

Allegato 1

Capitolato d'oneri del Bando di gara per espletamento di procedura ristretta, ex articolo 61, D.Lgs. 50/2016, per la realizzazione di “Progetto Esecutivo” e per l’affidamento dell’incarico “Direzione lavori” di cui “all’Avviso Pubblico per la presentazione di Proposte di intervento per la promozione dell’ecoeficienza e riduzione dei consumi energetici nelle sale teatrali e nei cinema, pubblici e privati, da finanziare nell’ambito del PNRR [M1C3I1.3]” - Teatro Modena , CUP ASSEGNATO AL PROGETTO: H35H22000040001 - CIG: 9461162DDC”

INTRODUZIONE

La presente relazione specialistica ha l'obiettivo di approfondire gli aspetti tecnici legati alle proposte di intervento per la promozione dell'eco-efficienza e riduzione dei consumi energetici da realizzare nel "Teatro Modena" ubicato nel Comune di Genova (GE), da finanziare nell'ambito del PNRR, Missione 1 - Digitalizzazione, innovazione, competitività, cultura e turismo - Componente 3 - Turismo e Cultura 4.0 (M1C3), Misura 1 "Patrimonio culturale per la prossima generazione", Investimento 1.3: Migliorare l'efficienza energetica di cinema, teatri e musei - Obiettivi 2 e 3 per un totale di 200.000.000,00 euro finanziato dall'Unione europea – NextGenerationEU.

Nel caso in esame, la proposta di intervento prevede:

- riqualificazione dell'impianto termico per la climatizzazione degli ambienti mediante installazione di una pompa di calore acqua-aria in funzionamento combinato con la caldaia a condensazione esistente;
- riqualificazione del sistema di climatizzazione specifico per la sala e la platea mediante impiego di UTA compatta completa di pdc interna atta ad ottenere altissime efficienze ed idonea a lavorare a tutt'aria esterna
- rifacimento del sistema di produzione di acqua calda sanitaria tramite pdc specifica dedicata
- inserimento di impianto fotovoltaico in copertura per contribuire al sostenimento energetico e a ridurre l'emissione di CO2
- inserimento di sistema di *building automation* specifico per la climatizzazione con controllo specifico di CO2 Ur e T direttamente nella sala e sul palco

La diagnosi energetica dell'immobile ha consentito di individuare anche l'indice di prestazione energetica dell'immobile sia nella condizione *ante operam* sia in quella *post operam*; allo stato attuale l'edificio si attesta alla **classe energetica D**, mentre con gli interventi in oggetto si prevede di raggiungere la **classe A1**.

Nei paragrafi seguenti si descrivono nel dettaglio le soluzioni progettuali individuate.

5. INQUADRAMENTO TERRITORIALE, URBANISTICO E CATASTALE

L'edificio oggetto del presente progetto è il Teatro Sala Mercato, situato in Via del Monastero 4, nel Comune di Genova (GE).

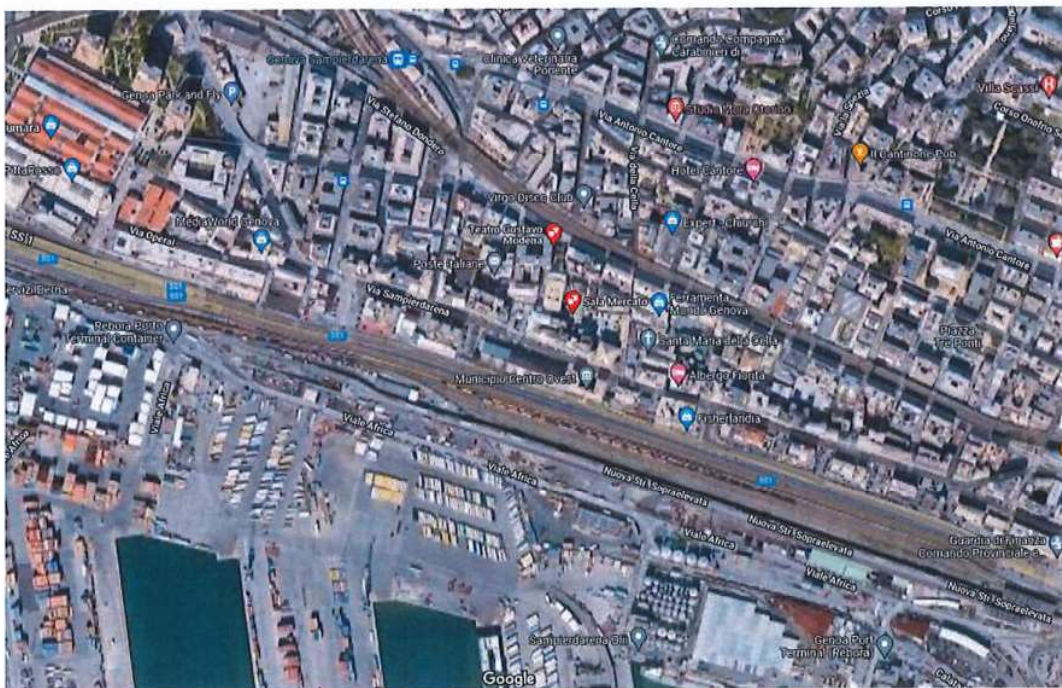


Figura 1 – Inquadramento territoriale (Google Maps)



Figura 2 – Ortofoto con vista dell'edificio (fonte: Google Maps)



Figura 3 – Ortofoto con inquadramento zonizzazione (fonte: GEOPORTALE Regione Liguria)



Figura 4 – Suddivisione catasto (fonte: GEOPORTALE Regione Liguria)

5.1 PIANIFICAZIONE REGIONALE

5.1.1 Vincoli e rischi

L'edificio in esame non ricade in area vincolata di cui al Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 e successive modifiche, inoltre si colloca in una zona a rischio geomorfologico baso (Rg0).

5.1.2 Struttura Urbana Qualificata



Figura 5 – Mappa rischio geomorfologico (fonte: GEOPORTALE Regione Liguria)

La perimetrazione della cartografia della Struttura Urbana Qualificata è aggiornata periodicamente dall'Amministrazione regionale, Centro funzionale. La cartografia riportata nel seguente documento è aggiornata alla data della presente relazione ed è consultabile dal sito internet del Comune di Genova nella sezione "Geoportale Cartografico". L'intervento rientra all'interno della perimetrazione dei Tessuti Urbani Storici

