

Il Teatro La Fenice di Venezia : dal progetto alla costruzione fino alla conduzione e gestione degli impianti tecnologici ed antincendio

ING. DIEGO DANIELI – *UFFICIO DIREZIONE LAVORI TEATRO LA FENICE - VENEZIA*

ING. TIMOTHY DANN – *UFFICIO TECNICO - GUERRATO SPA - ROVIGO*

ING. ALESSANDRO CHIARELLI – *UFFICIO TECNICO - GUERRATO SPA - ROVIGO*

1. Introduzione

Partecipare alla ricostruzione di un Teatro è sempre una esperienza indimenticabile per un professionista. Se poi trattasi del Teatro la Fenice di Venezia la cosa diventa ancor più affascinante.

Con il presente lavoro si vuole ripercorrere la strada fatta per la realizzazione degli impianti tecnologici nella ricostruzione della Fenice.

In particolare si vuole evidenziare l'importanza del coordinamento tra le varie discipline, tra direzione dei lavori ed imprese in un opera dove alle esigenze architettoniche e di scena, si sono dovuti adattare anche gli impianti tecnologici per garantire al pubblico ed operatori il massimo comfort.

A distanza di tre anni si è voluto anche valutare come gli impianti, attraverso una corretta gestione, rispondano alle esigenze di un moderno teatro italiano.

2. Il Progetto

Parlare della realizzazione degli impianti tecnologici del Teatro La Fenice di Venezia, vuol dire ripensare un percorso, fatto spesso in salita, che tutti gli addetti del settore hanno contribuito a realizzare.

Gli autori del presente lavoro sono solo *alcuni* dei tecnici che hanno contribuito alla realizzazione dell'opera. Nell'articolo si descriveranno solo gli impianti meccanici, tralasciando quelli elettrici e speciali e quelli di scena che comportano essi stessi un capitolo a parte nella storia della ricostruzione.

Fin dal giorno dopo del tragico incendio nel gennaio 1996, l'imperativo seguito nella ricostruzione del teatro è stato dire : “... *com' era e dov'era*...”. Sicuramente un obiettivo raggiunto!

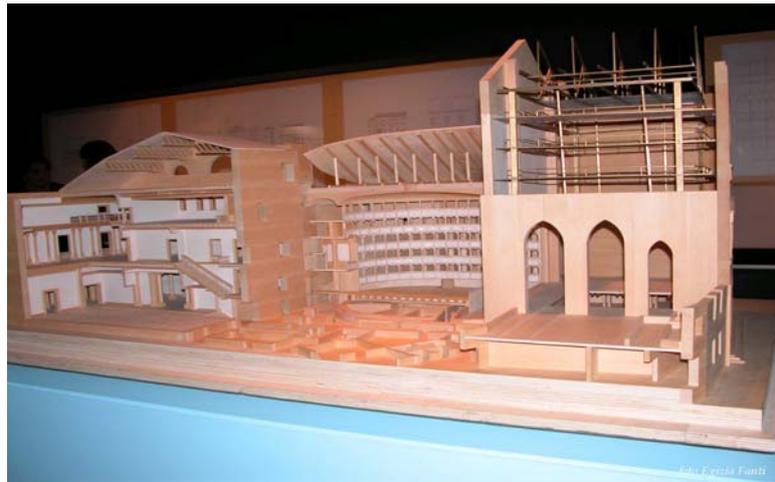


Fig.1 il Teatro il giorno dopo l'incendio. Modello di ricostruzione del Teatro la Fenice

L'aver però realizzato un'opera che dall'aspetto sembra il teatro di una *volta*, mentre per quanto riguarda le tecnologie sicuramente si presenta come un teatro all'avanguardia a livello mondiale, ha reso l'impegno assai impegnativo.

Va da se quindi che l'aspetto impiantistico è stato decisivo e determinante nelle varie scelte per tutta la durata dei lavori.

Tralascieremo tutti gli aspetti del dopo incendio e dell'inizio dei lavori, dei "*concorsi e ricorsi*" avvenuti nei vari anni. Soffermeremo l'attenzione invece solo su quello che è stato l'ultimo periodo determinante per l'esecuzione dell'opera.

Opera iniziata proprio con la aggiudicazione dell'appalto ad un gruppo di imprese facenti capo alla Sacaim Spa di Venezia, che hanno vinto una gara su appalto di tipo integrato (uno dei primi in Italia come richiamato all'articolo 140 del DPR 554/99).

In breve questo vuol dire che le imprese raggruppate in associazione temporanea (*ATI*), hanno vinto una gara sulla base di un progetto definitivo, con l'onere successivo di realizzare non solo il lavoro ma anche il progetto esecutivo.

Tale progetto esecutivo di cui poi la realizzazione è stato controllato e gestito ad *Hoc* da parte del Commissario delegato alla Ricostruzione del Teatro nella persona del Sindaco di Venezia il Prof.^{re} Paolo Costa.

Essenzialmente il progetto esecutivo realizzato dalle Imprese è stato gestito e coordinato passo dopo passo dall'Ufficio della Direzione dei Lavori del Teatro La Fenice, insediato già in fase di assegnazione della gara e che ha avuto il compito di coordinare e validare l'esecutività del progetto stesso. Il Progetto definitivo a quel punto diventava una sorta di specifica tecnica e funzionale e quindi linea guida da far seguire ai progettisti e da far realizzare poi alle imprese.

L'ufficio della direzione lavori, composto secondo quanto stabilito dalla legge sui lavori pubblici e formato da un *team* di dodici professionisti, ognuno con il proprio ruolo, e coordinato dal Direttore dei Lavori (ing. Gianni Cagnin) ha da subito svolto un ruolo importante nella scelta delle soluzioni esecutive che i professionisti avevano individuato nel progetto definitivo.

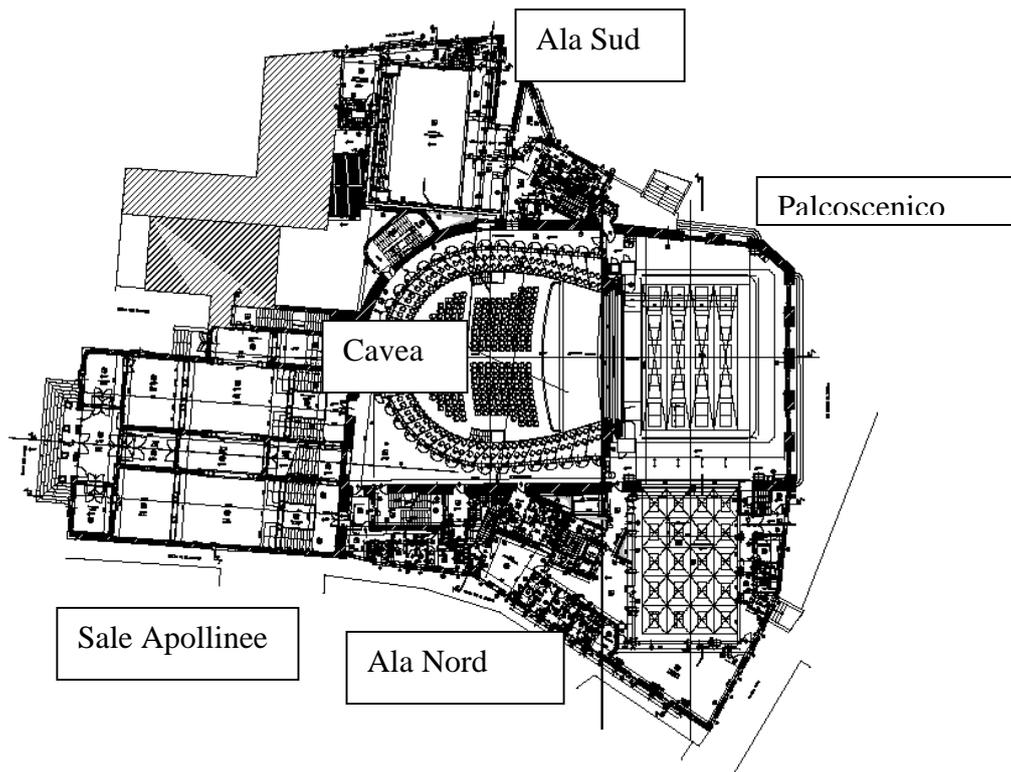


Fig. 2 .Pianta generale del Teatro con l'individuazione delle cinque aree principali.

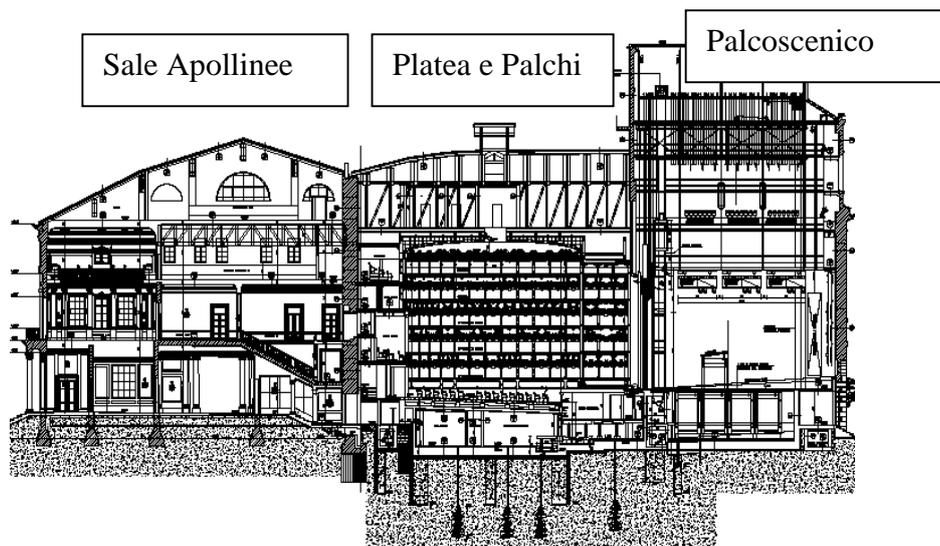


Fig. 3 . Sezione generale del Teatro con l'individuazione di alcune aree principali.

2. Il Progetto esecutivo degli impianti tecnologici in Teatro

Lungi dall'essere esaustivi e completi nell'esposizione, dopo una sommaria spiegazione della filosofia impiantistica realizzata, approfondiremo in modo più dettagliato alcuni aspetti che hanno influenzato il corso dei lavori.

L'impianto di climatizzazione del Teatro La Fenice è un impianto misto ad aria e ad acqua progettato pensando ad una buona flessibilità, cioè in grado di soddisfare su tutto l'anno e su tutta la sua superficie carichi termici contemporanei anche di segno opposto.

La filosofia impiantistica seguita consta principalmente di una centrale termofrigorifera posta in copertura del complesso in ala nord (fig. 2). La CTF è formata principalmente da una centrale termica della potenzialità totale di 2670 kWt suddivisa su tre generatori, ad alto rendimento a tre giri di fumo con bruciatori ad aria soffiata, in grado di soddisfare il totale fabbisogno termico e di produzione di acqua calda sanitaria del teatro mantenendo sempre un gruppo di riserva.

