pannelli radianti per il controllo della qualità dell'aria e dell'umidità, si è reso necessario stabilire i vari indici di affollamento per ogni metro quadrato di superficie di ogni locale. Questo dato varia in base alla destinazione d'uso dei vari locali come definito dalla norma UNI 10339 ed è necessario per stabilire la portata d'aria totale per ogni ambiente e dimensionare correttamente l'impianto.

In questo caso si tratta di negozi e l'indice equivale a 0,1 pers/mq. Di seguito viene riportata una tabella nella quale vengono indicati gli indici adottati ed i risultati ottenuti.

Dopo aver trovato il numero di persone per ogni blocco, questo è stato moltiplicato per 40 mc/h, ovvero la portata d'aria a persona, riuscendo a trovare la portata d'aria necessaria totale.

In questo modo è stato possibile selezionare la dimensione corretta per l'impianto.

La selezione si è basata sui modelli della Sire che possiedono una vasta gamma di prodotti con portate d'aria che variano da 185 mc/h a 785 mc/h.

Qui riportata la scheda tecnica riassuntiva dei vari modelli.

Modello	In ambiente	In ambiente	Condotto immissione	Condotto espulsione
	L_{in} 3m (dB)	L_{in} (dB)	L_{in} (dB)	L_{in} (dB)
HRV-15AC	37,3	58,6	55,1	64,8
HRV-15EC	37,7	59,0	57,9	66,2
HRV-30AC	38,9	60,2	58,9	66,4
HRV-30EC	43,5	64,8	64,7	72,3
HRV-50AC	47,1	68,8	59,0	69,6
HRV-50EC	45,8	67,2	56,3	68,7
HRV-70AC	42,9	64,5	59,1	67,3
HRV-70EC	53,6	75,2	63,7	74,7

Parametri Principali

MODELLO	Portata massima m ³ /h aria est.	Classe di filtrazione	Fasi	Tensione V	Frequenza Hz	Potenza ventilatori W	Potenza pre-riscald. kW	Peso kg	Diametro attacchi mm	Altezza mm	Largh. mm	Lungh. mm
HRV-15AC	185	M5+G4	1	230	50	105	1	17,4	160	270	555	1000
HRV-15EC	175	F7+G4	1	230	50/60	65	1	17,2	160	270	555	1000
HRV-30AC	265	M5+G4	1	230	50	145	1,3	19,5	160	270	555	1000
HRV-30EC	315	F7+G4	1	230	50/60	170	2,5	19,3	160	270	555	1000
HRV-50AC	515	M5+G4	1	230	50	230	2,5	35	250	360	846	1391
HRV-50EC	535	F7+G4	1	230	50/60	220	2,5	35,5	250	360	846	1391
HRV-70AC	650	M5+G4	1	230	50	270	2,5	40	250	360	846	1391
HRV-70EC	785	F7+G4	1	230	50/60	430	2,5	40,7	250	360	846	1391

4.1. Scheda tecnica HRV Sire

Sono state selezionate 6 macchine, una per ogni blocco: due modelli HRV - 30EC, due HRV - 70AC, uno HRV - 50AC e uno HRV - 30AC.

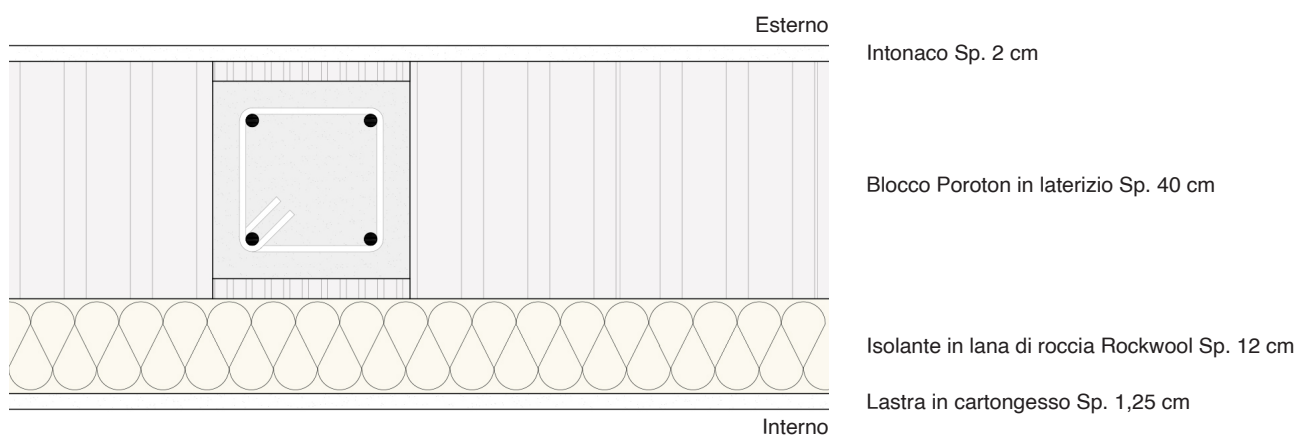
L'energia totale elettrica utilizzata da questi macchinari equivale a 1 KW richiesto per i ventilatori, questo dato risulterà utile per il calcolo del fabbisogno elettrico totale.

Involucro edilizio

Per il conseguimento di un edificio performante, oltre alla ricerca di soluzioni energetiche attive, è stata prestata molta attenzione alle chiusure verticali e orizzontali, e alla loro relativa trasmittanza. Tutte le stratigrafie abbattano i limiti imposti dalla normativa della metà, in questo modo si riducono drasticamente i consumi energetici, dati dagli impianti, nella fase d'uso dell'edificio. In particolare, i limiti per la Zona B imposti per gli elementi disperdenti verso l'esterno o verso zone non climatizzate sono:

- trasmittanza termica (U) delle strutture opache verticali, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra - $0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle strutture opache orizzontali o inclinate di copertura, verso l'esterno e gli ambienti non climatizzati - $0,32 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle opache orizzontali di pavimento, verso l'esterno, gli ambienti non climatizzati o contro terra - $0,42 \text{ W/m}^2\text{K}$;
- trasmittanza termica (U) delle chiusure tecniche trasparenti e opache e dei cassonetti, comprensivi degli infissi, verso l'esterno e verso ambienti non climatizzati - $3,00 \text{ W/m}^2\text{K}$.