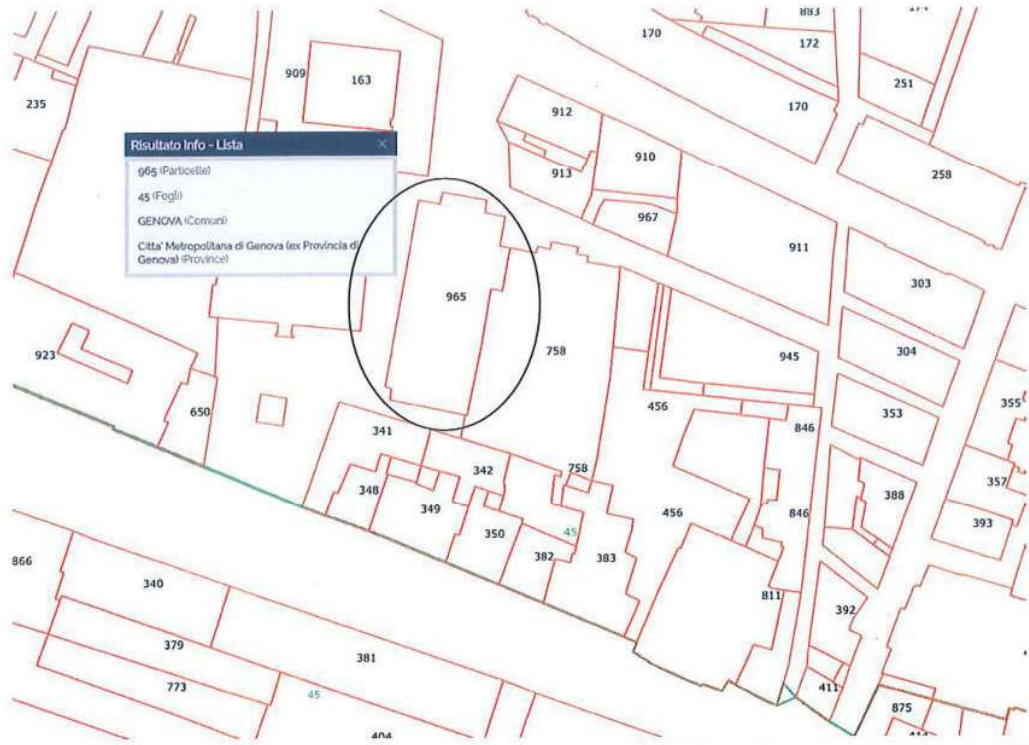


Figura 6 – Identificazione catastale del Teatro Modena (fonte: GEOPORTALE Regione Liguria)

6. DESCRIZIONE DELL'EDIFICIO E DEGLI INTERVENTI

L'edificio oggetto dell'intervento è sito nel Comune di Genova (Ge). Il Teatro Modena è stato edificato nel 1856 per ospitare rappresentazioni liriche e di prosa e nel corso del Novecento ha subito varie trasformazioni. Utilizzato per molti anni come cinema, dopo il restauro degli anni novanta attualmente è sede della compagnia teatrale del Teatro dell'Archivolto. La facciata, in stile neoclassico, ha cinque porte ad arco, di cui le tre centrali unite da un avancorpo con terrazzo, aggiunto nel restauro del 1920, sormontato da quattro semi-colonne ioniche che sorreggono il timpano triangolare che corona in alto la facciata.

L'interno è caratterizzato da una grande sala a ferro di cavallo, circondata da tre ordini di palchi oltre al loggione; oggi può contenere complessivamente 498 spettatori, di cui 349 in platea e i restanti nei 74 palchi (il loggione non è aperto al pubblico), ma in origine poteva ospitare 800 spettatori, portati a 900 nel restauro del 1920. La decorazione della volta è costituita da affreschi di Nicolò Barabino, in parte andati perduti e sostituiti da riproduzioni in tela sovrapposte all'intonaco del soffitto.

Dal 2001 al teatro è stata annessa la Sala Mercato, ricavata dalla ristrutturazione dell'ampio adiacente edificio che aveva ospitato dal 1905 fino agli anni novanta il mercato comunale. Questa moderna sala teatrale può contenere fino a 200 spettatori e ospita anch'essa attività del Teatro dell'Archivolto. Dal 2018 sia il Teatro Modena sia la Sala Mercato fanno parte delle sale ufficiali del Teatro Nazionale di Genova.



Figura 9 – Vista dell'edificio oggetto di intervento



Figura 10 - Struttura oggetto di intervento (fonte Google Maps)

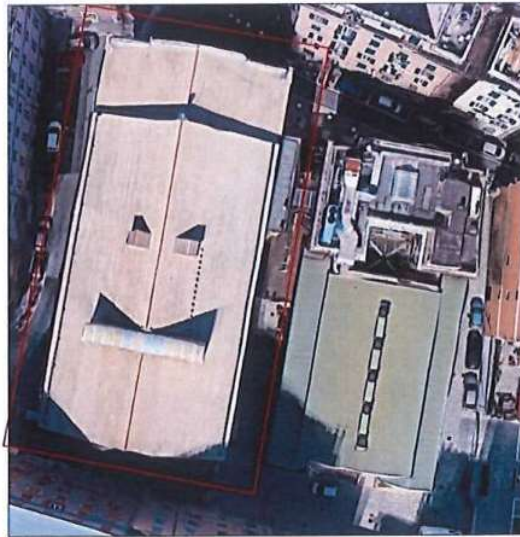


Figura 11 - Collocazione dell'edificio rispetto al territorio comunale edificato (fonte GMaps)

La struttura è stata sottoposta ad un restauro iniziato nel 2001. All'interno trova spazio la platea la struttura risulta su unica platea la cui copertura metallica mostra le travature metalliche a vista.



Figura 12–Vista interna del teatro

Gli interventi di efficientamento energetico da realizzare sull'edificio riguardano:

- riqualificazione dell'impianto termico per la climatizzazione degli ambienti mediante installazione di una pompa di calore acqua-aria in modo da lavorare congiuntamente con la caldaia a condensazione esistente "funzionamento ibrido";
- riqualificazione del sistema di climatizzazione specifico per la sala e la platea mediante impiego di UTA compatta completa di pdc interna atta ad ottenere altissime efficienze ed idonea a lavorare a tutt'aria esterna
- rifacimento del sistema di produzione di acqua calda sanitaria tramite pdc specifica dedicata
- inserimento di sistema di *building automation* specifico per la climatizzazione con controllo specifico di CO2 Ur e T direttamente nella sala e sul palco

Gli interventi hanno l'obiettivo di aumentare l'efficienza energetica dell'edificio, minimizzando il fabbisogno energetico dell'edificio stesso migliorando il confort interno e diminuendo le emissioni di CO2 in ambiente.

Gli interventi non modificano il prospetto dell'edificio né il contesto paesaggistico in cui esso si colloca.

Di seguito viene descritto ogni intervento, i risultati attesi, le caratteristiche dimensionali e tecniche, la stima preliminare dei lavori.

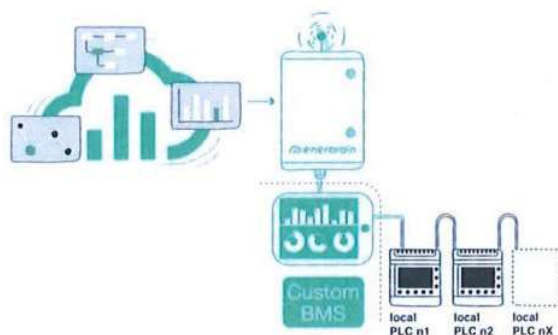
7. INSTALLAZIONE DI UN SISTEMA A POMPA DI CALORE PER LA CLIMATIZZAZIONE E UNO DI RINNOVO ARIA COMBINATO PER LA SALA DEL TEATRO

L'intervento in esame prevede la realizzazione di un impianto distinto per la sala del teatro da quello del resto della palazzina asservita ad uso uffici/camerini/spazi polivalenti e un sistema autonomo per la produzione di acqua calda sanitaria sempre alimentato da pompe di calore reversibili aria-acqua.