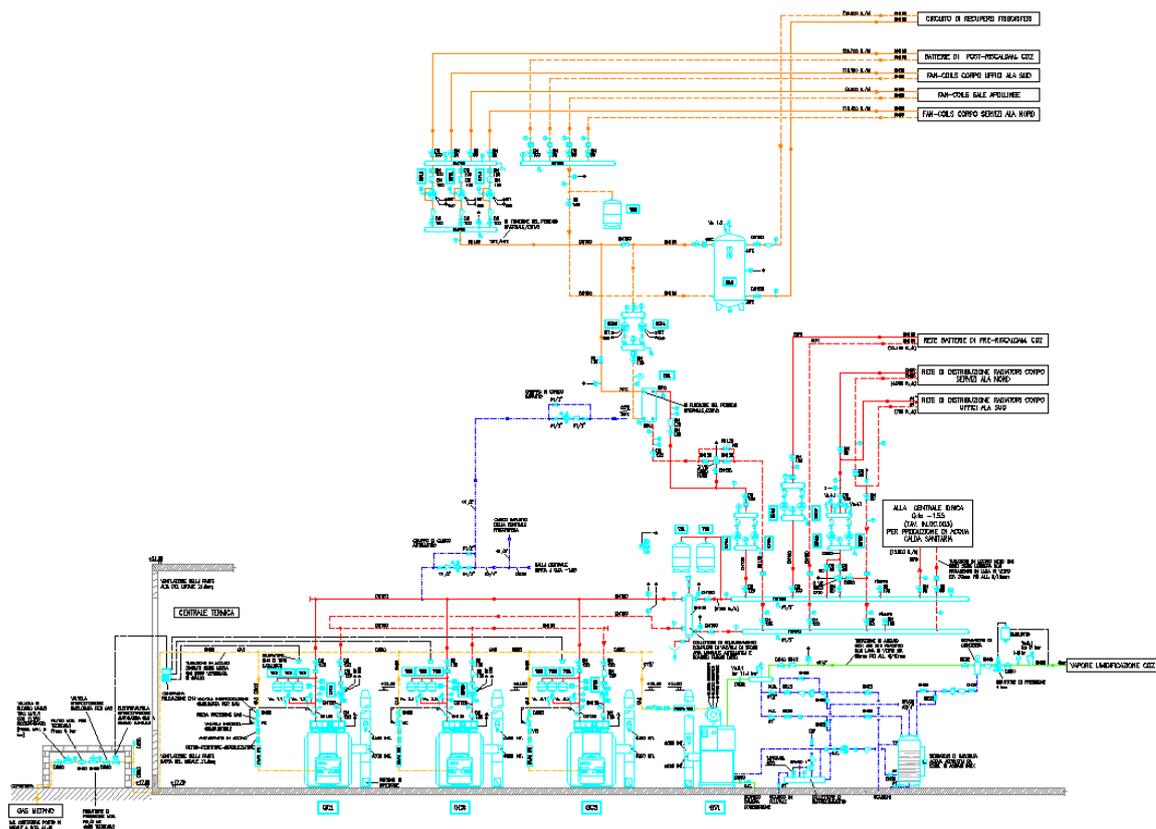


fig. 3- schema della Centrale Termica

La produzione dell'acqua refrigerata è demandata a due gruppi refrigeratori d'acqua costruiti su misura con condensazione ad aria del tipo supersilenziato della potenzialità totale di 1680 kWf alle condizioni nominali standard. Ciascuno gruppo è equipaggiato con 6 compressori a vite, suddivisi su 3 circuiti indipendenti con fluido frigorigeno R407c e scambiatori interni a piastre, completi di

recupero parziale del calore di condensazione, ed in grado di gestire in totale fino a 24 gradini di parzializzazione, la sezione ventilante di condensazione è composta da 18 ventilatori assiali controllati con inverter per ciascuna macchina. Le dimensioni delle macchine sono di 8500x2260x2500 mm mentre il livello di pressione sonora dichiarato, e poi misurato e verificato ad un metro lato batteria è di 66 dB(A).

Il recupero è in grado di soddisfare nel regime estivo il postriscaldamento delle UTA e in parte alla produzione di acqua calda sanitaria, preriscaldando la stessa prima dell'apporto termico dei generatori di calore. Tali gruppi refrigeratori sono posti in copertura sopra la centrale termica in ala nord.

Adiacente alla centrale termofrigo trova posto sempre in copertura dell'ala nord la sottocentrale di pompaggio dei fluidi termovettori freddi e caldi alle varie utenze.

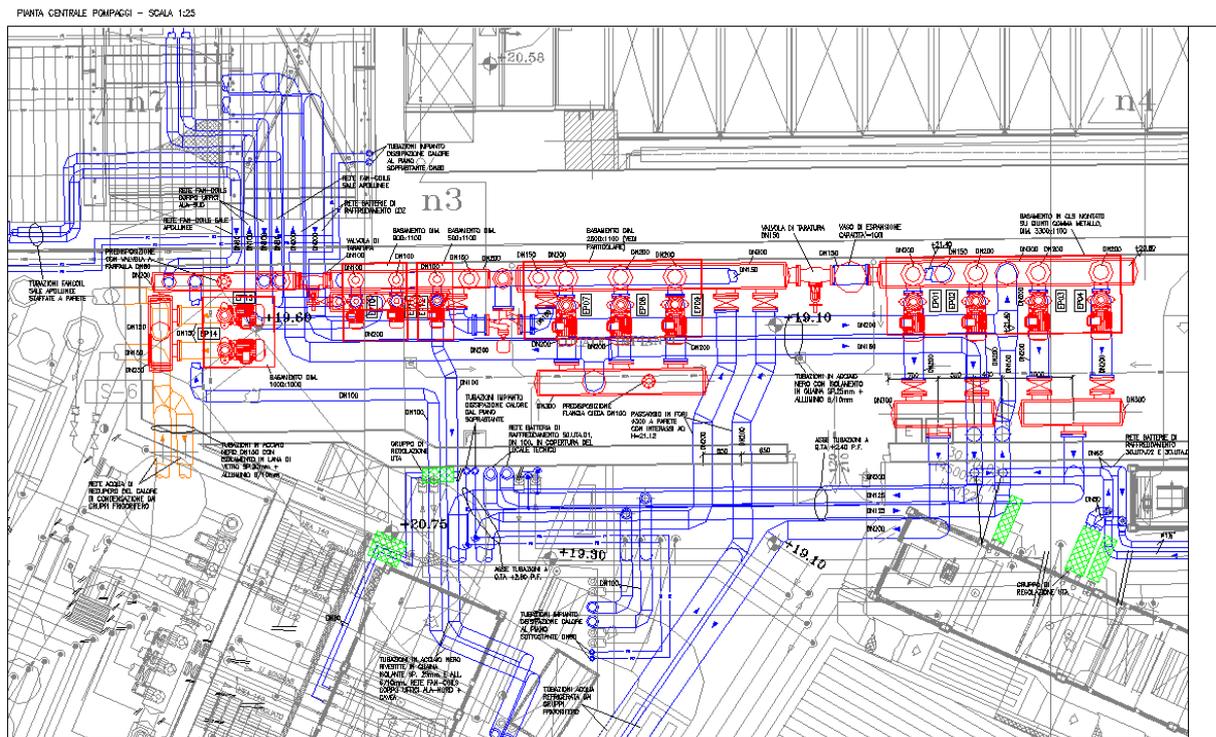


fig.4- Particolare della pianta della sottocentrale di pompaggio in copertura dell'ala nord.

Per quanto riguarda la distribuzione degli impianti, considerando che il complesso del Teatro La Fenice presenta oltre al corpo teatrale e palcoscenico, anche una parte dedicata ad zona uffici, camerini e spogliatoi, e non ultimo la parte più storica delle Sale Apollinee, usata a completamento per altri usi pubblici, si sono pensati sostanzialmente due tipologie di impianto: una di tipo a tutta aria e una di tipo ad aria primaria con ventilconvettori a quattro tubi.

Come linea guida si è deciso quindi di condizionare tutto il complesso Teatrale sopra descritto, per mantenere tutto l'anno ottime condizioni di comfort ed in grado di garantire un'alta flessibilità per le varie esigenze del Teatro.

Le necessità di sfruttare razionalmente lo spazio disponibile nel cunicolo interrato della cavea, il bisogno di avere buone necessità manutentive, hanno determinato l'esigenza di realizzare, le linee contenute nel cunicolo stesso, con componenti e materiali diversi da quelli previsti in progetto di gara.

Si sono così utilizzati, per le linee in tubo, materiali costituiti da acciaio inox e si sono impiegati elementi di giunzione di tipo rapido, a tenuta, e di facile installabilità e manutenzione. L'impiego dei giunti tipo *Victaulic*, usati sulle linee in corrispondenza dell'accesso delle apposite botole di ispezione, consente, in caso di necessità, di disconnettere la linea interessata, di sfilarla, e di sostituirla con analogo tratto di tubazione integro, ripristinando la connessione, e la continuità della linea stessa.

Perciò tutte le linee dei fluidi termovettori e di alimentazione sono posate in cavedi ad uso montanti e in un cunicolo principale totalmente ispezionabile posto a piano terra sotto il piano di campagna attorno alla sala teatrale (con una altezza totale maggiore di due metri). In questo contesto le linee posate in cunicolo sono state realizzate in acciaio inox del tipo ASTM 316L a protezione delle eventuali infiltrazioni di acqua marina, essendo lo stesso cunicolo realizzato sotto il livello medio della laguna veneziana.

Tutta la parte teatrale principale, platea e ordini palchi compreso il palcoscenico, viene climatizzata con delle centrali di trattamento a tutta aria con possibilità di far lavorare le stesse macchine con parziale ricircolo dell'aria ambiente e con possibilità di sfruttare il freecooling.

La possibilità di poter realizzare un parziale ricircolo dell'aria ambiente in sala e nelle zone palchi, permette di arrivare in modo più rapido a regime prima che il teatro stesso sia riempito dal pubblico; viceversa la possibilità di poter sfruttare il freecooling almeno nelle mezze stagioni comporta un risparmio energetico nella spesa complessiva di funzionamento dei gruppi frigoriferi.

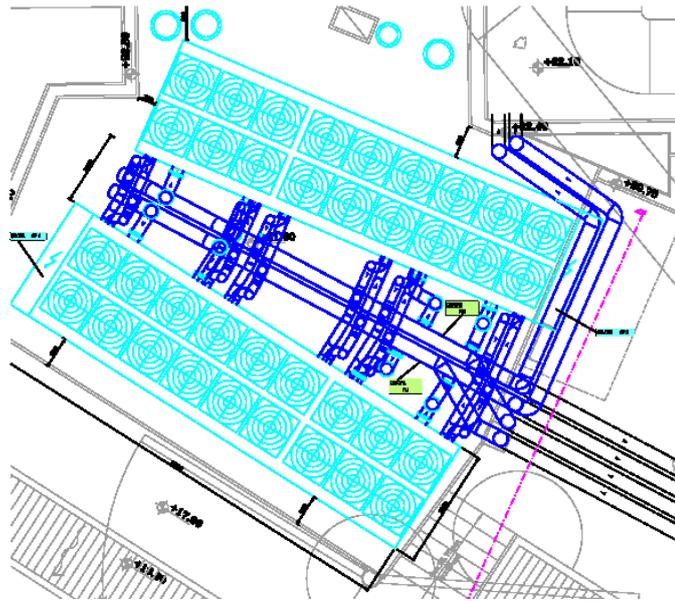


fig.5 – Particolare della pianta dei gruppi refrigeratori posti in copertura dell'ala nord

Le CTA garantiscono sempre la quota parte necessaria di aria esterna di rinnovo per il pubblico, fino ad un massimo di 30 m³/h per persona.