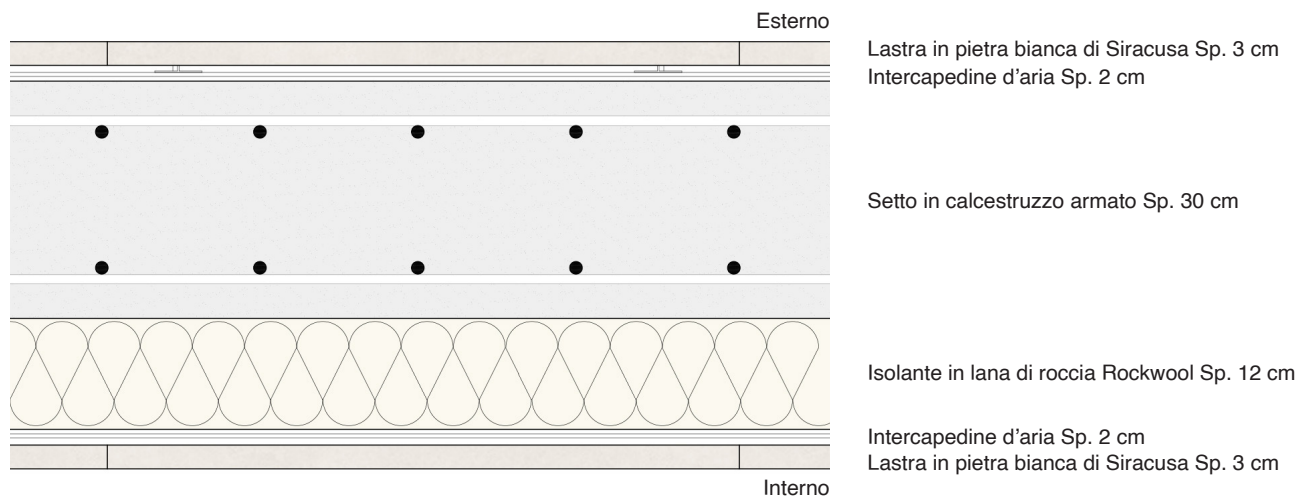
Tamponamento perimetrale (celle)



DATI GENERALI	
Spessore	50,00 cm
Resistenza	$6,740 > 2,500 \text{ m}^2\text{K/W}$
Trasmittanza	$0,148 < 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoreflex

Muro perimetrale (portico)

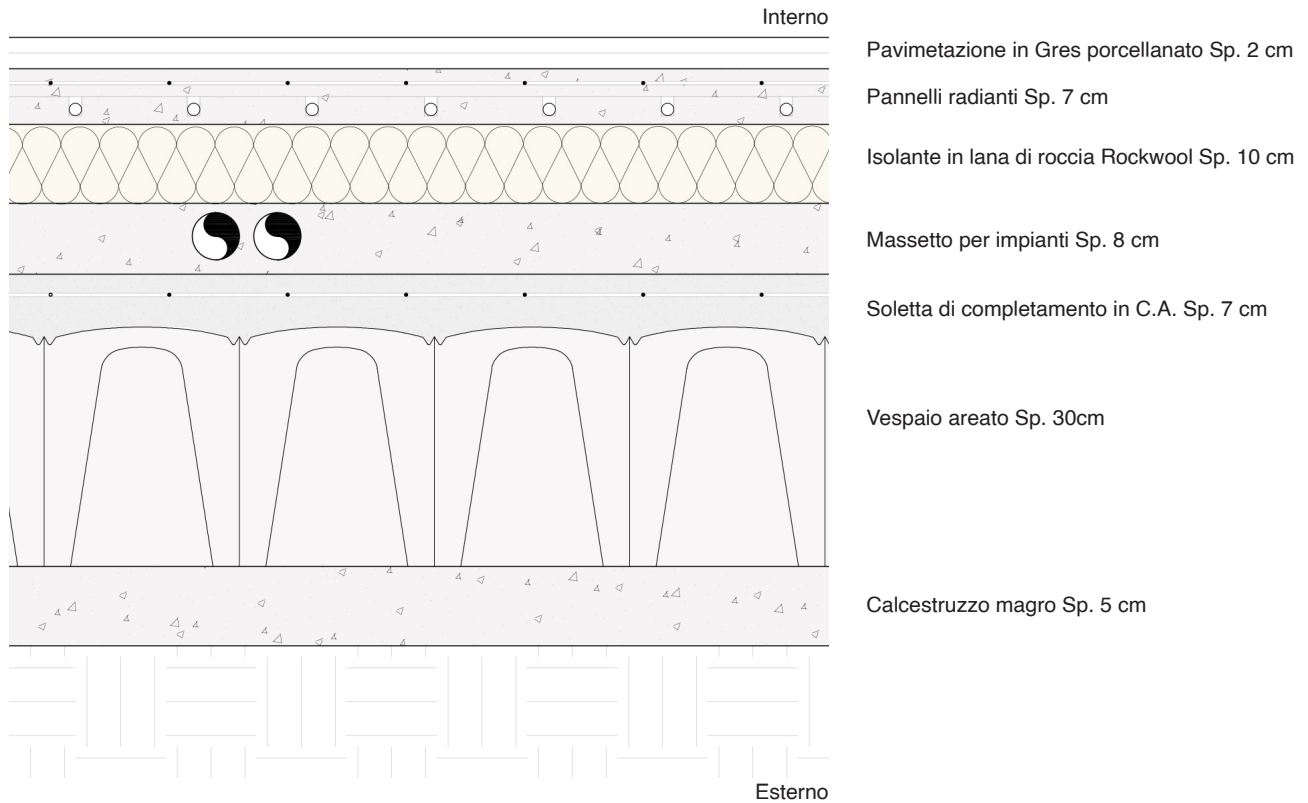


DATI GENERALI	
Spessore	51,00 cm
Resistenza	4,582 > 2,500 m ² K/W
Trasmittanza	0,218 < 0,40 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Involucro edilizio