Il sistema di trattamento dell'aria impiegato risulta ad altissima efficienza autonomo dal punto di vista energetico, caratterizzato da 4 stadi di recupero energetico in grado di lavorare il 100% dell'aria esterna e di essere rispondente alle linee guida del ISS (n. 5/2020 del 25 maggio, n. 25/2020 del 15 maggio, n. 33/2020 del 25 maggio).

Il sistema in pompa di calore integrerà nel suo funzionamento la caldaia esistente a condensazione e sostituirà il gruppo frigo presente. Il sistema di generazione sarà asservito al riscaldamento e raffrescamento degli ambienti (uffici e Foyer, spogliatoi/camerini) grazie alle elevate rese energetiche e alla potenza ridimensionata e adeguata al nuovo carico termico la generazione sarà in grado di adattarsi meglio alle diverse richieste della palazzina uffici essendo totalmente slegata dalle richieste energetiche della sala del teatro. Il sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria sarà sostituito con uno alimentato da pompa di calore specifica dedicata.

Viene previsto inoltre un **sistema** in grado di **ottimizzare le prestazioni dei sistemi di generazione e distribuzione HVAC** (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*) completo di sonde di Temperatura, CO2 e umidità relativa all'interno della sala teatrale e di interconnessione fra tutte le sorgenti di produzione termica/frigorifera inserite e le sorgenti di emissione (*fan coils*, caloriferi UTA dei camerini) il tutto per sincronizzare le risposte dei vari sistemi con le diverse richieste e ottimizzare i consumi energetici. La proposta, si realizzerà attraverso la **soluzione BEMS Cloud**, che prevede la costruzione di un sistema di controllo locale, la cui logica sarà ottimizzata attraverso la sovrascrittura di determinati parametri da parte dell'Algoritmo, residente in *cloud*, che agisce applicando algoritmi di *machine learning*



L'insieme di tali sistemi ottimizza lo sfruttamento delle fonti rinnovabili a disposizione riduce al massimo le emissioni di CO2 e consente un risparmio energetico considerevole.

7.1 CARATTERISTICHE DELL'IMPIANTO TERMICO ANTE OPERAM

Le principali caratteristiche dell'impianto termico *ante operam* per la climatizzazione invernale/estiva sono state ottenute dai rilievi effettuati in sito e ai dati tecnici comunicati dai produttori delle tecnologie installate.

7.1.1 Descrizione centrale termica e generatore di calore 7 gruppo frigo

Attualmente l'energia termica per la climatizzazione invernale viene prodotta mediante un generatore pressurizzato a condensazione completo di bruciatore marca WOLF MGK-2-300; la potenza utile è pari a 280kW.



Figura 14 - Vista generatore di calore in centrale termica e dati di targa

Il circuito idraulico alimentato dalla caldaia si dirama in 3 DORSALI a servizio : del circuito Fan coil /radiatori,del circuito UTA e di quello di alimentazione del boiler di produzione acqua calda sanitaria.

L'energia frigorifera per la climatizzazione estiva viene prodotta mediante un gruppo frigorifero marca EMMETTI P80-2003; la potenza utile è pari a 85KW.



Figura 14 - Vista GRUPPO FRIGORIFERO e dati di targa

7.1.2 Descrizione distribuzione e terminali di emissione

All'interno dell'edificio, i terminali risultano in parte fan coils per gli uffici sale comuni e fondi aree camerini, per la sala il palco è presente solo l'impianto ad aria.



L'impianto termico è collegato alle batterie di riscaldamento dell'UTA asservita alla sala , modello sconosciuto (data la cvetustà della macchina non è stato possibile reperire i dati) PORTATA 12500 mc/h, posizionata in locale tecnico al piano terra , a servizio della zona palco, della platea e degli ordini.



Il dimensionamento delle apparecchiature dell'impianto di climatizzazione è stato effettuato in relazione alle condizioni esterne più sfavorevoli e sulla base delle imposizioni della legge n. 10 del 09/01/1991 "Norme per l'attuazione del piano energetico nazionale in materia di uso razionale dell'energia, di risparmio energetico e di sviluppo delle fonti rinnovabili di energia" e successive modifiche ed integrazioni.

7.2.1 Parametri di riferimento e procedura di calcolo

Il calcolo della potenza di dispersione e dei fabbisogni energetici per la scelta e il dimensionamento dell'impianto di riscaldamento è stato svolto in conformità alla Legge 10/91 e sue successive modifiche e dal D.P.R. 412/93. Di seguito sono riportati i parametri considerati per il dimensionamento della potenza del sistema che verrà installato per la struttura.

Il calcolo del carico termico di progetto è stato svolto con l'ausilio del software EDILCLIMA EC700 VERS 11.22.10, che ha permesso di valutare il fabbisogno energetico dell'edificio nello stato di progetto. Sulla base della modellazione termica dell'edificio sia nell'involucro edilizio che nelle componenti impiantistiche, viene valutato il carico termico di progetto come somma delle dispersioni dovute alla trasmissione, alla ventilazione e alla ripresa delle condizioni di comfort interne.

Caratteristiche geografiche

Località	Genova		
Provincia	Genova		
Altitudine s.l.m.	3 m		
Latitudine nord	44° 25'	Longitudine est	8° 53'
Gradi giorno DPR 412/93	1435		
Zona climatica	D		

Località di riferimento

per dati invernali	Genova
per dati estivi	Genova

Stazioni di rilevazione

per la temperatura	Recco - Polanesi
per l'irradiazione	Recco - Polanesi
per il vento	Recco - Polanesi

Caratteristiche del vento

Regione di vento:	C
Direzione prevalente	Nord-Est
Distanza dal mare	< 20 km
Velocità media del vento	0,8 m/s
Velocità massima del vento	1,6 m/s

Dati invernali

Temperatura esterna di progetto	0,1 °C
Stagione di riscaldamento convenzionale	dal 01 novembre al 15 aprile

Dati estivi

Temperatura esterna bulbo asciutto	29,9 °C
Temperatura esterna bulbo umido	23,6 °C
Umidità relativa	60,0 %
Escursione termica giornaliera	6 °C

Temperature esterne medie mensili

Descrizione	u.m.	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperatura	°C	10,4	10,5	11,1	15,3	18,7	22,4	24,6	23,6	22,2	18,2	13,3	10,0

Irradiazione solare media mensile

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

Irradianza sul piano orizzontale nel mese di massima insolazione: **271** W/m²

Tabella 1 – Dati Climatici della località

Dati geometrici dell'intero edificio:

Superficie in pianta netta	2965,37	m ²
Superficie esterna lorda	8074,82	m ²
Volume netto	20144,76	m ³
Volume lordo	24379,57	m ³
Rapporto S/V	0,33	m ⁻¹

Tabella 2 – Dati geometrici di progetto dell'edificio

ZONA: 1 Teatro Modena**Mese: Luglio**Ora di massimo carico della zona: **16****Carichi termici nell'ora di massimo carico della zona:**

N.	Descrizione	Q _{Irr} [W]	Q _{Tr} [W]	Q _v [W]	Q _c [W]	Q _{gl,sen} [W]	Q _{gl,lat} [W]	Q _{gl} [W]
8	Sottopalco	0	2280	7105	10347	11385	8347	19732
10	Gruppo:teatro e palco	358	9504	159810	76233	96563	149341	245904
Totali		358	11784	166915	86580	107949	157688	265637