Tutto l'impianto di climatizzazione è supervisionato con un sistema di controllo puntuale delle temperature e delle umidità di tutti gli ambienti.

Il maggior numero delle unità di trattamento aria trova posto nel soffittone sopra la cavea, dove è inserito anche l'estrattore di ripresa dell'aria collegato con le CTA della Platea, palchi e golfo mistico che tratta tutta l'aria di ripresa (circa 38000 m³/h). Particolare accorgimenti sono stati presi per l'insonorizzazione delle macchine usando oltre ai classici silenziatori in linea nelle canalizzazioni anche tecnologie di isolamento acustico particolari come gli antivibranti dove appoggiano le macchine.

Nel soffittone della cavea dove ci sono il maggior numero di CTA, l'ambiente è protetto da un sistema di spegnimento ad acqua nebulizzata, che sostituisce quello di progetto ad sprinklers. Tale soluzione spegnendo l'eventuale focolaio per saturazione bisogna di pochissima acqua, garantendo anche se funzionasse l'intera area decorata della sala teatrale. Tutta la soletta del soffitto è stata poi dotata di una rete di scarico a forine per lo smaltimento dell'acqua..

Per la climatizzazione delle Sale Apollinee, l'area storica del Teatro, si è realizzato un sistema ad aria con l'apporto anche di fancoils a quattro tubi che permette di soddisfare in qualunque periodo dell'anno qualsiasi carico termico. Anche qui le CTA garantiranno i dovuti ricambi d'aria previsti dalla normativa vigente, in più per le macchine della Sala Grande e Sala Esposizione si è adottato un sistema a portata d'aria variabile ad inverter in grado di adattare la reale esigenza delle sale rispetto al pubblico realmente presente.

Inoltre essendo il complesso delle Sale Apollinee un assieme di più sale in cui l'affluenza del pubblico può variare in modo anche repentino, le CTA sono in grado nelle stagioni intermedie di sfruttare il freecooling, ossia il sistema di regolazione controlla puntualmente le temperature e l'umidità ambiente dando il consenso quando le condizioni dell'aria esterna sono energeticamente convenienti di sfruttare gratuitamente il carico termico della stessa aria esterna immettendola direttamente in ambiente senza dover usare fluidi termovettori freddi e caldi, e quindi risparmiando energia primaria delle macchine.

Analoga filosofia è stata adottata per la CTA del palcoscenico la quale, anche se per motivi diversi dalle Sale Apollinee, dovrà adeguarsi ai carichi reali richiesti dalla tipologia della scena in atto.

Gli impianti ad aria come detto sono abbinati con fancoils a quattro tubi con batteria di raffreddamento e riscaldamento che tramite il sistema di regolazione con valvole a quattro vie saranno in grado di soddisfare i carichi endogeni e strutturali di tipo sensibile delle zone dove sono applicati, lasciando alla CTA il compito di garantire il rinnovo dell'aria e di controllare i carichi latenti dovuti sostanzialmente alla presenza delle persone.

Il progetto definitivo prevedeva un sistema di umidificazione nelle centrali di trattamento di tipo tradizionale ad acqua, a temperatura ambiente e regolata automaticamente da sensori di umidità e atomizzata nelle apposite sezioni di umidificazione.

Il sistema presentava però alcuni punti deboli, legati essenzialmente alla affidabilità nel tempo di tipo igienico sanitario; ovvero la concreta possibilità di degrado delle vaschette di raccolta delle unità di trattamento aria con la formazione di bacilli e virus in acqua stagnante, la possibilità di formazione di luoghi di coltura in adiacenza e/o in aderenza alle superfici delle sezioni di separazione delle gocce, e possibilità di formazione di luoghi di colture e trasporto dei batteri e dei virus, in corrispondenza delle superfici bagnate dell'impianto idrico sanitario di adduzione dell'acqua di umidificazione alle corrispondenti batterie, e non ultimo la possibilità di diffondere il virus della Legionella .

A fronte di tutto ciò si è pensato di dotare tutte le CTA di una sezione di umidificazione a vapore, costituita da una o più rampe di ricezione con un sistema di diffusione del medesimo nel flusso dell'aria di attraversamento.

L'acqua trattata e addolcita, viene inviata ad un generatore autonomo di vapore, installato in centrale termica, e inviato alle CTA mediante una rete in tubo di acciaio inox, completa di tutti gli accorgimenti necessari al trasporto di detto fluido, sia in termini di controllo della rumorosità conseguente alla velocità, che relativamente alla eventuale possibile formazione di condense di rete.

Gli impianti di riscaldamento sono poi integrati da una linea a radiatori per le zone comuni di servizio quali i vani scala e tutto il corpo bagni.

La centrale di pressurizzazione dell'acqua sanitaria e quella di produzione dell'acqua calda ad uso sanitario si trova negli interrati dell'ala nord. Il sistema, opportunamente addolcito per circuito, viene mantenuto in pressione da un gruppo di pompaggio del tipo a portata variabile molto silenzioso, la produzione di acqua calda sanitaria con due bollitori da 1500 lt soddisfa l'intero carico idrico sanitario del teatro.

A completamento degli impianti, particolare attenzione è stata posta al sistema di depurazione e trattamento delle acque nere di scarico. In particolare l'impianto di depurazione è un impianto di trattamento attivo di tipo aerobico con sistema di filtrazione a membrane ad elevata tecnologia del tipo MBR; tale impianto trova posto come stazione di trattamento e di raccolta nella zona interrata dell'ala nord.

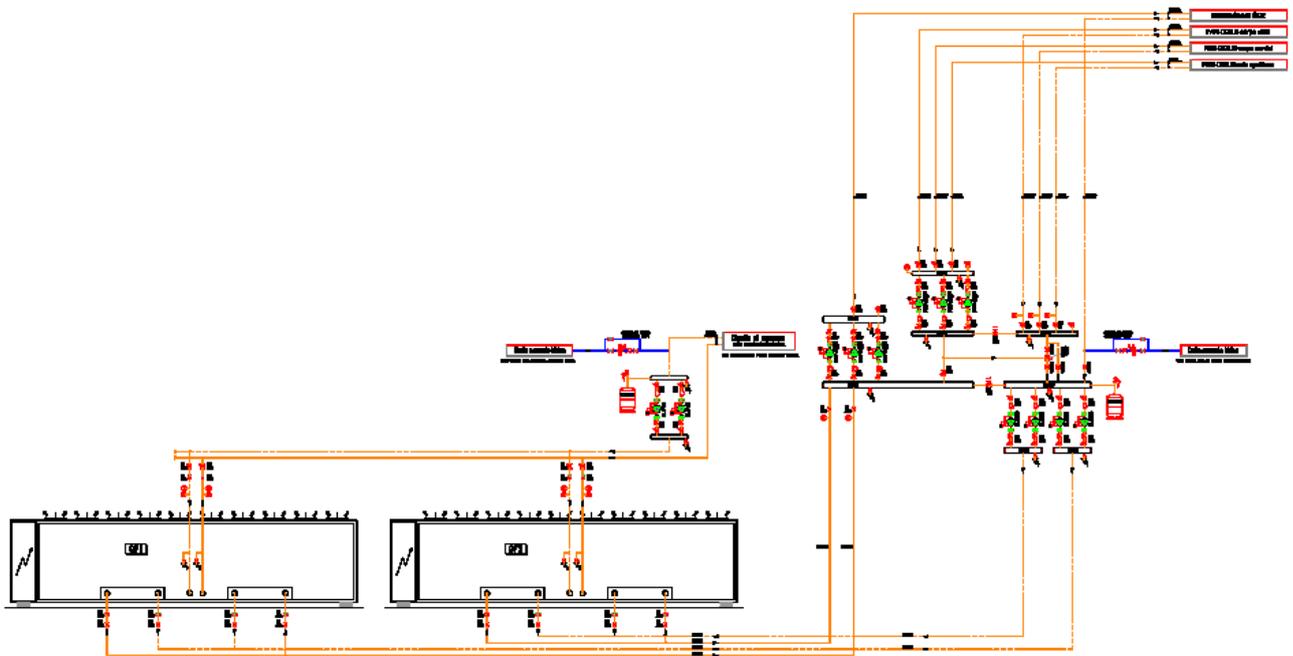


Fig. 6 – Schema della centrale frigorifera (INSERIRE UN PDF VOSTRO Più DEFINITO)

Dalla parte opposta del teatro invece, nell'ala sud, si trova la centrale antincendio. La nuova Sala Rossi si trova proprio vicino alla centrale antincendio, e sotto il suo pavimento è stata realizzata la vasca di riserva idrica per un totale di 250 m³ di acqua stoccata.

L'intera superficie del complesso teatrale è protetta da un impianto antincendio ad idranti, e da un impianto a sprinkler.

L'impianto a pioggia che copre tutto il teatro, ad eccezione degli uffici, è composto, da una parte di linee di alimentazioni ad umido e da una parte a secco. Quest'ultima è a copertura delle

zone più pregiate del teatro quali le Sale Apollinee e il corpo teatrale Platea e palchi in genere. Il sipario tagliafuoco è protetto da un impianto antincendio a diluvio ad attivazione manuale.

Inoltre come già detto, la zona del soffittone sopra la platea dove si trovano le CTA e il locale CTA delle Sale Apollinee sono protetti con impianto di spegnimento automatico ad acqua nebulizzata. Questa scelta è stata dettata come detto dal fatto che un impianto di questo tipo, che agisce per saturazione dell'aria ambiente funziona con un bassissimo contenuto d'acqua, e tenendo presente il valore delle sale che si trovano sotto i locali descritti, un'eventuale funzionamento dell'impianto userebbe poca acqua ottenendo lo stesso effetto di un impianto a pioggia tradizionale tipo sprinkler.

Le pompe antincendio, sono state progettate con un gruppo a servizio degli idranti ed un gruppo a servizio degli sprinkler. Le due stazioni di pompaggio sono alimentate con doppia linea elettrica, una di rete e l'altra in commutazione con il gruppo elettrogeno. E' prevista anche la possibilità di pescare direttamente acqua di mare attraverso delle pompe speciali con girante in acciaio inox che si allacciano al circuito principale ad idranti. Questa possibilità per sicurezza può essere eseguita solo con una operazione manuale.