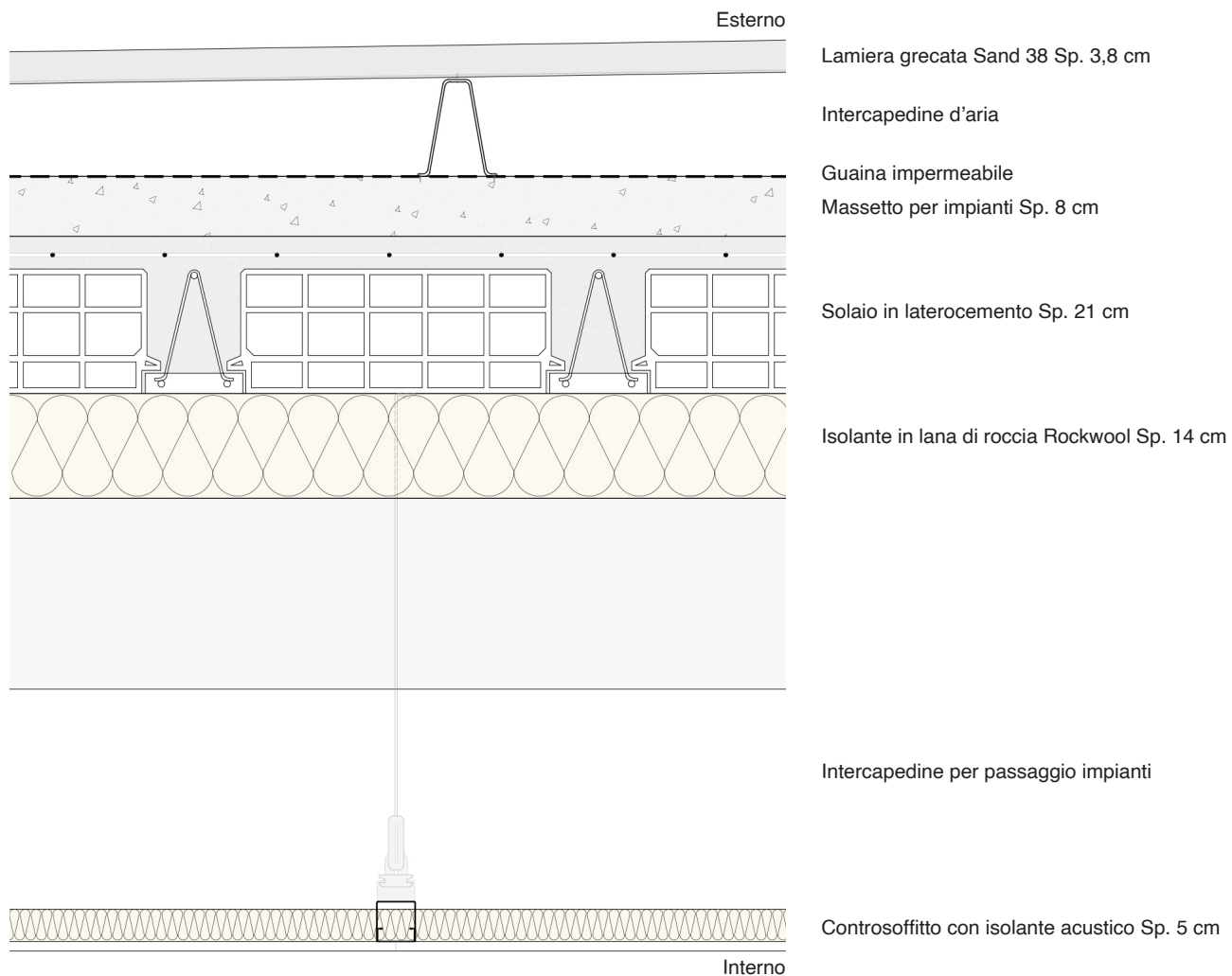
Solaio controterra



DATI GENERALI	
Spessore	38,00 cm
Resistenza	4,465 > 2,381 m ² K/W
Trasmittanza	0,223 < 0,42 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoreflex

Solaio di copertura (celle)



DATI GENERALI	
Spessore	43,00 cm
Resistenza	5,036 > 3,125 m ² K/W
Trasmittanza	0,198 < 0,32 W/m ² K

Verifica delle prestazioni eseguite con software Isoflex

Carichi invernali

Per effettuare il calcolo dei carichi termici invernali è necessario prendere in considerazione le condizioni esterne peggiori invernali in termini di temperatura e umidità relativa che verranno messe in relazione con le condizioni invernali interne prefissate.

$$\begin{aligned}T_i &= 20^\circ\text{C} - 50\% \text{ UR} \\T_e &= 5^\circ\text{C} - 70\% \text{ UR} \\ \Delta H &= 12 \text{ KJ/Kg} \quad \Delta T = 15 \text{ K}\end{aligned}$$

La potenza termica di riscaldamento massima ($Q_{\text{riscaldamento}}$) da fornire durante il periodo invernale è ottenuta dalla somma del carico di trasmissione ($Q_{\text{trasmissione}}$) e del carico di ventilazione ($Q_{\text{ventilazione}}$) adottando la formula:

$$Q_{\text{riscaldamento}} = Q_{\text{trasmissione}} + Q_{\text{ventilazione}}$$

Carichi di trasmissione

Il carico per trasmissione termica dall'involucro viene calcolato dalla sommatoria dei prodotti tra le trasmittanze U e le superfici S di ogni elemento dell'involucro edilizio, trasparente ed opaco, a loro volta moltiplicati per la differenza tra la temperatura interna T_i e la temperatura esterna T_e di progetto (segue la stessa formula del carico termico di trasmissione estivo con la variazione della differenza di temperatura, ΔT , in base ai dati di progetto).

$$Q_{\text{trasmissione}} = \sum z(Uz Sz)_{\text{TRAS}} \cdot (T_i - T_e) + \sum j(Uj Sj)_{\text{OPACHI}} \cdot (T_i - T_e)$$

Carichi di ventilazione

I carichi per ventilazione vengono valutati sia per la condizione invernale che estiva. Sono definiti come la quantità di energia, in termini di calore, persa o acquisita, a seguito di un trattamento dell'aria. Il calcolo è il prodotto tra la massa d'aria m_{vent} e la differenza di entalpia tra l'aria di rinnovo e l'aria interna ΔH .

$$Q_{\text{ventilazione}} = m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$$

m_{vent} è uguale al prodotto tra la portata d'aria immessa negli ambienti V [mc/h] e la densità dell'aria $d = 1,225 \text{ kg/mc}$, il tutto diviso per 3600 portando il risultato in secondi.

Per effettuare il calcolo dei carichi termici estivi è necessario prendere in considerazione le condizioni esterne peggiori estive in termini di temperatura e umidità relativa che verranno messe in relazione con le condizioni estive interne prefissate.

$$\begin{aligned}T_i &= 26^\circ\text{C} - 50\% \text{ UR} \\T_e &= 33^\circ\text{C} - 75\% \text{ UR} \\ \Delta H &= 40 \text{ KJ/Kg} \quad \Delta T = 7 \text{ K}\end{aligned}$$

La potenza termica di raffrescamento massima ($Q_{\text{raffrescamento}}$) da fornire durante il periodo estivo è ottenuta dalla somma del carico di trasmissione ($Q_{\text{trasmissione}}$), del carico di ventilazione ($Q_{\text{ventilazione}}$), del carico solare (Q_{solare}) e del carico endogeno (Q_{endogeni}) adottando la formula:

$$Q_{\text{raffrescamento}} = Q_{\text{trasmissione}} + Q_{\text{ventilazione}} + Q_{\text{endogeni}} + Q_{\text{solare}}$$

Carichi termici endogeni

La componente degli elementi endogeni, è data dalla sommatoria delle potenze elettriche dei dispositivi di illuminazione e dalla somma del calore generato dagli utenti di ogni blocco.

$$Q_{\text{endogeni}} = Q_{\text{illuminazione}} + Q_{\text{utenti}}$$

Per la componente Q_{utenti} si considerano 50 W a persona, mentre per $Q_{\text{illuminazione}}$ 5 W a m².