Legenda simboli

Q _{Irr}	Carico dovuto all'irraggiamento
Q _{Tr}	Carico dovuto alla trasmissione
Q _v	Carico dovuto alla ventilazione
Q _c	Carichi interni
Q _{gl,sen}	Carico sensibile globale
Q _{gl,lat}	Carico latente globale
Q _{gl}	Carico globale

Tabella 3 – Dati termici estivi di progetto dell'edificio

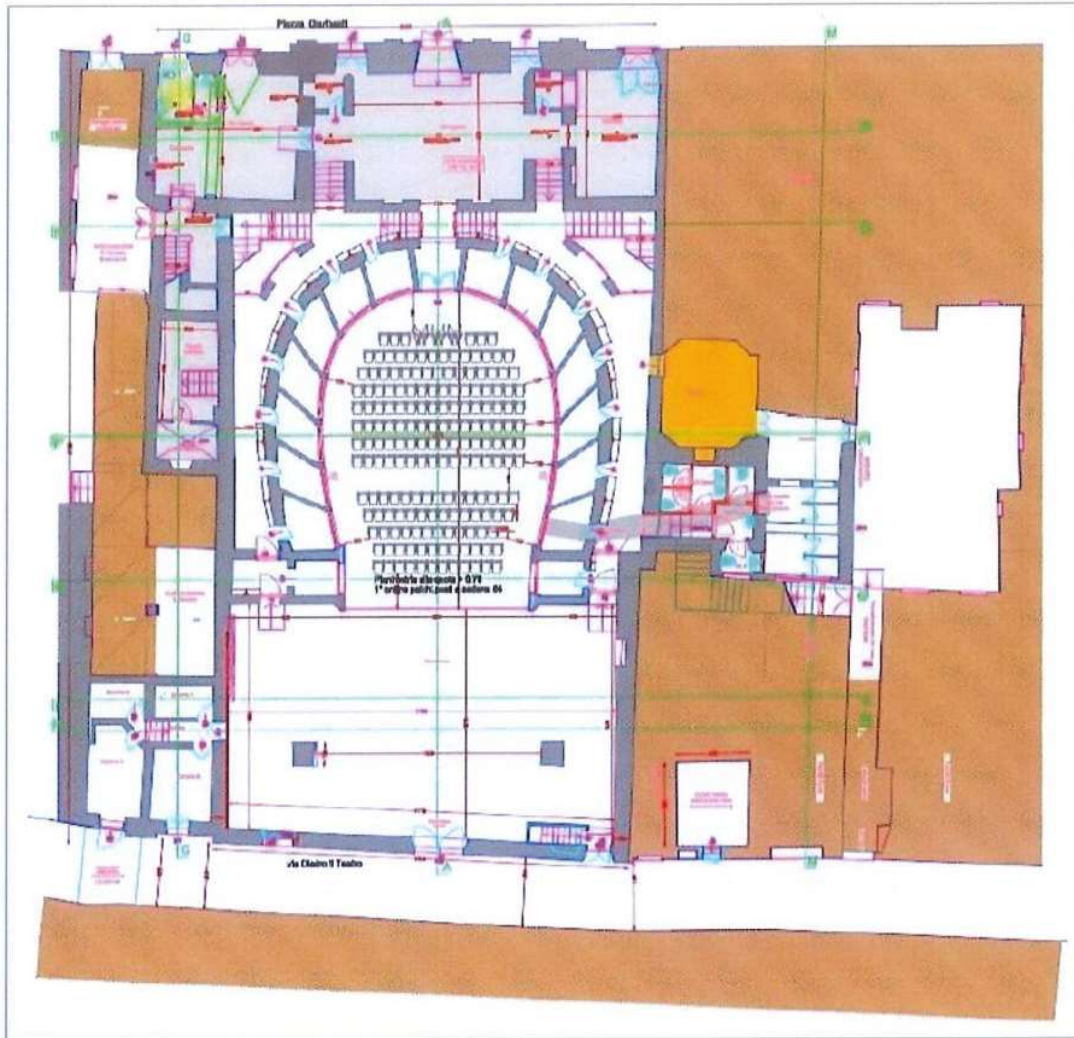


Figura 17 – Modellazione dell'edificio

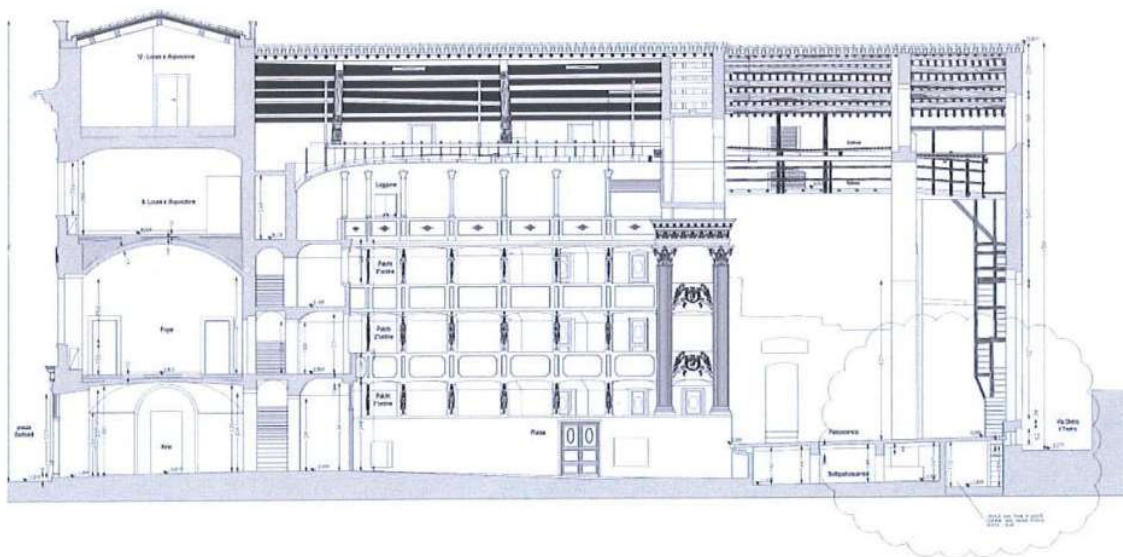


Figura 18 – Modellazione dell'edificio

7.2.2 Risultati del calcolo termico

Dati geometrici delle zone termiche:

Zona	Descrizione	V [m ³]	V _{netto} [m ³]	S _u [m ²]	S _{lorda} [m ²]	S [m ²]	S/V [-]
1	Teatro Modena	16382,58	13927,88	1524,03	1758,04	4463,28	0,27

Fabbisogno di potenza delle zone termiche

Zona	Descrizione	Φ_{tr} [W]	Φ_{ve} [W]	Φ_{rh} [W]	Φ_{hl} [W]	$\Phi_{hl\ sic}$ [W]
1	Teatro Modena	96709	178919	0	275628	275628

Legenda simboli

V	Volume lordo
V _{netto}	Volume netto
S _u	Superficie in pianta netta
S _{lorda}	Superficie in pianta lorda
S	Superficie esterna lorda (senza strutture di tipo N)
S/V	Fattore di forma
Φ_{tr}	Potenza dispersa per trasmissione
Φ_{ve}	Potenza dispersa per ventilazione
Φ_{rh}	Potenza dispersa per intermittenza
Φ_{hl}	Potenza totale dispersa
$\Phi_{hl\ sic}$	Potenza totale moltiplicata per il coefficiente di sicurezza