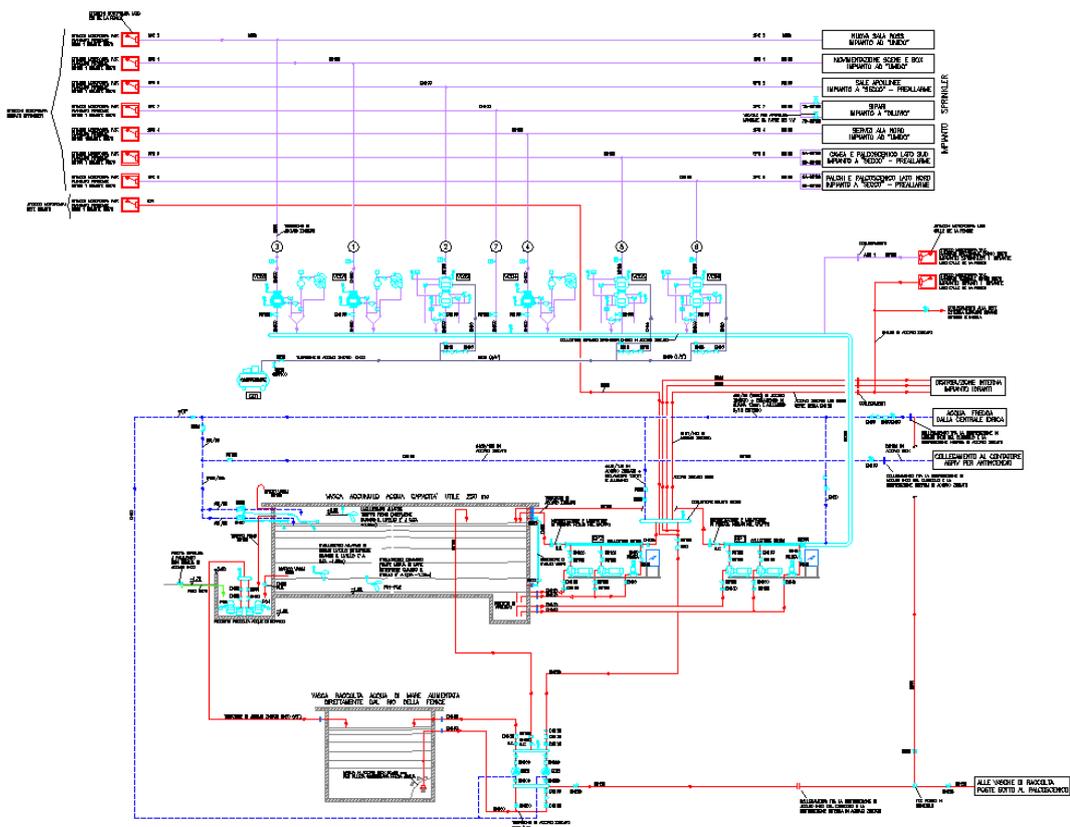


fig.7- schema della centrale idrica antincendio posta al pino terra dell'ala sud.

3. Il Coordinamento ed il Cantiere

Come già accennato varie sono state le problematiche considerate ed intervenute nella realizzazione del Teatro. Tra tutte giova ricordare il valore storico-culturale dell'edificio, la realtà del tessuto urbano di Venezia, le complessità strutturali ed architettoniche che un progetto si fatto comportano, la complessità e l'alto livello prestazionale degli impianti tecnologici progettati nonché la non sempre facile coesione e integrazione fra le esigenze architettoniche, strutturali ed impiantistiche. E non ultimo, spina nei fianchi per tutti gli operatori, i tempi di realizzazione ridottissimi, poco più di un anno solare.

Dal punto di vista impiantistico si è cercato di individuare quali potevano essere le diverse esigenze degli spazi del Teatro adottando soluzioni mirate, di ridotto impatto visivo, di massima integrazione con le caratteristiche architettonico-decorative del complesso, e al contempo usare macchine ed impianti ad elevato livello tecnologico.

L'inserimento delle macchine, delle apparecchiature e degli impianti ad esse collegate nel complesso architettonico del teatro hanno non poco influito sulle problematiche di esecuzione delle lavorazioni.

Fin dall'inizio dei lavori di realizzazione dell'opera, ci si è resi conto della necessità di un enorme sforzo di *coordinamento* fra le diverse disciplina e quindi tra le varie figure professionali messe in campo dalle imprese e dalla direzione dei lavori.

Il primo aspetto preso in considerazione, senza dubbio, è stato quello Architettonico. La scelta di ricostruire il teatro "*Com'era e dove era*" se da un lato ha dato un punto di riferimento costante su cosa si sarebbe realizzato, dall'altro ha condizionato non poco le scelte di tutte le lavorazioni.

Si pensi infatti ad un Teatro ricostruito rifacendosi ai parametri della dell'ottocento, cercando di mantenere le stesse caratteristiche acustiche, note in tutto il mondo, ed inserendo impianti tecnologici moderni.

Non bisogna dimenticare inoltre che nella zona delle Sale Apollinee si sono conservate alcune strutture ed opere sopravvissute al rogo del '96. Questo, se da un lato ha permesso un restauro delle stesse, da l'altro ha rappresentato un ostacolo per la difficoltà di integrazione del "vecchio" con il "nuovo".

Enorme è stato lo sforzo di tutti per coordinare le lavorazioni. Le Imprese e la stessa Direzione dei Lavori sono state ubicate con gli uffici tecnici in loco vicino al Teatro dove lo svolgimento in tempo reale delle numerose riunioni fra progettisti, tecnici e capocantiere ha sicuramente dato una accelerazione allo svolgimento dell'opera.

Le riunioni fra i tecnici inizialmente con cadenza bi-settimanale, è arrivata in breve a cadenza giornaliera. Ogni decisione presa è stata verbalizzata e controfirmata come impegno imperativo

dalle parti. Le soluzioni adottate venivano presentate e coordinate congiuntamente alla Direzione Lavori, che in caso di approvazione, autorizzava i lavori.

Queste costanti attività di coordinamento sono state, senza non poche difficoltà, gestite dall'Ufficio della Direzione Lavori che senza intralciare le attività di cantiere dell'ATI, proponeva e approvava soluzioni tecniche in tempo reale. Il tutto poi espresso e riassunto con la validazione delle schede materiali che la stessa ATI sottoponeva alla Direzione Lavori per l'approvazione.

Figura fondamentale per le scelte tecnico-acustiche è stata senza dubbio quella dell'Ing. Reinhold della società Muller-BBM, consulente acustico dell'ATI. Ogni macchina o apparecchiatura che presentasse un qualche impatto acustico sulla realizzazione, prima di essere presentata all'approvazione della DL, veniva verificata, discussa e controfirmata dallo stesso tecnico, pena la bocciatura da parte della DL del materiale proposto.

Questo metodo di coordinamento, all'inizio sembrato forse un po' macchinoso, è risultato invece molto efficiente, grazie alla collaborazione delle parti, e anche se molti sono stati gli scontri tra tecnici della DL ed imprese, ha portato ad un risultato finale di elevata caratura. Giusto per capire, l'ufficio della Direzione Lavori ha approvato per i soli impianti circa 1000 schede di prodotto.

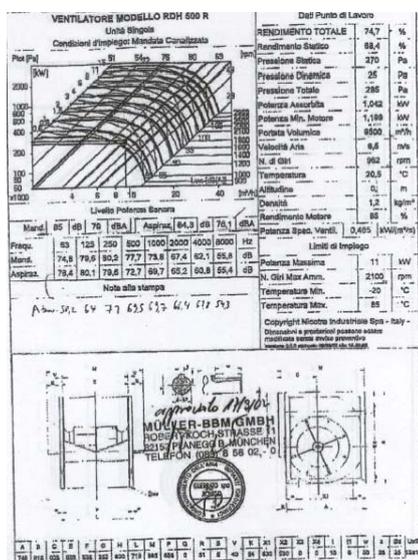


Fig. 8 – particolare della scheda di approvazione di un ventilatore CTA approvata da Muller BBM prima della approvazione della DL.

Il risultato principale di questo coordinamento e cooperazione è stata poi la realizzazione di disegni costruttivi di cantiere coordinati tra le varie discipline. In particolar modo negli elaborati

grafici impiantistici veniva sempre richiesto ed evidenziato lo spazio per il passaggio degli altri impianti quali gli elettrici o quelli speciali di spettacolo.

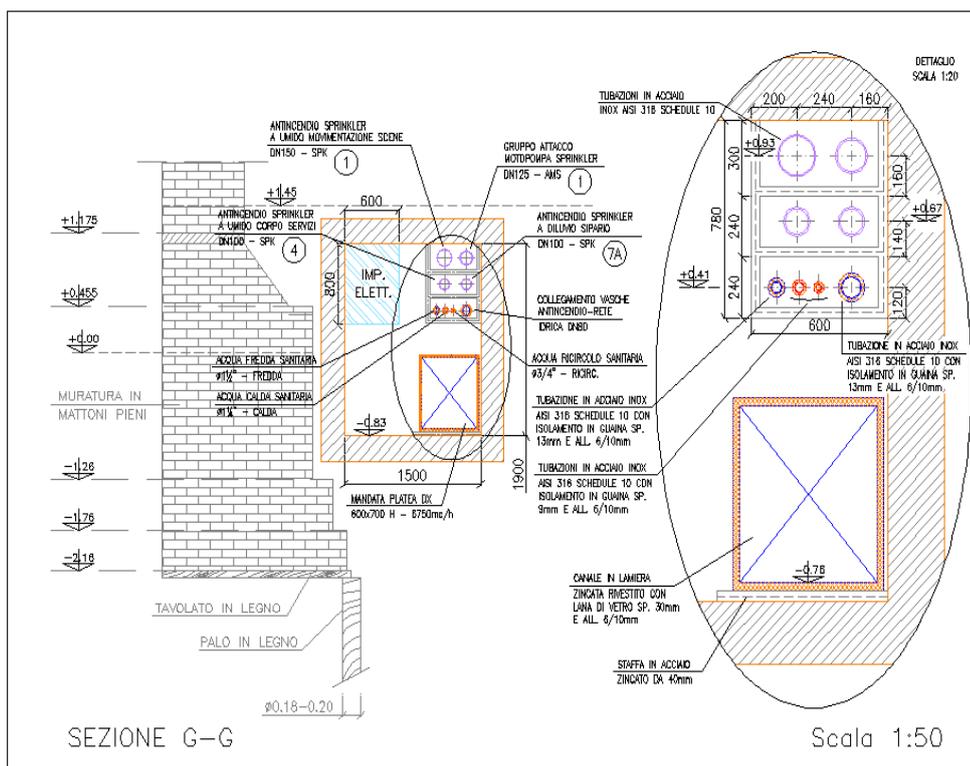


fig. 9 – Sezione costruttiva del passaggio degli impianti meccanici ed elettrici-speciali dentro al “Cunicolo”.

La complessità dell’opera, legata ai tempi assai ristretti per l’esecuzione, ha avuto nei periodi cruciali all’interno del Teatro 300 operatori, mentre altrettante attività e manodopera veniva utilizzata in cantieri esterni dove si preparavano le basi per le lavorazioni da eseguire localmente. Tutte le macchine più importanti sono state dettagliatamente studiate, ed approvate con prove in sala collaudo, come ad esempio i gruppi frigoriferi.

Per poter lavorare in condizioni di sicurezza e poter proteggere le lavorazioni correnti da possibili incendi, è stato progettato e allestito un impianto antincendio provvisorio di cantiere, costituito da una motopompa a gasolio, da un anello antincendio collegato a montanti principali per le zone critiche con idranti UNI 45 (uno per ogni livello e per ogni montante) e una linea di ugelli sprinkler per la protezione del passaggio pedonale esterno al Teatro in Calle de La Fenice realizzato per lo più in legno, il tutto poi coordinato da un impianto di rilevazione fumi con centralina a combinatore telefonico in costante contatto con il comando dei Vigili del Fuoco. Inoltre ogni quindici giorni una squadra dei vigili del Fuoco di Venezia con funzionario effettuavano una visita in cantiere con lo solo scopo di verificare oltre lo stato di sicurezza e avanzamento lavori del cantiere anche la sua evoluzione.

L'impianto è stato poi progressivamente eliminato per far posto al nuovo impianto antincendio definitivo del Teatro.