Carichi solari

I carichi solari derivano dall'apporto di calore proveniente dal sole, il quale costituisce un fattore peggiorativo per la climatizzazione estiva.

Per il calcolo, è stata presa in considerazione la facciata vetrata più esposta ad irradiazione ovvero quella Sud-Ovest. La componente solare (Q_{solare}) espressa dalla formula:

$$Q_{\text{solare}} = I_{t_{\text{max}}} \cdot S_{\text{vetrate}} \cdot FS_{\text{tot}} \cdot f_{\text{accumulo}}$$

Dove: $I_{t_{\text{max}}}$ è il valore massimo giornaliero dell'irradianza solare relativa all'elemento nel mese di Luglio [W/m²]; S_{vetrate} è l'area delle superfici vetrate che fanno parte dell'elemento [m²]; FS_{tot} è il fattore solare complessivo, che dipende dal tipo di vetro e dall'eventuale presenza di oggetti e schermature; f_{accumulo} è il fattore di accumulo, che dipende dal rapporto tra la massa dell'edificio e la superficie di pavimento.

I fattori $I_{t_{\text{max}}}$, FS_{tot} ed f_{accumulo} sono ricavati da apposite tabelle presenti in normativa.

Carichi per blocco

Blocco 1

CARICO ESTIVO				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	267	W	1	KW
Setto muro verso le colonne	150			
Setto muro	102			
Partizione controvento	95			
Vetro	272			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	4	5	KW	
Servizi	1			
Qirradiazione = $I_{t,\text{max}} \cdot F_{\text{Stot}} \cdot A_w \cdot \text{faccumulo}$				
	A _w [m ²]			
SE	21,6	2,1	KW	
Q endogeni = Qilluminazione + Qutenti				
Persone	0,3	1,3	KW	
Illuminazione	0,96			
Totale	9,3		KW	

CARICO INVERNALE				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	572	W	2	KW
Setto muro verso le colonne	321			
Setto muro	218			
Partizione controvento	203			
Vetro	583			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	1	1	KW	
Servizi	0,4			
Totale	3,3		KW	

Blocco 2

CARICO ESTIVO				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	175	W	1	KW
Setto muro verso le colonne	108			
Setto muro	60			
Partizione controvento	99			
Vetro	181			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	2,7	3	KW	
Servizi	0,7			
Qirradiazione = $I_{t,\text{max}} \cdot F_{\text{Stot}} \cdot A_w \cdot \text{faccumulo}$				
	A _w [m ²]			
SE	14,4	1,4	KW	
Q endogeni = Qilluminazione + Qutenti				
Persone	0,25	0,88	KW	
Illuminazione	0,63			
Totale	6,3		KW	

CARICO INVERNALE				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	175	W	1	KW
Setto muro verso le colonne	232			
Setto muro	129			
Partizione controvento	212			
Vetro	389			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	0,8	1	KW	
Servizi	0,2			
Totale	2,1		KW	

Carichi per blocco

Blocco 3

CARICO ESTIVO				
$Q_{trasmissione} = \sum Q \cdot A \cdot \Delta temperatura$				
Solaio copertura	576	W	2	KW
Setto muro verso le colonne	312			
Setto muro	226			
Partizione controvento	98			
Vetro	574			
$Q_{ventilazione} = m_{vent} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	9	11	KW	
Servizi	2			
$Q_{irradiazione} = I_{t,max} \cdot F_{Stot} \cdot A_w \cdot faccumulo$				
	A_w [m ²]			
SE	43,2	4,2	KW	
$Q_{endogeni} = Q_{illuminazione} + Q_{quenti}$				
Persone	0,8	2,1	KW	
Illuminazione	1,3			
Totale	19,1		KW	

CARICO INVERNALE				
$Q_{trasmissione} = \sum Q \cdot A \cdot \Delta temperatura$				
Solaio copertura	1233	W	4	KW
Setto muro verso le colonne	669			
Setto muro	485			
Partizione controvento	212			
Vetro	1231			
$Q_{ventilazione} = m_{vent} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	9	3	KW	
Servizi	2			
Totale	6,4		KW	

Blocco 4

CARICO ESTIVO				
$Q_{trasmissione} = \sum Q \cdot A \cdot \Delta temperatura$				
Solaio copertura	485	W	2	KW
Setto muro verso le colonne	272			
Setto muro	185			
Partizione controvento	95			
Vetro	575			
$Q_{ventilazione} = m_{vent} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	8,7	11	KW	
Servizi	2,5			
$Q_{irradiazione} = I_{t,max} \cdot F_{Stot} \cdot A_w \cdot faccumulo$				
	A_w [m ²]			
SE	36	3,5	KW	
$Q_{endogeni} = Q_{illuminazione} + Q_{utenti}$				
Persone	0,8	2,5	KW	
Illuminazione	1,7			
Totale	18,8		KW	

CARICO INVERNALE				
$Q_{trasmissione} = \sum Q \cdot A \cdot \Delta temperatura$				
Solaio copertura	1040	W	3,5	KW
Setto muro verso le colonne	583			
Setto muro	396			
Partizione controvento	203			
Vetro	1231			
$Q_{ventilazione} = m_{vent} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	2,6	3,4	KW	
Servizi	0,8			
Totale	6,9		KW	

Carichi per blocco

Blocco 5

CARICO ESTIVO				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	355	W	1	KW
Setto muro verso le colonne	199			
Setto muro	135			
Partizione controvento	95			
Vetro	423			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	6,0	8,7	KW	
Servizi	2,7			
Qirradiazione = $I_{t,\text{max}} \cdot F_{\text{Stot}} \cdot A_w \cdot \text{faccumulo}$				
	A _w [m ²]			
SE	29	2,8	KW	
Q endogeni = Qilluminazione + Qutenti				
Persone	0,55	1,8	KW	
Illuminazione	1,27			
Totale	14,5		KW	

CARICO INVERNALE				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	760	W	3	KW
Setto muro verso le colonne	425			
Setto muro	289			
Partizione controvento	203			
Vetro	907			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m ³ /s]			
Locali museali	1,8	3	KW	
Servizi	0,8			
Totale	5,2		KW	