ZONA: 1 *Teatro Modena*

Mese: *Luglio*

Ora di massimo carico della zona: **16**

Carichi termici nell'ora di massimo carico della zona:

N.	Descrizione	Q_{Irr} [W]	Q_{Tr} [W]	Q_v [W]	Q_c [W]	$Q_{gl,sen}$ [W]	$Q_{gl,lat}$ [W]	Q_{gl} [W]
8	<i>Sottopalco</i>	0	2280	7105	10347	11385	8347	19732
10	<i>Gruppo:teatro e palco</i>	358	9504	159810	76233	96563	149341	245904
Totali		358	11784	166915	86580	107949	157688	265637

Legenda simboli

Q_{Irr}	Carico dovuto all'irraggiamento
Q_{Tr}	Carico dovuto alla trasmissione
Q_v	Carico dovuto alla ventilazione
Q_c	Carichi interni
$Q_{gl,sen}$	Carico sensibile globale
$Q_{gl,lat}$	Carico latente globale
Q_{gl}	Carico globale

Tabella 4 – Risultati di calcolo

Soddisfare il carico termico di progetto dell'edificio, significa erogare attraverso i terminali di emissione dell'impianto di riscaldamento una potenza adeguata per ogni singolo vano. Conoscendo la potenza termica di calcolo e il numero di terminali da sostituire, si può così definire la tipologia del nuovo terminale da installare. Si rimanda al capitolo successivo per le informazioni di dettaglio in merito.

7.3 STATO DI PROGETTO DELL'IMPIANTO TERMICO

Nella configurazione post-operam la produzione del fluido termo-vettore per la climatizzazione dell'edificio avverrà tramite un sistema di tipo POMPA DI CALORE aria-acqua in abbinata alla caldaia esistente a condensazione, UTA completa di PDC asservita alla sala , al palco e agli ordini e una PDC asservita alla produzione indipendente di acqua calda sanitaria .

Tutte le macchine previste saranno posizionate in corrispondenza di quelle attualmente presenti e occuperanno pertanto gli stessi spazi già autorizzati.

L'impianto sarà completato quindi da una UTA compatta completa di pompa di calore e a tutt'aria esterna posizionata in nuovo locale al piano terra che verrà completa asservito all'uso adeguandolo dal punto di vista edilizio ed acustico, da un sistema di building automation asservito agli impianti HVAC.

7.3.1 Caratteristiche generatori di calore: pompa di calore aria-acqua

Il funzionamento di una pompa di calore si basa su un ciclo termodinamico chiuso, in cui un fluido termo-vettore subisce cambiamenti stato (in particolare condensazione ed evaporazione) con variazioni di temperatura e pressione.

Durante il ciclo di riscaldamento dell'ambiente interno, il calore contenuto nell'ambiente esterno viene prelevato dalla macchina ed utilizzato per far evaporare il fluido refrigerante. Un compressore alimentato ad energia elettrica comprime il fluido termovettore innalzando i suoi parametri di temperatura e pressione. Il fluido passa poi in un secondo scambiatore presente nella macchina interna dove condensa rilasciando calore che andrà a riscaldare l'ambiente interno. Il ciclo di passaggi di stato (da liquido a vapore e viceversa) si chiude per mano della valvola di espansione che riporta il fluido alle condizioni iniziali.

Il ciclo descritto può essere invertito, così, la stessa apparecchiatura se opportunamente predisposta può essere impiegata sia per il riscaldamento sia per il raffreddamento.

Come enunciato in precedenza, una pompa di calore ha bisogno di energia per funzionare, ma quella che trasferisce all'interno dell'ambiente sotto forma di calore è maggiore di quella che consuma grazie ad un COP (Coefficient Of Performance) alto e un EER elevato conforme alle richieste cogenti.

Di conseguenza, attraverso l'installazione di un impianto a pompa di calore elettrica i consumi di energia termica per la climatizzazione dell'edificio verranno convertiti in consumi di energia elettrica inferiori ai primi.

Sulla base delle temperature di progetto, del calcolo termico effettuato, sono state individuate le caratteristiche di potenza termica della pompa di calore (escludendo la quota parte di energia termica impiegata dalla UTA della sala in quanto autonoma) in considerazione del lavoro accoppiato con un generatore alimentato a gas metano esistente.

Pompa di calore aria-acqua	
Potenza termica resa	85.0 kW
Potenza assorbita	23.8 kW
COP	3.23
Potenza frigorifera resa	83.4 kW
Potenza assorbita	25.40 kW
EER	3.28
<i>Applica la normativa EN 14511:2018</i>	

Tabella 5 – Caratteristiche della pompa di calore aria-acqua



Figura 24 – Esempio pompa di calore

È importante sottolineare come l'installazione della pompa di calore aria-acqua in oggetto, oltre a migliorare l'efficienza energetica dell'impianto, con significativi risparmi sia energetici che economici, permetterà di migliorare il benessere dei fruitori del teatro.

7.3.2 Caratteristiche generatori di calore: pompa di calore aria-acqua per acqua calda sanitaria

Sulla base delle temperature di progetto, del calcolo termico effettuato, sono state individuate le caratteristiche di potenza termica della pompa di calore asservita alla produzione di acqua calda sanitaria e del bollitore accoppiato, il tutto asservito agli spogliatoi dei camerini del teatro in oggetto.

Pompa di calore aria-acqua x acs	
Potenza termica resa	26.9 kW
Potenza assorbita	13.4 kW
COP	2.00
Temperatura di funzionamento	60°C
Salto termico	5 °C
<i>Applica la normativa EN 14511:2018</i>	

Tabella 5 – Caratteristiche della pompa di calore aria-acqua



7.3.3 Caratteristiche UTA COMPATTA PER SALA TEATRO

Sulla base delle temperature di progetto, del calcolo termico effettuato, sono state individuate le caratteristiche di potenza termica e frigorifera della UTA compatta necessaria a soddisfare i requisiti richiesti per la sala del teatro .

La Centrale Trattamento Aria Primaria a sezioni componibili Serie RRU-FA sono realizzate, in conformità alle normative europee UNI EN 1886, alla specifica della norma UNI EN 12100 e alle direttive del marchio CE, secondo un sistema che dia assicurazione di qualità certificata **ISO 9001/2008 n° CERT-01113-96-AQ-BOL-SINCERT** e **ISO 14001:2004 n°154030-2014-AE-ITA-ACCREDIA**. Le prestazioni caratteristiche della macchina dovranno essere garantite in rispetto della norma UNI EN 13053. Sono centrali destinate al trattamento dell'aria esterna mediante:

- **primo stadio di recupero** di calore sensibile e latente effettuato con ruota igroscopica;
- **secondo stadio di recupero** di calore con sistema a fluido refrigerante R410A;