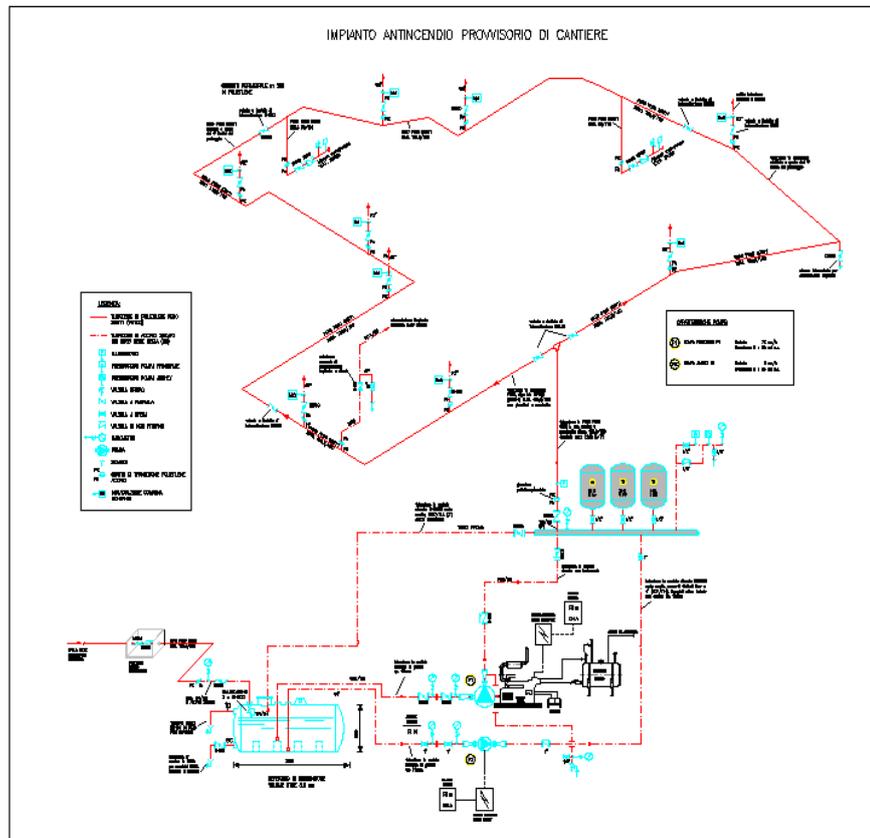


fig.10 - schema altimetrico dell'impianto antincendio provvisorio di cantiere.

4. Le Sale Apollinee

La prima zona interessata all'intervento in cantiere è stata proprio quella delle Sale Apollinee.

La struttura aveva subito dopo l'incendio gravi danni strutturali e alcune opere ivi presenti erano parzialmente compromesse. Per la parte impiantistica invece era tutto da rifare, si ricorda come prima del rogo si stava costruendo il nuovo impianto antincendio.

Gli impianti meccanici inseriti nel complesso Apollinee come già detto sono: l'impianto di climatizzazione ad aria, l'impianto di riscaldamento e raffrescamento a radiatori e Fan-coils rispettivamente, l'impianto antincendio ad idranti UNI 45 e impianto sprinkler a secco e l'impianto idrico-sanitario.

Le sale sono state divise in diverse zone di interesse con Centrali di Trattamento Aria dedicate specificatamente per il Foyers, le Sale Apollinee, le Sale Ridotto e Regia Ballo, la Sala Esposizioni, la Sala Grande.

L'impianto a fan-coil ha permesso invece di sopperire a gran parte del carico energetico e la scelta di un impianto a quattro tubi ha permesso la gestione oculata delle condizioni termoisometriche nelle mezze stagioni

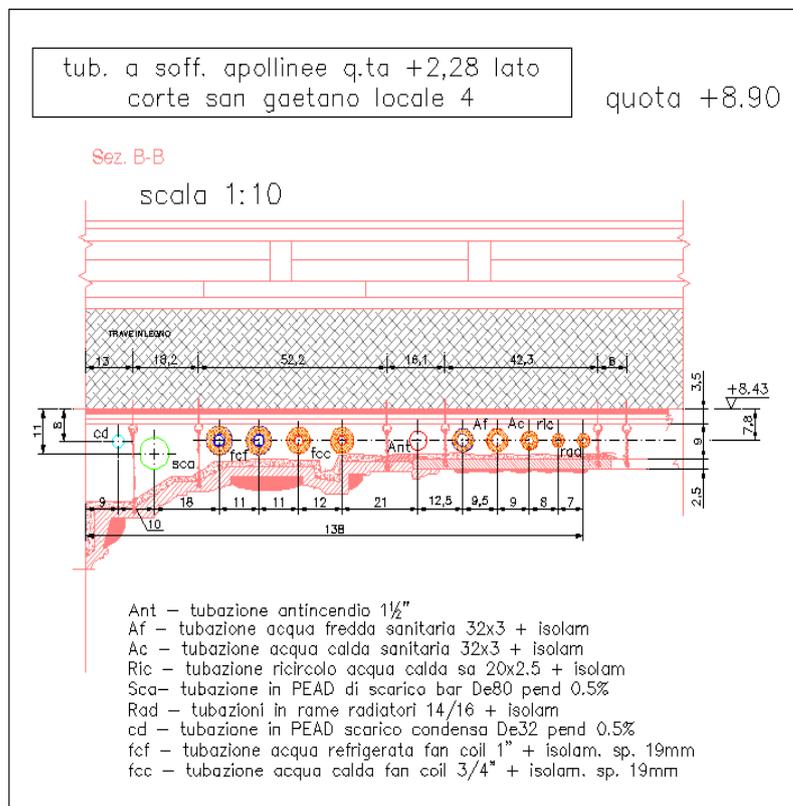


fig.11 – Particolare costruttivo del controsoffitto delle Sale Apollinee.

Nelle fig.12 e fig.13 si vedono raffigurate la Sala Grande, la più importante assieme al Foyer delle Sale Apollinee, dove la mandata dell'aria avviene sotto il ballatoio tramite bocchette lineari a feritoie poste fra le cornici di arredo, ogni diffusore lineare è stato costruito a misura per poter essere inserito nelle diverse feritoie del sotto ballatoio.

Il ballatoio perciò oltre a rappresentare un elemento ornamentale è diventato uno spazio tecnico di distribuzione degli impianti. Il controsoffitto della sala costituisce un plenum di ripresa e l'aria viene estratta dall'ambiente attraverso delle feritoie sottilissime e non percepibili ricavate nei decori del controsoffitto stesso. Gli ugelli dell'impianto sprinkler sono inseriti anch'essi fra i decori del controsoffitto. I fan-coil del tipo a quattro tubi a sola integrazione sono stati inseriti successivamente in corso d'opera e sono posizionati a quota pavimento in vista.

In questo modo l'impatto degli impianti sull'aspetto architettonico è risultato veramente ridotto.



fig.12 – Sala Grande delle Sale Apollinee

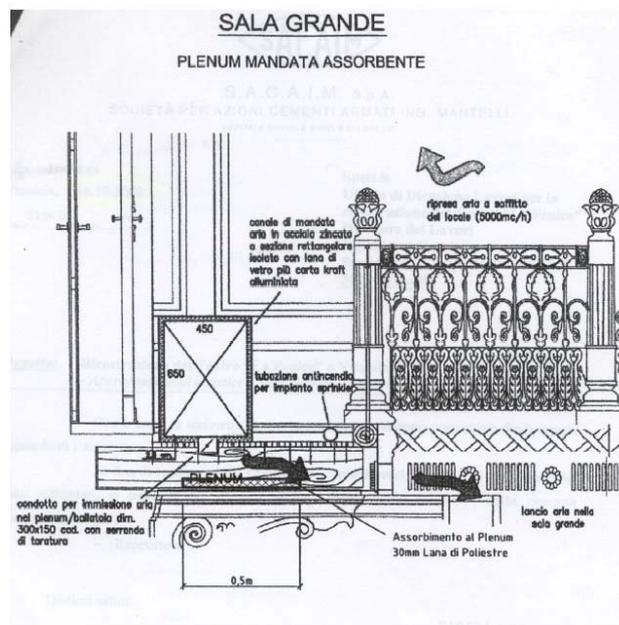


Fig.13 – Particolare costruttivo del plenum di mandata e distribuzione dell'aria dei diffusori in Sala Grande

Al piano terra, nel Foyer di ingresso, si è realizzato un cunicolo per gli impianti utilizzato non solo per la distribuzione delle tubazioni, ma anche per la mandata dell'aria. Questa infatti scorre sul perimetro delle Sale e si diffonde tramite griglie pedonabili in ottone appositamente studiate e costruite per il contesto.

Il controsoffitto della sala Foyer, come per la Sala Grande, costituisce un plenum di ripresa e l'aria viene estratta dall'ambiente attraverso delle feritoie sottilissime e non percepibili ricavate nei

decori del controsoffitto stesso. I fan-coil del tipo a quattro tubi per i soli carichi termici sensibili sono posizionati a quota pavimento in vista.



fig.14 – Bocchette di mandata poste a terra del Foyer delle Sale Apollinee.

Altro problema di non facile risoluzione è stata la distribuzione dell'aria di mandata nelle Sale Guidi, Malibran, Rubinstein ed Ammannati al piano primo, retrostanti alla Sala Grande ad uso polivalente e bar del Teatro.

Non era infatti possibile utilizzare un ballatoio per le canalizzazione e neppure un cunicolo impianti come per le sale già descritte.

L'intera struttura, per quanto poca ne fosse rimasta dopo l'incendio, risultava vincolata ai beni ambientali dalla Soprintendenza di Venezia. Si è quindi scelto di inserire nelle murature portanti dei canali strutturali che funzionassero anche per il passaggio dell'aria. La lavorazione proposta, coordinata dalla DL con non poche difficoltà è stata portata a termine come si vede in fig.15, e particolare attenzione è stata adottata nell'analizzare lo studio ed il comportamento del tratto di canale in struttura nelle varie condizioni termoigrometriche, al fine di evitare formazioni di condense.

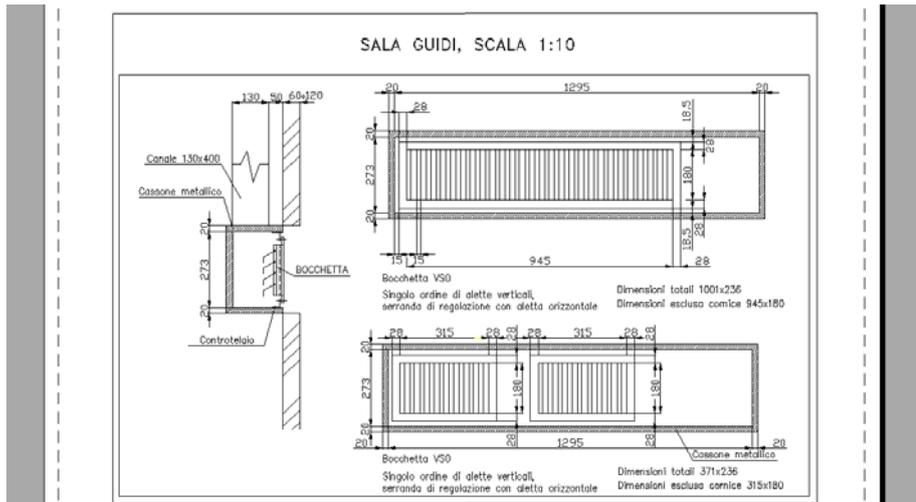


fig.15 – Bocchette di mandata poste nei canali strutturali delle Sale Apollinee



fig.16 – Il com'era e dov'era delle Sale Apollinee. La Sala Dante

Nella Sala Ridotto Regia e Ballo e nella Sala Esposizioni si è voluto permettere a l'impiantistica di integrarsi con l'estetica più moderna degli ambienti pensata dagli architetti.