Blocco 6

CARICO ESTIVO				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	267	W	1	KW
Setto muro verso le colonne	150			
Setto muro	102			
Partizione controvento	95			
Vetro	302			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m³/s]			
Locali museali	6,0	9	KW	
Servizi	3,2			
Qirradiazione = $I_{t,\text{max}} \cdot F_{\text{Stot}} \cdot A_w \cdot \text{faccumulo}$				
	A_w [m²]			
SE	21,4	2,1	KW	
Q endogeni = Qilluminazione + Qutenti				
Persone	0,55	1,5	KW	
Illuminazione	0,96			
Totale	13,6		KW	
CARICO INVERNALE				
Qtrasmissione = $\Sigma Q \cdot A \cdot \Delta\text{temperatura}$				
Solaio copertura	572	W	2	KW
Setto muro verso le colonne	321			
Setto muro	218			
Partizione controvento	203			
Vetro	648			
Qventilazione = $m_{\text{vent}} \cdot \Delta H$				
	Portata [m³/s]			
Locali museali	2,0	3	KW	
Servizi	1,0			
Totale	5,0		KW	

Impianto acqua calda sanitaria

Per calcolare la potenza dell'impianto dedicato all'acqua calda sanitaria è necessario definire il numero di utenze presenti per ogni blocco (in questo caso lavandini) e moltiplicarle per la portata d'acqua necessaria per ognuno (6 l/minuto). Il risultato viene poi moltiplicato per il calore specifico dell'acqua (4186 J/KgK), per la differenza di temperatura richiesta (25 K) e per un coefficiente di contemporaneità pari a 0,2 (per fare in modo che non tutte le utenze vengono calcolate come se utilizzate contemporaneamente).

Il risultato ottenuto è per tutti i blocchi di 4,2 KW, tranne per il blocco 2 con 2 KW ed il blocco 3 con tre 6,2 KW.

Pompe di calore

Ogni blocco, quindi, viene climatizzato attraverso pannelli radianti collegati ad una PDC acqua-acqua. A loro volta i pannelli radianti sono accoppiati ad un impianto a tutt'aria, che essendo di supporto, viene dimensionato solo attraverso i calcoli di ventilazione e non tenendo conto dei carichi estivi e invernali complessivi, riducendone così le dimensioni e portate.

Anche per quanto riguarda l'impianto di acqua calda sanitaria viene prevista una PDC acqua-acqua per ogni blocco.

Essendo però, come è stato dimostrato nei calcoli precedenti, che le potenze richieste ricavate dai carichi estivi, invernali e ACS sono molto basse, si è deciso di utilizzare un'unica PDC per la climatizzazione e l'acqua calda sanitaria.

I servizi avranno un sistema di sola aspirazione indipendente.

Di seguito vengono riportate le potenze calcolate in precedenza e i modelli di PDC scelte con relativa scheda tecnica.

	Raff.	Risc.	ACS	Risc. + ACS	Modello
Blocco 1	9,3	3,3	4,2	7,5	MCW H 012
Blocco 2	6,3	2,1	2,0	4,1	MCW H 007M
Blocco 3	19,1	6,4	6,2	12,6	MCW H 022
Blocco 4	18,8	6,9	4,2	11,1	MCW H 020
Blocco 5	14,5	5,2	4,2	9,4	MCW H 018
Blocco 6	13,6	5,0	4,2	9,2	MCW H 015

MCW H		007M	012	015	018	020	022
Alimentazione elettrica	V-ph-Hz	230 - 1 - 50	400 - 3N - 50	400 - 3N - 50	400 - 3N - 50		
Potenza frigorifera	kW	6,40	11,0	13,7	16,1	18,9	19,9
Potenza assorbita totale	kW	2,10	3,30	4,00	4,70	5,20	5,90
EER		3,03	3,32	3,44	3,45	3,63	3,39
SEER		2,72	3,10	3,25	3,30	3,50	3,29
Potenza termica	kW	6,90	11,7	14,2	17,3	19,3	21,1
Potenza assorbita totale	kW	2,30	3,60	4,40	5,10	5,60	6,30
COP		3,02	3,25	3,27	3,41	3,44	3,33

4.2. Scheda tecnica PDC selezionata

Impianto di illuminazione

Per l'impianto di illuminazione è stato eseguito un dimensionamento di massima secondo la formula:

$$\text{Potenza da installare} = \text{flusso luminoso [lm]} / \text{efficienza luminosa della lampada [lm/W]} \times \text{fm} \times \text{fu}$$

$$\text{Flusso luminoso [lm]} = \text{Illuminamento medio di esercizio [lm /m}^2\text{]} \times \text{superficie [m}^2\text{]}$$

Dove, l'illuminamento medio d'esercizio viene fornito secondo la norma UNI EN 12464-1 (Aree di vendita: 300 lm/m²), mentre l'efficienza luminosa è stata considerata di 160 lm/W considerando delle lampade a LED.

Infine, la potenza in uscita è stata calcolata dividendo il flusso luminoso per l'efficienza luminosa.

Impianto elettrico

Per l'impianto elettrico si sono tenuti in considerazione i risultati del calcolo precedente dell'impianto di illuminazione, delle potenze elettriche dei ventilatori per il controllo della qualità dell'aria e della potenza elettrica più alta delle PDC tra quella di riscaldamento e raffrescamento.

È stata selezionata solo la potenza maggiore poichè essendo le pompe di calore reversibili essa funzionerà o solo come macchina frigorifera o come macchina termica in base alla stagione e per il calcolo è importante inserire la massima energia elettrica di picco richiesta possibile.

Per conoscere l'energia elettrica richiesta dalle pompe di calore è stato necessario dividere la potenza termica e frigorifera richiesta per il coefficiente di prestazione COP (per quanto riguarda la termica) ed EER (per quanto riguarda la frigorifera).

Impianto forza motrice			
Ascensori	2	19	KW
Totale		38	KW

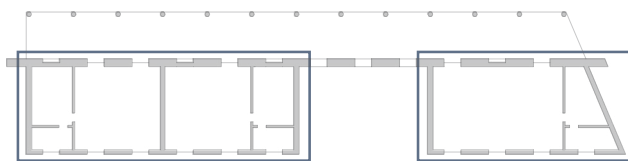
Pompa di calore						
Potenza frigorifera	296	KW	EER	4,25	70	KW
Maggiorato del cinque per cento					>	73 KW

Impianto illuminazione		
Museo	9	KW
Servizi	2	KW
Totale	11	KW

ACS						
Potenza termica	42	KW	COP	5,29	7,9	KW
Maggiorato del cinque per cento					>	8,3 KW

È stata riportata anche l'energia elettrica richiesta durante il periodo invernale, anche se non utile al calcolo dell'impianto elettrico, poichè sarà utile per il calcolo di energia annua utilizzata dell'edificio per il fabbisogno di energia sostenibile richiesta da normativa (50%).