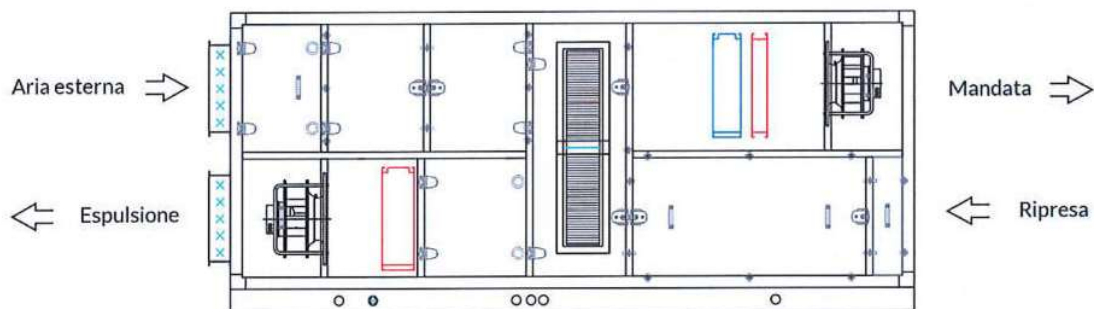
- **terzo stadio di recupero**, in fase estiva di deumidifica, post-riscaldando l'aria utilizzando gas caldo di condensazione;
- **quarto stadio di recupero**, sempre attivo in fase estiva, recuperando il calore latente di condensazione della batteria di raffreddamento/deumidificazione, abbassando il carico in dissipazione;

Il doppio sistema di recupero, rotativo igroscopico e termodinamico, garantisce la migliore efficienza in ogni condizione di utilizzo. Gli insiemi frigoriferi installati a bordo delle unità devono essere certificati PED 2014/68/UE secondo Modulo A2: controllo interno della produzione unito a controlli ufficiali delle attrezzature a pressione effettuati a intervalli casuali effettuati da Bureau Veritas Italia (Ente notificato n.1370) con rilascio del relativo certificato.

Principi di funzionamento

I trattamenti realizzati dall'unità RRU-FA sull'aria esterna sono finalizzati al mantenimento dei set-point di temperatura e di umidità relativa definiti dall'utente. Il sistema di regolazione automatica integrato modula il funzionamento dell'unità garantendo il raggiungimento dell'obiettivo ottimizzando i consumi energetici. In generale è possibile distinguere fra funzionamento in fase estiva ed in fase invernale

Funzionamento estivo

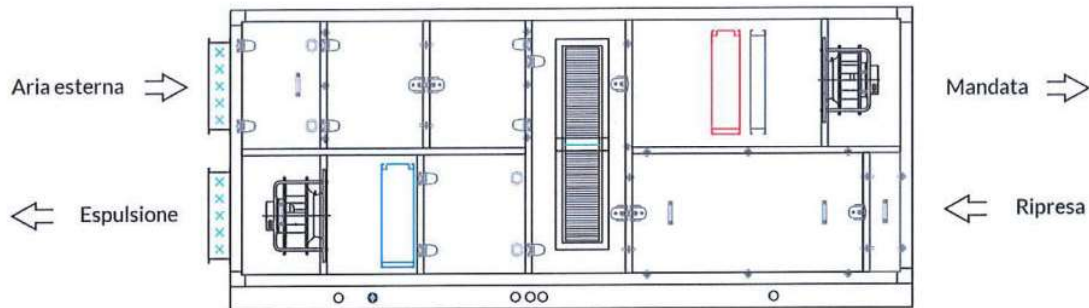


Il passaggio attraverso il recuperatore rotativo consente lo scambio di calore sensibile e latente tra aria di rinnovo e aria di ripresa, l'aria di rinnovo viene così raffreddata e deumidificata. Un ulteriore raffreddamento è garantito dalla batteria di evaporazione del ciclo frigorifero e dall'eventuale batteria ad acqua (opzionale). Nella batteria di post-riscaldamento dell'aria di mandata viene fatto circolare gas caldo, il cui spillamento consente di post-riscaldare gratuitamente e di ottenere una sostanziosa riduzione dei consumi del gruppo compressore.

La condensazione del refrigerante avviene sull'aria di ripresa; si utilizzano, in tal modo, temperature di condensazione inferiori a quelle necessarie nel funzionamento con aria esterna, con conseguente aumento dell'efficienza del ciclo frigorifero. Un ulteriore miglioramento del ciclo frigorifero è garantito dal raffreddamento adiabatico realizzato evaporando, in espulsione, l'acqua di condensa prodotta

dalla batteria di raffreddamento. La funzione booster del ventilatore di ripresa, mantenendo invariate le portate di mandata e ripresa rispetto all'ambiente, è finalizzata all'incremento dello scambio e all'abbassamento della pressione di condensazione nella messa a regime o in particolari condizioni di funzionamento.

Funzionamento invernale



Il passaggio attraverso il recuperatore rotativo consente lo scambio di calore sensibile e latente tra aria di rinnovo e aria di ripresa. L'aria di rinnovo viene così riscaldata e umidificata. Un ulteriore riscaldamento è garantito dalla batteria di condensazione della pompa di calore e dall'eventuale batteria ad acqua (opzionale), che consentono il raggiungimento delle caratteristiche di immissione. Il refrigerante evapora sull'aria di ripresa già raffreddata dal passaggio attraverso la ruota igroscopica. È possibile in tal modo mantenere temperature di evaporazione superiori a quelle necessarie nel funzionamento con aria esterna, con conseguente aumento dell'efficienza del ciclo a pompa di calore. L'innovativa logica di regolazione previene automaticamente la formazione di brina e minimizza la necessità di invertire il ciclo diretto per effettuare operazioni di sbrinamento, scongiurando pertanto riduzioni del livello di comfort percepito negli ambienti. Quando lo sbrinamento è necessario per le particolari condizioni termo-igrometriche, la logica di funzionamento e di attivazione delle tre batterie a bordo garantisce comunque l'immissione in ambiente di aria neutra.

Regolazione RIR

L'unità RRU-FA è dotata di un sistema di regolazione integrato RIR (regolazione integrata Roccheggiani). Il RIR è costituito da un quadro di controllo a bordo unità con pannello di controllo LCD, più terminale ambiente remoto in versione LCD o touchscreen opzionale.

Il display LCD permette un controllo completo dell'unità permettendo anche le tarature lato service/costruttore. Il display touch screen dispone invece di un'interfaccia semplificata.

La regolazione automatica integrata del sistema, controlla e monitora le funzioni e i set-point della centrale.

Il sistema è basato su un controllo a microprocessore programmabile specifico per il miglioramento dell'efficienza nei sistemi HVSC&R.

RRU-FA			125
Portata Mandata		m ³ /h	12.500
Portata ripresa		m ³ /h	12.500
Massima Portata aria esterna		m ³ /h	18.750
Massima Portata espulsione		m ³ /h	18.750

Raffrescamento

SEER	(5)		5,28
P _{rated}	(8)	kW	78
Classe energetica	(7)		A

Riscaldamento

SCOP	(5)		4,25
P _{rated}	(8)	kW	61
Temperatura di bivalenza	(6)	°C	-7
Classe energetica	(7)		A++

Raffrescamento

Potenza totale recuperata	(1)	kW	126,7
Potenza sensibile recuperata	(1)	kW	31,1
Potenza raff. totale gruppo frigo	(1)	kW	81,0
Potenza raff. sensibile gruppo frigo	(1)	kW	58,1
Temperatura in uscita batteria	(1)	°C	14,0
Umidità assoluta in mandata	(1)	g/kg	9,6
Potenza frigorifera totale	(1)	kW	207,7
Potenza assorbita totale	(1) (3)	kW	33,7

Efficienza energetica della macchina	(1) (3)	η	6,76
Riscaldamento			
Potenza totale recuperata	(2)	kW	165,4
Potenza sensibile recuperata	(2)	kW	107,1
Potenza risc. totale gruppo frigo	(2)	kW	52,9
Temperatura in uscita batteria	(2)	°C	28,0
Umidità assoluta in mandata	(2)	g/kg	6,8
Potenza termica totale	(2)	kW	218,3
Potenza assorbita totale	(2) (3)	kW	23,1
Efficienza energetica della macchina	(2) (3)	η	10,62

7.4 IMPIANTO ELETTRICO

L'intervento prevede l'adeguamento degli impianti elettrici nel locale tecnico dove saranno posizionati i nuovi utilizzatori.