Nella prima si è creata una vela in legno interamente ispezionabile dove sono stati inseriti gli impianti di climatizzazione come i diffusori lineari di mandata dell'aria trattata, gli ugelli sprinkler per l'antincendio, e tutta la linea di distribuzione dell'impianto elettrico e di illuminazione.

Nella Sala Esposizioni invece le canalizzazioni di tipo circolare dell'aria di mandata risultano in vista e corrono attraverso le travature reticolari in legno nel soffitto, l'aria viene immessa in ambiente per mezzo di ugelli orientabili. Integrate tra queste travi vi sono le linee di alimentazioni delle Centrali Trattamento Aria poste in un vano tecnico laterale alla sala. Le riprese dell'aria sono effettuate tramite dei canali e bocchette inserite nelle panche di legno poste lateralmente alle sale in cui vengono convogliate le canalizzazioni fungendo anche da spazio tecnico per il passaggio degli impianti elettrici.

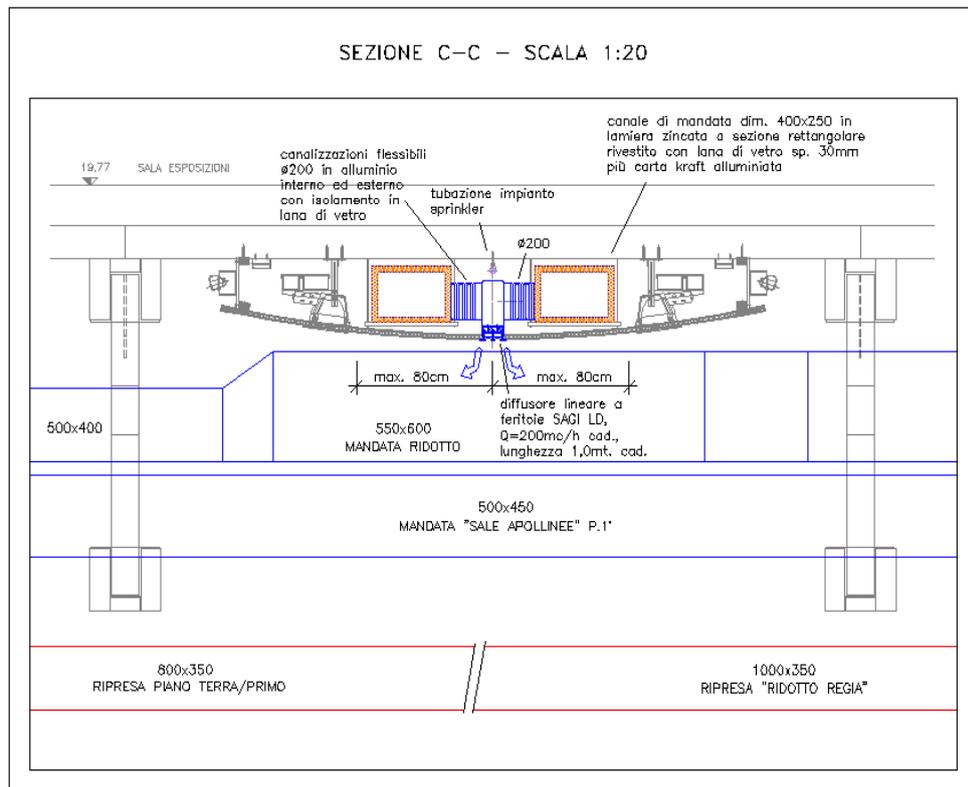


fig.17 – Particolare costruttivo della “vela” della Sala Prova Regia Ballo



fig.18 – Fasi lavorative della Sala Regia Ballo e della Sala Esposizioni

Particolare cura è stata dedicata al locale tecnico a lato della Sala Esposizioni e situato sopra alla Sala Grande. Due le problematiche principali affrontate: l’aspetto acustico e la distribuzione degli scarichi.

Per quanto riguarda il primo aspetto, si sono scelte pannellature sandwich delle CTA maggiorate per le sezioni ventilanti, del tipo con spessore 62 mm anziché lo standard di 45 mm, , migliorando le caratteristiche di fonoassorbenza.

Si sono scelti ventilatori speciali di tipo centrifugo con giranti speciali con potenza sonora ridotta; per evitare la trasmissione delle vibrazioni alla struttura, sono stati inseriti dei particolari giunti antivibranti con anima in piombo e doppio effetto elastico e si sono inseriti silenziatori sulla mandata e sulla ripresa dell'aria.

Per preservare i decori, di elevato valore artistico ed economico, in caso di perdite o occlusione degli scarichi delle condense l'intera sezione delle CTA è stata posizionata su vasche di contenimento in acciaio inox, con convogliati gli scarichi poi portati all'esterno.

Tale accorgimento è stato poi adottato per tutte le CTA installate all'interno del complesso Teatrale.

In generale poi, tutti gli scarichi condensa dei fan-coil delle Sale Apollinee sono stati protetti da un tubo sezionato a sella posto sotto.

5. Cavea - Platea- Palchi:

La zona principale di ogni Teatro è quella che interessa gli spettatori: la Platea e i Palchi. La possibilità di climatizzare in modo corretto ed in ogni condizione di carico e stagione dell'anno la Platea e i Palchi è stata oggetto di studi accurati. La scelta di impianti a tutt'aria è risultata obbligatoria già in fase di progetto definitivo, per consentire il controllo dei ricambi d'aria e gestire i carichi termici.

Nella Platea si è adottato un modello di diffusione dell'aria dal basso verso l'alto, del tipo a dislocamento mantenendo una differenza di temperatura tra mandata e ambiente di qualche grado, così da poter privilegiare la zona occupata rispetto all'intero volume dell'edificio e permettere di conseguire, rispetto ad un diverso modello di diffusione, i vantaggi tra i quali bassi livelli di rumorosità, elevata qualità dell'aria nella zona occupata dal pubblico, ridotti consumi energetici a parità di benessere ambientale, ridotto impatto visivo nel contesto architettonico e flessibilità dell'impianto ai carichi parziali, senza alterazione dei valori di benessere termico e acustico.



fig.19 – Fasi lavorative in Platea, particolari delle bocchette sottopoltrona

La diffusione dell'aria avviene in platea, sottopoltrona, con diffusori a filo pavimento per un totale di 300, uno per posto a sedere, e viene estratta dall'alto, tramite un foro di ripresa nel soffitto della cavea ben integrato nei decori dell'enorme lampadario che illumina la sala principale.

In totale la mandata dell'aria è di 12.700 m³/h con una velocità media di 1,28 m/s, mentre la portata d'aria di ripresa è di 38.000 m³/h, comprensiva delle portata dei palchi e del golfo mistico.

Il flusso convettivo verso l'alto con basse velocità di immissione e piccole differenze di temperatura fra l'aria immessa e l'ambiente ha garantito l'assenza di correnti d'aria facilmente percepibili.

Sostanzialmente la bassa velocità nei diffusori dell'aria in uscita dai diffusori ha permesso di non avere fastidiosi flussi dell'aria alle caviglie degli spettatori, soprattutto per le signore, nonché garantire una efficace rimozione degli inquinanti prodotti dalla scena e dal pubblico presente in sala e un facile controllo dei carichi delle zone occupate dalle persone, anche nel caso di forti affollamenti.

Per garantire una omogenea diffusione dell'aria è stato creato un grande plenum sottoplatea di altezza media 50 cm servito da 6 canali di mandata, che si distribuiscono attorno alla sala e transitano all'interno del *Cunicolo* già descritto in precedenza.

Il plenum così creato tra struttura portante in calcestruzzo e solaio in legno di tipo elastico, oltre a servire per la distribuzione dell'aria, crea l'effetto di cassa armonica per l'acustica del teatro.

La corretta distribuzione dell'aria è stata verificata in fase di taratura degli impianti, dove si è potuto constatare come la portata d'aria di ogni singolo diffusore poco si discosti dal valore medio di $36,3 \text{ m}^3/\text{h}$, molto prossimo a quello di progetto.

Se consideriamo inoltre la media dei settori trattati dall'immissione di aria, sei in tutto, si nota come la portata media oscilla da un valore rilevato di $35 \text{ m}^3/\text{h}$ nel settore 1 a $37,5 \text{ m}^3/\text{h}$ nel settore 6.

Tale valore è pressoché uniforme in tutti i sei settori e del tutto in linea con la portata di progetto pari a $42,33 \text{ m}^3/\text{h}$. Tale valore teorico non è stato raggiunto anche in virtù dell'errore sistematico di misura imputabile a circa il 14,5% usato dallo strumento in fase di collaudo.

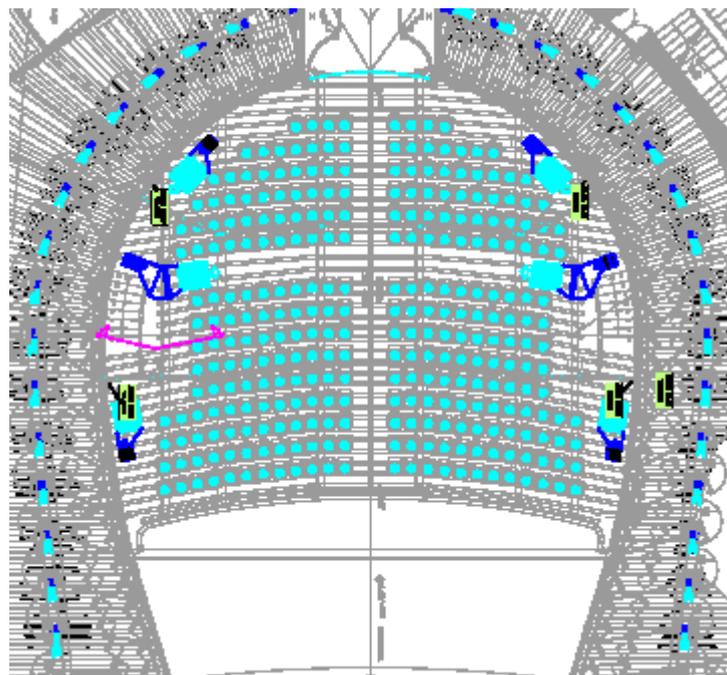


fig.20 – Particolare della distribuzione dell'aria della Platea del Teatro.

	Media velocità (m/s) / Diff.^{re}	Media portata (m³/h) / Diff.^{re}
<i>Settore n°1</i>	1,237	34,96
<i>Settore n°2</i>	1,272	35,98
<i>Settore n°3</i>	1,298	36,71
<i>Settore n°4</i>	1,278	36,14
<i>Settore n°5</i>	1,292	36,53
<i>Settore n°6</i>	1,326	37,49
<i>Medie</i>	1,284	36,30

Per quanto riguarda l'estrazione dell'aria, non poche sono state le difficoltà nella scelta da effettuare, cercando di integrare l'architettura della sala con l'aspetto impiantistico e l'aspetto acustico, data la portata in gioco di circa 38.000 m³/h. La scelta è stata indirizzata nel far transitare dalla forometria dove si trova il lampadario centrale della platea tutta la portata d'aria ripresa della macchina di estrazione principale.