Riassunto



Blocco 1



Sistema radiante euroflex

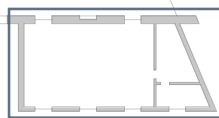


Portata d'aria richiesta:
m³/h 274
HRV - 30EC
m³/h 315
W 170



Potenza richiesta termica:
KW 7,5
Potenza richiesta frigorifera:
KW 9,3

MCW H 012
Potenza termica:
KW 11,7
COP: 3,60
Potenza frigorifera:
KW 11
EER: 3,32



Blocco 2



Sistema radiante euroflex

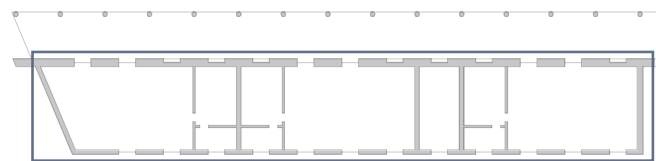


Portata d'aria richiesta:
m³/h 209
HRV - 30AC
m³/h 265
W 145



Potenza richiesta termica:
KW 4,1
Potenza richiesta frigorifera:
KW 6,3

MCW H 007M
Potenza termica:
KW 6,90
COP: 2,3
Potenza frigorifera:
KW 6,4
EER: 3,03



Blocco 3



Sistema radiante euroflex

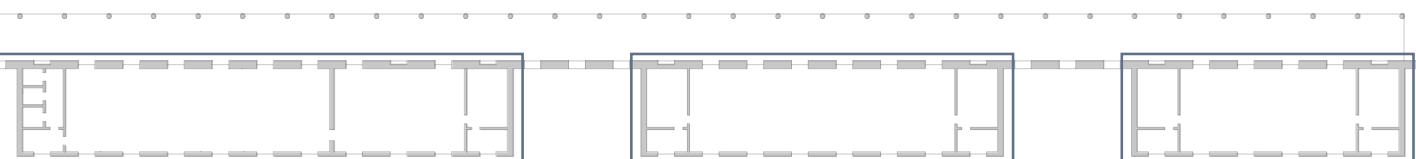


Portata d'aria richiesta:
m³/h 636
HRV - 70AC
m³/h 650
W 270



Potenza richiesta termica:
KW 12,6
Potenza richiesta frigorifera:
KW 19,1

MCW H 022
Potenza termica:
KW 21,1
COP: 3,33
Potenza frigorifera:
KW 19,9
EER:3,39



Blocco 4



Sistema radiante
euroflex



Portata d'aria
richiesta:
m³/h 636
HRV - 70AC
m³/h 650
W 270

PDC

Potenza richiesta
termica:
KW 12,6
Potenza richiesta
frigorifera:
KW 19,1

MCW H 020

Potenza termica:
KW 19,3
COP: 3,44
Potenza frigorifera:
KW 18,9
EER: 3,63

Blocco 5



Sistema radiante
euroflex



Portata d'aria
richiesta:
m³/h 427
HHRV - 50ACm³/h
m³/h 515
W 230

PDC

Potenza richiesta
termica:
KW 9,4
Potenza richiesta
frigorifera:
KW 14,5

MCW H 018

Potenza termica:
KW 14,2
COP: 3,27
Potenza frigorifera:
KW 16,1
EER: 3,45

Blocco 6



Sistema radiante
euroflex



Portata d'aria
richiesta:
m³/h 302
HRV - 30EC
m³/h 315
W 170

PDC

Potenza richiesta
termica:
KW 9,2
Potenza richiesta
frigorifera:
KW 13,6

MCW H 015

Potenza termica:
KW 17,3
COP: 3,41
Potenza frigorifera:
KW 13,7
EER: 3,44

Verifiche NZEB

Il DM 26 giugno 2015 specifica «le prescrizioni e i requisiti minimi in materia di prestazioni energetiche» che devono essere soddisfatte dagli edifici.

In particolare i valori da verificare sono: il Coefficiente medio globale di scambio termico per trasmissione per unità di superficie disperdente $H'T$ - $[W/(m^2K)]$ e il parametro della penetrazione media della radiazione solare attraverso i serramenti ($A_{sol,est} / A_{sup,utile}$).

Inoltre, sempre secondo normativa, per rendere l'edificio ad energia quasi zero, ovvero ad altissima prestazione energetica (il cui fabbisogno energetico è molto basso o quasi nullo), quest'ultimo deve essere coperto in maniera significativa da energia proveniente da fonti rinnovabili.

Il valore massimo ammissibile del coefficiente globale di scambio termico $H'T$ è indicato in normativa e si differenzia in base della zona climatica di riferimento (nel nostro caso B). Inoltre, si diversifica dal rapporto tra la superficie ed il volume dell'edificio (riportato in seguito).

Superficie $[m^2]$	3740
Volume $[m^3]$	6112
S/V $[m]$	0,61

Il rapporto tra la superficie ed il volume è di 0,33. Secondo la normativa questo ci riporta ad avere un valore massimo di $H'T$ di 0,63.

Per calcolare il Coefficiente medio globale di scambio termico $H'T$ $[W/m^2K]$ dell'edificio si è calcolata la trasmittanza termica di tutti gli elementi dell'involucro (opachi e trasparenti), moltiplicati per l'area degli stessi e dividendo il risultato per l'area totale dell'involucro. La formula prevede un fattore di riduzione (nel nostro caso preso il massimo per restare nei margini di sicurezza).

Area $[m^2]$	3741
Trasmittanza $[W/m^2K]$	1000
$H'T$ $[W/K]$	0,27

Il valore è 0,27 è quindi verificato.

Per quanto riguarda il valore massimo per il parametro $A_{sol,est} / A_{sup,utile}$ esso varia in funzione della categoria d'uso dell'edificio. Nel nostro caso equivale a 0,04. Il calcolo si basa sulla superficie utile esterna, sulle caratteristiche dei serramenti (area vetrata e fattore solare) e della presenza di schermature o ombreggiamenti. Riportati in seguito i risultati.

Sup, utile $[m^2]$	1528
$A_{sol,est}$ $[m^2]$	54
$A_{sol,est}/A_{sup,utile}$	0,035

Il risultato è 0,035 è quindi verificato.

La normativa tratta anche dell'integrazione obbligatoria di sistemi di produzione di energia elettrica sostenibile da fonti rinnovabili prodotta in situ.

Una prima verifica è la possibilità di installare, sopra o nelle relative pertinenze dell'edificio un impianto che produca, in termini di potenza elettrica (misurata in KW), energia elettrica pari alla moltiplicazione di un coefficiente (K, dato dalla normativa) per la superficie coperta dell'edificio. Per prima cosa si è riportato il pannello fotovoltaico selezionato, ovvero il Pannello canadian BiHiKu7 di cui si allega la scheda tecnica in appendice.