7.4.1 Quadro elettrico pompa di calore

Il quadro elettrico sarà posato a vista e fissato a parete con tasselli, e verrà alimentato a partire dal quadro elettrico presente nel locale, a servizio dell'UTA. La macchina dovrà essere protetta e sezionabile mediante l'installazione di un quadro dedicato, dotato di Interruttore Magnetotermico Differenziale Quadripolare.

Dimensionamento e protezioni.

Il dimensionamento delle linee è stato effettuato a partire dalla potenza elettrica da impiegare sulla linea, considerando come fattore determinante la caduta di tensione percentuale inferiore al 4% nel punto più lontano dell'impianto e facendo in modo che per nessuna condizione di esercizio sia superata la temperatura massima ammissibile per ciascun cavo utilizzato.

La protezione contro i sovraccarichi e contro i cortocircuiti richiederà il rispetto delle seguenti relazioni:

A) Protezione contro i sovraccarichi

$$I_b < I_n < I_z$$

$$I_f < 1,45 I_z$$

dove:

I_b = corrente di impiego del circuito;

I_z = portata in regime permanente della conduttura;

I_n = corrente nominale del dispositivo di protezione;

I_f = corrente d'intervento.

B) Protezione contro i cortocircuiti

$$P.i. > I_{max.c.c.}$$

dove:

$P.i.$ = potere d'interruzione dell'interruttore;

$I_{max.c.c.}$ = corrente di c.to c.to presunta nel punto d'installazione del dispositivo di protezione.

Protezione contro i contatti diretti.

La protezione sarà attuata con il collegamento di tutte le parti metalliche al conduttore di protezione (PE) e con l'impiego di idonei interruttori differenziali posti a monte delle parti da proteggere. Il dispositivo di protezione dovrà interrompere automaticamente l'alimentazione al circuito o al componente elettrico in modo che in caso di guasto tra una parte attiva ed una massa o un conduttore di protezione non possa persistere, per una durata sufficiente a causare un rischio di effetti fisiologici dannosi in una persona in contatto con parti simultaneamente accessibili, una tensione di contatto presunta superiore a 50V (CEI 64-8/4 413.1.4.2). Le protezioni dovranno essere coordinate in modo tale da soddisfare la condizione prescritta dalle norme CEI 64-8/4 al punto 413.1.4.2.

$$R_a \times I_a = < 50V$$

ove:

R_a = somma delle resistenze del dispersore e dei conduttori di protezione delle masse, in ohm

I_a = corrente che provoca il funzionamento automatico del dispositivo di protezione (corrente nominale differenziale se la protezione è con dispositivo differenziale).

Impianto di messa a terra ed equipotenzialità.

L'impianto di messa terra è già esistente. Le sezioni dei conduttori di terra degli impianti a farsi devono seguire la seguente tabella come da (CEI 64-8/5 art. 543.1.2).

<i>SEZIONE DEI CONDUTTORI DI FASE</i>	<i>SEZIONE MINIMA DEI CONDUTTORI DI</i>
<i>SF (mm²)</i>	<i>PROTEZIONE S (mm²)</i>
<i>Sf ≤ 16</i>	<i>S = Sf</i>
<i>16 ≤ Sf ≤ 35</i>	<i>S = 16</i>
<i>1Sf > 35</i>	<i>S = Sf/2</i>

Tabella 6 – Sezioni dei conduttori di terra secondo CEI 64-8/5 art. 543.1.2

Verifiche e certificazioni.

Al termine delle opere di installazione l'installatore deve provvedere alle verifiche previste dalle norme CEI 64-8/6, CEI 64-4 e del DM37/08.

In particolare dovrà effettuare:

- esame a vista per accertare che le condizioni di realizzazione dell'impianto siano corrette;
- prova della continuità dei conduttori di protezione, dei conduttori equipotenziali principali e secondari e del conduttore di terra;
- prova della resistenza di isolamento dell'impianto;
- prova della protezione mediante interruzione automatica dell'alimentazione. Deve essere effettuata la prova di funzionamento dei dispositivi differenziali;
- Misura della resistenza di terra dell'impianto.

7.5 PRESCRIZIONI ACUSTICHE

Particolare importanza si dovrà porre al livello sonoro, a questo proposito facciamo alcune precisazioni. Per il livello sonoro trova applicazione il dettato del D.P.C.M del 14 novembre 1997 "Determinazione dei valori limiti delle sorgenti sonore", art. 2, in quanto gli impianti costituiscono per le proprietà adiacenti delle sorgenti sonore individuali che emettono rumore che si immette nell'ambiente esterno; le emissioni vanno quindi commisurate alla tabella B, assumendo come riferimento la zona IV (aree di intensa attività umana) ed il periodo diurno, quindi imponendo valori di 60 dB(A) all'interno del confine di proprietà e ad un metro dallo stesso sempre da misurare in corrispondenza di valori minimi di rumore residuo. Qualora si riscontrino livelli più elevati, essi potranno essere accettati, a condizione che rientrino nei criteri fissati dalla Norma UNI 8199 (che considera anche il rumore di fondo ad impianti spenti). In ogni caso, sia per interno che per l'esterno, è prescritta l'assenza di toni puri, come identificati nel D.M. 1673/98, punto 10 allegato 8.

Le fonti di rumore esterno saranno costituite dalla pompa di calore. Si precisa che dovrà essere rispettata la legge in vigore sull'inquinamento acustico, per cui saranno adottati tutti gli accorgimenti tecnici, al fine di rientrare nel valore di 35 dB(A). In particolare il livello di pressione sonora dei gruppi refrigeratori, a 10 metri di distanza in campo libero ed emisferico, non dovrà superare i 62 dB(A).

Nell'ipotesi in cui non si riesca a raggiungere un adeguato valore di livello sonoro, l'impresa appaltatrice sarà comunque obbligata, senza diritto ad oneri supplementari, a ricorrere all'utilizzo di idonei sistemi per ridurre i valori di rumorosità ai limiti richiesti salvaguardando le prestazioni tecniche richieste agli impianti.