Si è creato un enorme foro centrale mascherato dai decori del lampadario e comunicante direttamente al vano tecnico posto sopra alla sala. Sia i decori che il lampadario hanno poi la possibilità di poter essere movimentati in modo automatico per poter eseguire la manutenzione e se del caso di aumentare, abbassando leggermente le cornici, il passaggio dell'aria. Generalmente nel funzionamento a sala normalmente affollata, l'impianto di climatizzazione funziona con la parte decorativa come mostrato nella prima delle fig. 21 .



fig.21 – Particolare del foro del lampadario durante il funzionamento normale e in fase di costruzione e manutenzione.

La sala non è condizionata solo dalla platea. Per evitare la stratificazione delle temperature, fenomeno classico della maggior parte dei teatri, e per evitare di dover inserire l'aria in ambiente con forti salti di temperatura, si è scelto di condizionare ogni singolo palchetto ai vari piani.

Nei Palchi vengono immessi complessivamente circa 30.000 m³/h di aria provenienti da una unica unità di trattamento, ubicata nel vano tecnico denominato *Soffittone* della Cavea. L'immissione avviene, mediante due condotti principali che scendono alla quota sottostante nel controsoffitto del loggione e da qui si distribuiscono a "ragno" in calate singole per ogni palco. Si sono venute così a costituirsi numerose colonne di distribuzione che corrono all'interno della struttura portante dei palchetti. Per ogni palco vi è una immissione aria tramite una bocchetta di mandata microforata a dislocamento, collegata al montante tramite due plenum e tubazioni flessibili.

Diversa è invece la distribuzione in galleria e nel Palco reale, dove viene ripreso il concetto della distribuzione sotto plenum per mezzo di diffusori posti sottopoltrona.

Per ogni montante è stata inserita una serranda di taratura a canale attraverso cui è stato possibile gestire la portata che transita lungo il canale.

Ciascuna bocchetta è dimensionata per la portata di 147 m³/h per i primi tre ordini di palco e di 160 m³/h per i palchi presenti in Galleria e in Loggione.

Nella restante parte del Loggione invece la portata di progetto per ogni diffusore è pari a 42 m³/h e di 37 m³/h nel Palco Reale .

Uno dei problemi avuti in fase di avvio e collaudo funzionale dell'impianto descritto, è stato l'equilibratura delle portate in tutti i palchi dello stesso ordine e anche lungo lo stesso montante. Nel primo caso si è intervenuti sulla serranda di taratura del montante, chiudendone alcune parzialmente, mentre nel secondo caso, l'equilibratura del montante si è ottenuta intervenendo sulle alette delle bocchette dei primi tre ordini di palchi.

	Portata media (m³/h)/ Diff.^{re}	Velocità media (m/s) / Diff.^{re}
<i>1° ordine palchi</i>	137,84	2,43
<i>2° ordine palchi</i>	138,19	2,40
<i>3° ordine palchi</i>	119,46	2,11
<i>Galleria</i>	124,92	2,11
<i>Loggione</i>	127,97	2,21
<i>Media</i>	127,97	2,25

Per fare ciò si è dapprima eseguita una mappatura completa delle portate di tutti i palchi e poi si è intervenuto nelle zone più o meno “*favorite*” dal passaggio dell’aria per equilibrare le singole portate.

Anche in questo caso le velocità ridotte dell’aria hanno consentito di ottenere ottimi standard di confort e un rumore di fondo con impianti funzionanti decisamente trascurabile.

I valori ottenuti, perciò sono grossomodo uniformi sia lungo i montanti dei palchi che nello stesso piano dei palchetti.

Il valore medio della portata dell’aria del 1° ordine di palchi misurato in 137,84 m³/h ad esempio poco si discosta dal valore teorico di progetto di 147 m³/h, differenza determinata anche dall’errore sistematico delle misure imputabile a circa il 10% usato dallo strumento in fase di collaudo.

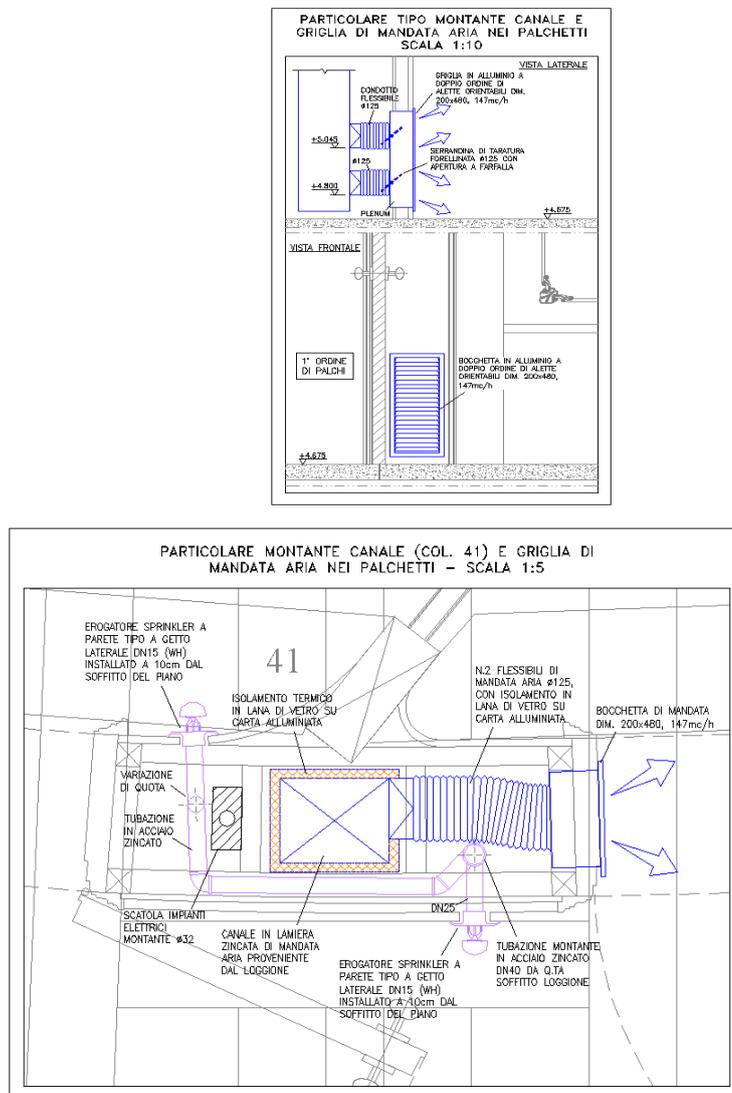


fig.22 – Particolare costruttivo del montante e distribuzione dell’aria nel palchetto.

L'impianto di climatizzazione è poi regolato da un insieme di sonde di temperatura ed umidità poste in sala, nei palchetti dei vari ordini, che opportunamente mediate dal sistema generale di supervisione regolano le temperature e portate dei fluidi termovettori a servizio delle centrali di trattamento aria.



fig.23 – Immagini dei palchetti e corridoi in fase di finitura

Riassumendo quanto detto nella sala Platea nel *Soffittone* della Cavea, è stato ricavato uno spazio tecnico dove si trovano sei Centrali di Trattamento dell'aria e tre espulsori per una movimentazione totale di $63.000 \text{ m}^3/\text{h}$ di aria trattata e $55.100 \text{ m}^3/\text{h}$ espulsa.

Per realizzare il lay-out definitivo del vano tecnico sono state spese molte ore di lavoro, che hanno portato Direzione Lavori, Progettisti ed Imprese ad un intenso lavoro di coordinamento. Oltre alle CTA, con relative tubazioni di alimentazione e regolazione, nel *Soffittone* si trova la sala regia generale del teatro l'impianto di spegnimento automatico e i quadri elettrici di alimentazione e regolazione delle macchine per il condizionamento delle sale teatrali e per la gestione degli impianti scenografici.

Si vuole solo ricordare il coordinamento reso necessario tra impiantisti, strutturisti ed acustici. Infatti dal punto di vista strutturale bisogna immaginare come l'intero peso delle apparecchiature del vano tecnico ricada sul soffitto della sala.

Dal punto di vista logistico invece si deve immaginare come sia stato impegnativo il trasporto e la locazione delle CTA a circa 19 metri dal piano terra e posizionate all'interno del vano sottotetto.

Si pensi anche ai silenziatori inseriti per l'isolamento acustico ad esempio per controllare i $38.000 \text{ m}^3/\text{h}$ di aria ripresi dalla sala platea sottostante. Gli stessi, hanno dimensioni che variano da $2100 \times 2600 \times 2100 \text{ mm}$ ad $1600 \times 2600 \times 3000 \text{ mm}$, e sono stati costruiti in quattro parti per essere trasportati e installati sul posto.

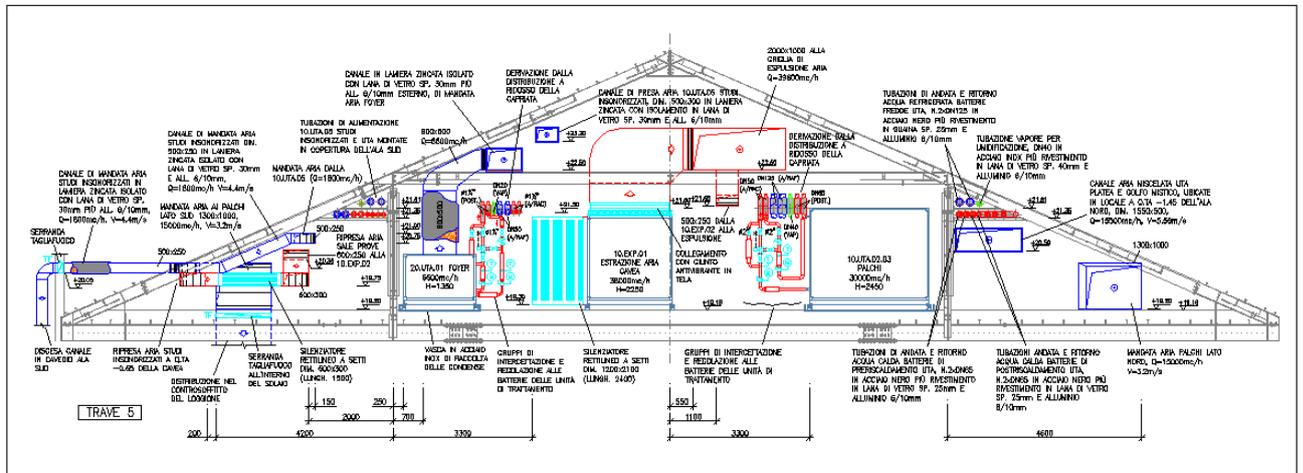


fig.24- Sezione del Soffittone con inserimento centrali di trattamento aria.

Tutti i canali di mandata e ripresa dell'aria climatizzata, siano essi principali o secondari sono stati costruiti e dimensionati per avere una velocità media di 3,0 m/s fino ad un massimo di 4 m/s, comportando un aumento ovvio delle sezioni di passaggio.



fig.25 – Particolari delle CTA in Soffittone della Cavea

6. Le Centrali Tecnologiche e l'Ala Nord :

La zona Nord del Teatro è stata dedicata ai servizi tecnologici a servizio dello stesso: qui trovano collocazione i bagni, i camerini degli artisti, gli spogliatoi dei tecnici, le sale coro, la Movimentazione scene del Palcoscenico, e i vani tecnici dedicati agli impianti meccanici ed elettrici.