Conoscendo la potenza e la dimensione di un singolo pannello è stato possibile calcolare il numero totale di pannelli necessari.

Nel capitolo successivo si è dedotta la percentuale reale installabile tenendo in considerazione la dimensione netta disponibile di tutte le coperture del complesso.

Pannello canadianBiHiKu7	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Potenza nominale [KW]	Area [m ²]
	2,38	1,30	0,65	3,11

La formula da utilizzare per calcolare l'energia minima da coprire è quindi:

$$P = 1/K * S \text{ [kW]}$$

dove S è la superficie in pianta dell'edificio a livello del terreno, misurata in m², e K è un coefficiente avente valore pari a 50 m²/kW.

Superficie [m ²]	K	Potenza totale minima [KW]	Numero minimo pannelli	Superficie pannelli [m ²]
1528	50	30,56	47	146

Il numero minimo di pannelli previsti per l'edificio arsenale è quindi di 146.

Impianto fotovoltaico

Impianto fotovoltaico

In seguito alla determinazione della potenza totale elettrica richiesta da ogni edificio è stato possibile proseguire con il calcolo della quantità di pannelli fotovoltaici da installare in modo che venga rispettata la normativa. Il decreto DM 26 giugno 2015 impone infatti, che il 50% del fabbisogno energetico dato dall'impianto di climatizzazione e di produzione di acqua calda sanitaria del fabbricato venga coperto da fonti rinnovabili.

- copertura consumi acqua calda sanitaria da fonti rinnovabili: 50%;
- copertura consumi acqua calda sanitaria riscaldamento raffrescamento da fonti rinnovabili: 50%.

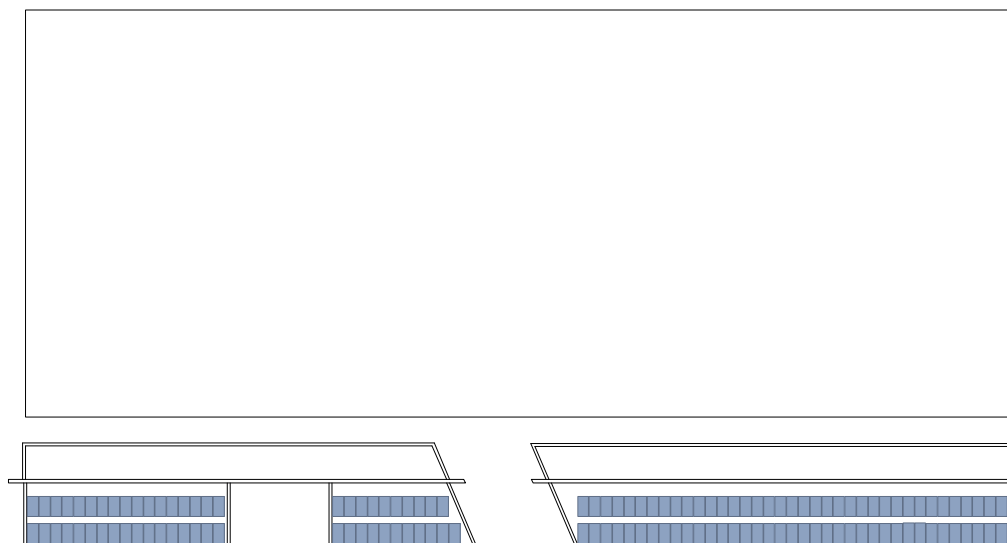
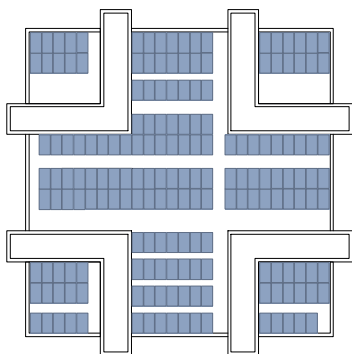
Essendo che l'edificio con la maggior possibilità di installazione di pannelli (per dimensione di estensione ed orientamento sud-ovest) è il Portico e le celle, si è deciso di collocare la maggior parte dei pannelli solari su di esso anche la quota parte dei pannelli che servirebbero a soddisfare il fabbisogno degli edifici museali (Museo e Arsenale).

Per calcolare l'energia annuale [KWhanno] da soddisfare con risorse sostenibili si è proceduto con lo stimare l'energia annuale richiesta dal riscaldamento (Q_h), dal raffrescamento (Q_c) e dalla produzione di acqua calda sanitaria (Q_w) di ogni edificio, dividendo la somma della sua metà.

Il calcolo di Q_h , Q_c e Q_w annuali si ottiene dividendo il fabbisogno energetico per il COP e l'EER delle macchine, per poi moltiplicarlo per le ore di utilizzo giornaliere e per i giorni di utilizzo annui.

Per quanto riguarda Siracusa l'impianto di riscaldamento funziona per 8 ore al giorno dal 1 dicembre al 31 marzo, con un totale di 123 giorni, mentre, per quello di raffrescamento, viene utilizzato principalmente da metà maggio a metà settembre con un totale di 120 giorni per 10 ore al giorno (vengono presi 150 giorni per un margine di sicurezza).

Per l'acqua calda sanitaria si è calcolato come tempistica di utilizzo un'ora al giorno tutti i giorni di apertura del museo.