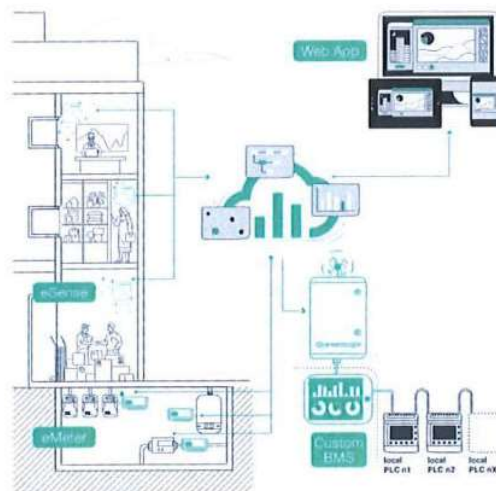
7.6 INSTALLAZIONE SISTEMI DI CONTROLLO BUILDING AUTOMATION

7.6.1 Regolazione del sistema impianto-edificio

Ogni macchina di generazione sarà dotata di regolazione propria tramite plc dedicato, è prevista una scheda Mod Bus per ogni macchina in modo da poter essere interfacciata con il sistema di controllo generale previsto. Nella sottocentrale termica è previsto un sistema di gestione e comando dei vari circuiti con la logica da implementare a seconda delle esigenze e dell'algoritmo di regolazione per l'intero sistema edificio-impianto.

Il sistema previsto è in grado di **ottimizzare le prestazioni dei sistemi di generazione e distribuzione HVAC** (*Heating, Ventilation and Air Conditioning*). Di seguito, una breve descrizione di come è composto il sistema nella configurazione BEMS Cloud:

1. **sensori wireless**, installati all'interno dei locali, hanno la funzione di monitorare le condizioni interne;
2. **piattaformacloud**, i sensori inviano i dati raccolti al cloud e l'algoritmo elabora i dati e stabilisce i set-point ottimali;
3. **dispositivi di azionamento**, il cloud invia quanto elaborato ai dispositivi che dirigono i componenti HVAC;
4. **supervisione locale**, i controllori locali comunicano direttamente con il cloud, assicurando la verifica in caso di mancata connettività;
5. **dispositivi di monitoraggio energetico**, al fine di dettagliare i consumi elettrici e quantificare il consumo evitato grazie al sistema Enerbrain;
6. **Web App**, applicazione software accessibile da PC o tablet; l'utente finale può visualizzare e scaricare i dati monitorati, modificare i set-point e i calendari.



I principali componenti utilizzati per questo sistema sono descritti con maggiore dettaglio successivamente.

eSense

I sensori IoT, denominati eSense, **misurano i parametri ambientali di temperatura, umidità relativa e CO₂**. I dati monitorati sono inviati al Cloud ogni 12 minuti e la connettività è fornita dalla rete Sigfox.



1. eSense pro - misura la temperatura dell'aria interna, l'umidità relativa e la concentrazione di CO₂ all'interno dell'ambiente.

Il posizionamento degli eSense standard e pro è scelto nel rispetto della rappresentatività delle condizioni ambientali degli spazi. I sensori devono essere installati ad un'altezza di 1,50m e in un luogo non esposto alla luce solare diretta o vicino a fonti di calore.

eMeter

Il dispositivo, denominato eMeter, è **utilizzato quando è necessario aggiungere nuovi multimetri muniti di trasformatori di corrente.**



Il pannello dell'eMeter consente il monitoraggio di carichi elettrici monofase e trifase. In particolare, fornisce le seguenti misure: corrente, tensione, potenza, energia, cos ϕ . I dati monitorati sono accessibili in tempo reale.

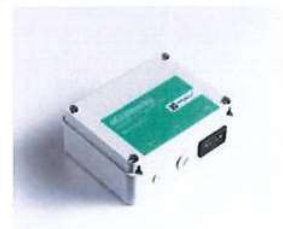
plc locale

Il plc è un controllore logico programmabile che **elabora i segnali analogici e digitali provenienti dai sensori e diretti agli attuatori.** Consente di mantenere una logica di controllo in locale di backup anche nel caso di mancata connettività da cloud.

ilplc può essere dotato di uno o più moduli di espansione, con le seguenti caratteristiche: 12DI (digital input), 8UI (universal input), 6AO (analog output), 12DO (digital output), possibilità di utilizzo come Gateway da Modbus RTU/ASCII a Modbus TCP/IPModulo I/O, possibilità di comunicazione inModbus TCP/IP eBACnet IP.

eGateway

L'eGatewayModbus è un **dispositivo di rete che viene utilizzato per la comunicazione tra la supervisione locale e il cloud** ed è dotato di un modem e una scheda SIM, utilizzati per fornire connettività GSM/Wi-Fi/ETH verso il cloudEnerbrain. I dati scambiati vengono elaborati in tempo reale dall'algoritmo.



Inoltre, il dispositivo può essere utilizzato anche come hotspot per creare una rete Wi-Fi privata al fine di connettere fino a 16 dispositivi.

Il sistema, si realizzerà attraverso la **soluzione BEMS Cloud**, che prevede la costruzione di un sistema di controllo locale, la cui logica sarà ottimizzata attraverso la sovra-scrizione di determinati parametri da parte dell'Algoritmo, residente in cloud, che agisce applicando algoritmi di machine learning.

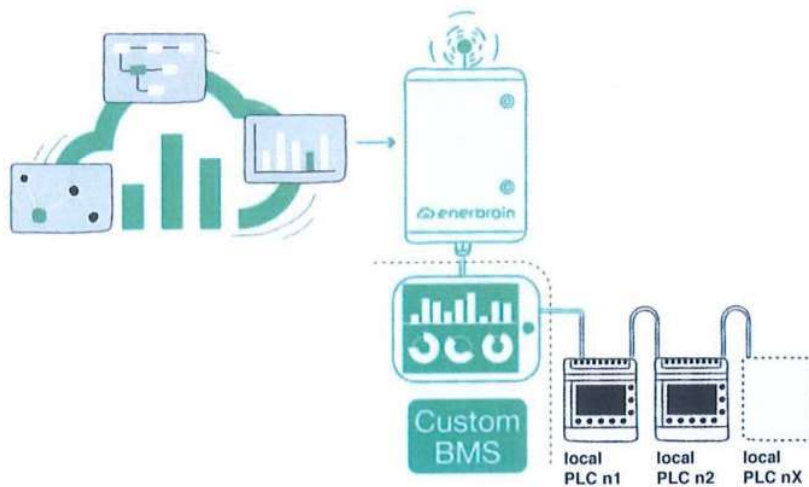


Figura 6 –Schematizzazione sistema Enerbrain in configurazione BEMS Cloud

La soluzione prevede due livelli di controllo, di seguito descritti.

1. **Controllo in locale attraverso supervisore locale.** Nel sito saranno installati nuovi sistemi di controllo in locale, i quali permetteranno il controllo degli impianti oggetto del presente studio. Tali sistemi comunicheranno direttamente con il Cloud; nel contempo è mantenuta in locale la possibilità di modificare i parametri manualmente e la gestione con calendari, set-point gestiti da PID e curva climatica. I **nuovi controllori saranno configurati** in modo da:

garantire l'integrazione e la comunicazione con il servizio in Cloud,

permettere un controllo locale e il funzionamento degli impianti in caso di mancata comunicazione con il Cloud.

2. **Controllo in cloud attraverso la Piattaforma .** L'algoritmo di controllo in cloud assicura al sistema HVAC un funzionamento dinamico e adattivo. L'algoritmo andrà ad agire su accensioni / spegnimenti degli impianti e sul controllo dei componenti dei sistemi selezionati leggendo e / o scrivendo variabili selezionate nel BMS.