L'impianto di depurazione, alcune Centrali trattamento d'aria, la Centrale idrica, lo stoccaggio bombole dell'impianto antincendio di spegnimento a gas inerte, la centrale di produzione Acqua Nebulizzata si trovano nell'interrato della zona Nord mentre la Centrale Termica, la Centrale Frigorifera e le centrali di trattamento aria delle zone annesse al teatro e del palcoscenico si trovano in copertura della zona Nord.



fig.26 – Particolare in pianta della centrale termica in copertura dell'ala nord.

Un lavoro di rilevante importanza è stato fatto nello scegliere e posizionare i due gruppi frigoriferi da 840 kW_f ciascuno all'esterno in copertura della ala Nord. Oltre ai problemi di spazio legati da vincoli architettonici e che macchine di questo tipo e potenza di per se presentano, l'attenzione principale si è focalizzata sull'impatto acustico del sistema.

In una realtà come Venezia dove il livello esterno di rumore di fondo notturno misurabile è mediamente di circa 25 dB(A), e per la destinazione d'uso particolare del complesso teatrale, già in fase progettuale ci si è orientati per delle macchine che privilegiassero su tutto l'aspetto acustico, mantenendo comunque buone le prestazioni in termini di efficienza energetica.



fig. 27 – Vista dei gruppi frigoriferi posti in copertura

Si sono scelti, come già detto all'inizio, due gruppi refrigeratori d'acqua del tipo supersilenziato, protetti da una barriera del tipo architettonico-acustica visibile nella fig.27. I valori dichiarati dal costruttore, attestati in 67 dB(A) di livelli di pressione sonora ad un metro lato batteria e di 56 dB(A) a 10 metri in campo libero in condizioni semisferiche per singola unità, sono poi stati rilevati in fase di collaudo.

Le macchine sono state progettate con un sistema di assemblaggio modulare innovativo, che ha permesso di costruire le unità sul posto in cantiere da parte del costruttore.

La modularità dei gruppi, divisi sostanzialmente in tre sezioni ognuna con circuiti indipendenti, è stata sfruttata anche per poter verificare le caratteristiche tecniche funzionali. Infatti si è deciso di costruire uno solo dei tre moduli per provarlo in sala collaudo del costruttore e verificarne i dati di resa.

I risultati confermati sia in sala collaudo che in campo hanno dimostrato la validità di quanto dichiarato e ha tutelato la direzione dei lavori sui risultati delle rese calcolate in fase di progetto, il tutto supportato anche dall'approvazione acustica del tecnico competente.

Molte altre sono state le problematiche analizzate e risolte nelle altre zone del Teatro, quali quelle del Palcoscenico dove alla difficoltà dell'inserimento di una moderna macchina scenica si è dovuto inserire anche un impianto di climatizzazione, che garantisse agli attori un flessibile sistema di regolazione e gestione dell'impianto stesso, che di volta in volta in funzione dello spettacolo da realizzarsi si adeguasse alle condizioni impostate. Si pensi alla differenza tra realizzare un'opera lirica o un concerto di musica classica, dove la costruzione di una speciale conchiglia acustica modifica radicalmente lo spazio e la geometria del palcoscenico.

7. La gestione del Teatro

Sono oramai passati poco più di tre anni dall'inaugurazione del Teatro.

Quanto descritto, rappresenta solo alcune delle fasi salienti che hanno portato il Teatro La Fenice dal progetto alla sua realizzazione.

Interessante però è stato pure vedere come il complesso teatrale ha svolto la sua funzione durante queste stagioni teatrali.

Il teatro è a tutti gli effetti una fabbrica dello spettacolo, alle 70 unità e più dell'orchestra e altrettanti per la sezione coro, si aggiungono 200 operatori tra macchinisti, meccanici, elettricisti, sarti e personale degli uffici.

Particolare attenzione è stata data da subito alla gestione degli impianti. Eseguite le operazioni di collaudo, funzionali e quelle tecnico amministrative, durate circa un anno, alle imprese associate che hanno eseguito i lavori è stata data la gestione e conduzione degli impianti tecnologici.

Per non uscire dall'argomento trattato, accenneremo su come viene eseguita la gestione degli impianti meccanici. Un capitolo a parte meriterebbero solo gli impianti elettrici e speciali di scena, nonché la tecnologia della macchina scenica.

La sala supervisione posta a piano terra nell'ala Nord, come già detto, è il vero e proprio cervello degli impianti. Da qui tutti gli impianti sono controllati, gestiti e monitorati.

Vista la tipologia impiantistica, visti gli oneri da sostenere, da subito il Teatro ha deciso di gestire in modo autonomo la macchina scenica, lasciando alle imprese costruttrici la gestione e conduzione degli impianti.

La conduzione degli impianti meccanici, il controllo e la manutenzione delle macchine principali, la funzionalità dell'impianto antincendio sono solo alcuni dei compiti che le imprese si trovano giornalmente ad eseguire.

Il Teatro è sorvegliato 24 ore al giorno per tutto l'anno, un servizio ausiliario di sorveglianza e sicurezza gestisce il controllo principale dello stesso. Alle imprese è demandata la sola gestione giornaliera per la settimana lavorativa con turni di circa 10 ore.

Sono generalmente presenti durante la settimana due tecnici impiantistici meccanici ed due elettricisti ed un tecnico sempre presente alla supervisione. Questo vale per le giornate normali; in fase di programmazione di spettacolo e durante lo stesso, le squadre oltre alla gestione e prova degli impianti, determinano di volta in volta le condizioni ideali di confort per la tipologia degli spettacoli. Le squadre operative, nel controllare gli impianti registrano puntualmente tutti i dati in appositi registri.

Inoltre oltre ad eseguire le prove, effettuano un giro di monitoraggio con la squadra, sempre presente durante lo spettacolo, dei Vigili del Fuoco.

A tutto questo si aggiunge un servizio permanente di reperibilità in caso di necessità.

E' interessante notare ad esempio come alcuni risultati siano in linea con quanto previsto, , come ad esempio il permeato depurato liberato dall'impianto di depurazione che porta dei risultati in linea con quelli del progetto.

Infatti già in fase progettuale, si è reso necessario utilizzare un impianto di trattamento reflui di tipo dinamico, a membrane MBR con filtrazione meccanica, in linea con quanto richiesto nella legge 31 maggio 1995, n. 206, riguardante interventi urgenti per il risanamento e l'adeguamento dei sistemi di smaltimento delle acque usate e degli impianti igienico-sanitari nei centri storici e nelle isole dei comuni di Venezia e di Chioggia. I recenti sviluppi nel campo della tecnologia dell'ultrafiltrazione hanno portato all'impiego di particolari membrane, con ottimi risultati, nel settore dei trattamenti biologici a fanghi attivati. Lo spazio ben delimitato del teatro, i volumi ridotti a disposizione per le vasche di raccolta, hanno fatto sì di avere un impianto "giusto" e non sovradimensionato. L'impianto elabora circa 27 m³/giorno di acqua reflua depurata. A fronte di un prelievo medio giornaliero di acqua potabile di 28 m³ /giorno.

Per quanto riguarda il consumo di gas metano, per il riscaldamento, l'umidificazione e l'acqua calda sanitaria si sono consumati circa 100.000 m³ in cinque mesi.

Da sottolineare, la gestione della temperatura ambiente variando i set dal sistema centralizzato di supervisione. Ad esempio per il Foyer, dove l'afflusso e la permanenza del pubblico è assai variabile, si è dovuto gestire, oltre al set della temperatura anche le velocità dei fancoils. Quando la valvola del fancoils è totalmente aperta si varia anche la velocità del ventilatore. Il set è impostato a 1,5 °C. Nelle altre Sale Apollinee gli impianti funzionano regolarmente senza variarne il set. La Sala Grande funziona in modo ottimale con il solo impianto a tutta aria, regolato con inverter, senza avvertire nessun problema di stratificazione e mantenendo i fancoils praticamente sempre spenti. Gli stessi erano stati aggiunti in corso d'opera per i dubbi che l'impianto così come già descritto poteva far sorgere nel funzionamento soprattutto in inverno. Nelle stagioni invernali la temperatura è impostata a 20°C, con punte anche di 22°C, per garantire le condizioni ottimali di confort per gli attori e cantanti lirici. Per la sala esposizione e le sale coro, dove si è pensato un impianto ad aria con terminali ad ugelli, gli stessi per il concreto utilizzo delle sale (la prima è usata come sala prova per gli orchestrali) sono stati diretti tutti verso l'alto. Lo stesso discorso vale anche per la Sala Rossi.

Per quanto riguarda la platea e gli ordine dei palchetti, il primo e secondo ordine così come descritti in precedenza risultano bilanciati in modo corretto. Il sistema di regolazione e supervisione rileva un grado di differenza tra la presenza del pubblico e la sua assenza. Questo

giustifica la scelta di condizionare tutta la sala teatrale, garantendo a chi si trova ai piani alti, come il Loggione, una temperatura del tutto confortevole sia in estate che in inverno.

Da notare come, in molti casi, la differenza di temperatura soprattutto rilevata nei palchi vicini al palcoscenico, è dovuta al carico aggiuntivo di luci che per esigenza di scena vengono inseriti in questa parte alta frontale. Carichi che possono raggiungere anche i 50-100 kW_e. Tale situazione poteva essere penalizzante soprattutto in estate, ma le previsioni progettuali e le scelte dei gruppi frigoriferi abbinati alle scelte impiantistiche hanno permesso di raggiungere comunque ottime temperature ambiente con un buono controllo dell'umidità. Il set-point delle temperature impostate negli impianti della Platea e dei Palchi è di 24 e 23 °C rispettivamente.

L'unità di trattamento aria a servizio del palcoscenico, anche se dotata di sistema di regolazione ad inverter, si trova per la maggior parte dell'anno chiusa. Quella del golfo mistico è in funzione solo quando suona l'orchestra.

I gruppi frigoriferi in funzione tutto l'anno, funzionano recuperando in piena stagione estiva acqua calda ad una temperatura media di 45 °C. Temperatura ottimale per sfruttare il post-riscaldamento ed alimentare la batteria calda di alcuni fancoils. Nel periodo invernale, funziona sempre uno solo dei gruppi frigoriferi, con funzionamento medio di due o tre compressori. Nella stagione invernale oltre a raffreddare i locali tipo Power Center o quello dei Trasformatori elettrici poché sono le esigenze di carico frigorifero negli altri ambienti.

Tuttavia si ribadisce come nel teatro la scelta progettuale di avere un impianto misto a fancoils quattro tubi e impianti a tutta aria, ha permesso una facile gestione delle condizioni termoigrometriche soprattutto nelle mezze stagioni.

8. Conclusioni

I risultati ottenuti e confermati sia in fase di collaudo che nel periodo di funzionamento del Teatro hanno dimostrato la validità di quanto progettato, e di quanto dichiarato dalle case costruttrici delle varie macchine.

Il grande sforzo nel coordinare le varie discipline da parte della direzione dei lavori e di tutte le imprese coinvolte, ha tutelato il Committente sui risultati delle rese decise in fase di stesura delle specifiche prestazionali di progetto.