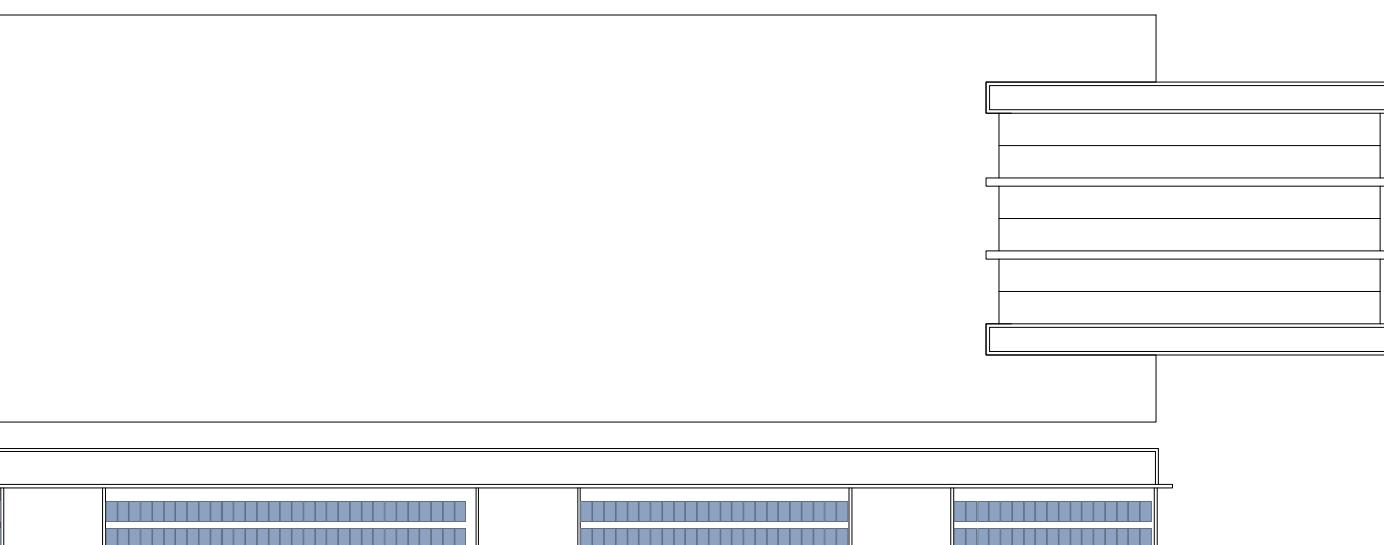
Impianto fotovoltaico

Il pannello scelto è un canadian BiHiKu7 di cui si allega la scheda tecnica in appendice, con orientamento sud-ovest ed inclinazione di 33 gradi¹ (inclinazione ottimale per Siracusa).

Pannello candian BiHiKu7	Lunghezza [m]	Larghezza [m]	Potenza nominale [KW]	Area [m ²]	Ore annue [h]	P annua pannello [KW]
	2,38	1,3	0,65	3,11	2500	1625

KW annui necessari	Raffrescamento	Riscaldamento	ACS	Energia annua	Energia da soddisfare	N° pannelli
Museo	218982	45786	2775	267543	133772	82
Arsenale	276433	51594	3231	331258	165629	102
Portico e celle	60759	21035		81794	40897	25
Totale				680595	340298	209

Il numero di pannelli necessario per rispettare la normativa è di 209 pannelli (650 mq). Essendo però, la disponibilità di area utilizzabile per l'installazione del fotovoltaico delle coperture, molto maggiore di quella richiesta, c'è la possibilità di installare quasi il doppio dei pannelli richiesti minimi per legge. Da progetto, infatti, si possono installare 453 pannelli BiHiKu7 e produrre così 736125 KWh annui. In questi modo è possibile soddisfare la totalità dell'energia richiesta. Per il posizionamento dei pannelli sono state tenute in conto possibili ombreggiature degli elementi sporgenti e i percorsi di manutenzione/sicurezza.



¹ Pannelli solari. Informazione sui pannelli solari, termici e fotovoltaici - infopannellisolari.com

Schede tecniche

Diffusore:

<https://www.ecoclima.com/catalogo-generale/diffusione~1/diffusori~2/edqc1-diffusore-quadrato-con-piastra-di-fondo-chiusa~31.html>

Pannello radiante:

<https://www.eurotherm.info/it/it/sistemi-radianti-a-pavimento/euroflex-tf-acoustic>

Pannello fotovoltaico:

<https://www.csisolar.com/bihiku7/>

Hrv blocchi:

<https://www.sireonline.com/pdf/venus-scheda-tecnica.pdf>

Pompa di calore (Portico e celle):

https://cms.bconsole.com/documents/1677854746-productsBC_MCW_23-IT.pdf/gal

https://cms.bconsole.com/documents/1677857045-productsBC_WRE_23-IT.pdf/gal

Pompa di calore ACS:

<https://www.carrier.com/commercial/it/it/Prodotti/riscaldamento/pompe-di-calore-acqua-acqua/61wg/>

Bibliografia

Ente italiano di normazione, 1995, *Impianti aerulici ai fini del benessere - Generalità classificazione e requisiti - Regole per la richiesta di offerta*, (UNI 10339:1995), 30 Giugno 1995

Parlamento e consiglio europeo, 2002, *Rendimento energetico nell'edilizia*, (Direttiva 2002/91/CE), 16 Dicembre 2002

Ministero dello sviluppo economico, 2015, *Applicazione delle metodologie di calcolo delle prestazioni energetiche e definizione delle prescrizioni e dei requisiti minimi degli edifici*, (DM 26/06/2015), 26 Giugno 2015

Ente italiano di normazione, 2021, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 1: Posti di lavoro in interni* (UNI EN 12464-1:2021), 23 Settembre 2021

Ente italiano di normazione, 2014, *Luce e illuminazione - Illuminazione dei posti di lavoro - Parte 2: Posti di lavoro in esterno* (UNI EN 12464-2:2021), 13 Marzo 2014

Ente italiano di normazione, 2014, *Prestazioni energetiche degli edifici - Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale* (UNI/TS 11300-1:2014), 2 Ottobre 2014

Sitografia

https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=it

<https://www.sicet.it/archivio-web/pages/regioni/sicilia/riscaldamento.html>

Indice delle figure

1.1. Andamento annuale delle temperature a Siracusa, pag. 10 (fonte: <https://it.weatherspark.com/y/78340/Condizioni-meteorologiche-medie-a-Siracusa-Italia-tutto-l'anno>)

1.2. Diagramma psicrometrico, pag. 10 (fonte: <https://www.blueinlab.com/cosa-diavolo-e-la-psicrometria/>)

2.1. Scheda tecnica UTA, pag. 24 (fonte: <https://fastaer.com/>)

2.2. Scheda tecnica PDC selezionata, pag. 35 (fonte: <https://in.climaveneta.com/>)

2.3. Scheda tecnica PDC selezionata, pag. 36 (fonte: <https://www.carrier.com/>)

3.1. Scheda tecnica UTA, pag. 48 (fonte: <https://fastaer.com/>)

3.2. Scheda tecnica PDC selezionata, pag. 59 (fonte: <https://in.climaveneta.com/>)

3.3. Scheda tecnica PDC selezionata, pag. 60 (fonte: <https://www.carrier.com/>)

4.1. Scheda tecnica HRV Sire, pag. 71 (fonte: <https://www.sireonline.com/>)

4.2. Scheda tecnica PDC selezionata, pag. 84 (fonte: <https://cms.bconsole.com/>)

TESI DI LAUREA MAGISTRALE

Scuola di Architettura Urbanistica Ingegneria delle Costruzioni
Architettura - Architettura delle Costruzioni

Relatore:

Prof. Tomaso Monestirolì

Correlatori:

Prof. Vassilis Mpampatsikos

Prof. Fulvio Re Cecconi

Prof. Paolo Oliaro

Prof.ssa Paola Gallo Stampino

Studenti:

Lucrezia Borsari 995471

Michele Vezzoli 994342

Francesco Zugni 993926